

Agrégation de Sciences Physique – Option Chimie
Ressources pour les leçons de physique

Joachim GALIANA, avec l'aide de Manon LECONTE

8 juillet 2020

Fiches associées

I	Leçons de physique – Secondaire	7
1	Spectres (secondaire)	9
1.1	Étude des corps chauffés	10
1.1.1	Le modèle du corps noir	10
1.1.2	Sources lumineuses usuelles	11
1.2	Les spectres atomiques et l’aspect particulière de la lumière	11
1.2.1	Mise en évidence	11
1.2.2	Spectres d’émission	12
1.2.3	Spectres continus et spectre d’absorption	12
2	Ondes mécaniques (secondaire)	15
2.1	Les ondes mécaniques	16
2.1.1	Qu’est-ce qu’une onde mécanique ?	16
2.1.2	Les caractéristiques d’une onde mécanique progressive	16
2.1.3	La célérité d’une onde mécanique	17
2.2	Les ondes mécaniques périodiques	18
2.2.1	Cadre général associé aux ondes périodiques	18
2.2.2	Onde périodiques sinusoïdales et décomposition	18
3	Phénomènes acoustiques	21
3.1	Le son, un phénomène vibratoire	22
3.1.1	Caractéristiques d’une onde sonore	22
3.1.2	Intensité et niveau sonore	22
3.1.3	Analyse spectrale d’un son	22
3.2	Autour de la guitare	23
3.2.1	Présentation	23
3.2.2	Modélisation de la guitare	23
4	Aspects ondulatoires en optique (secondaire)	25
4.1	Diffraction de la lumière	26
4.1.1	Observation et modélisation du phénomène	26
4.1.2	Mesure de la largeur d’un cheveu par diffraction	27
4.1.3	Application : étude des DVD ou Blu-ray	27
4.2	Le phénomène d’interférences	28
4.2.1	Mise en évidence expérimentale	28
4.2.2	Interprétation et caractérisation	28
5	Effet Doppler (secondaire)	29
5.1	Qu’est-ce que l’effet Doppler ?	30
5.1.1	Présentation et mise en évidence	30
5.1.2	Vers le décalage Doppler	30
5.2	Applications de l’effet Doppler	30
5.2.1	Application à la mesure de vitesse : principe du radar	30
5.2.2	Application à l’imagerie médicale : principe de l’échographie	30
5.2.3	Application à l’astronomie	30

6	Phénomènes de polarisation optique (secondaire)	32
6.1	De la lumière naturelle à la lumière polarisée	34
6.1.1	Description	34
6.1.2	Obtention d'une lumière polarisée rectilignement	34
6.2	Application de la polarisation...	35
6.2.1	En chimie : détermination d'une concentration	35
6.2.2	En physique : photoélasticimétrie	36
7	Énergie électrique (secondaire)	38
7.1	Bilan de puissance dans un circuit	40
7.1.1	Puissance électrique	40
7.1.2	Bilan de puissance dans un circuit	41
7.1.3	Cas des dipôles ohmiques	42
7.2	Convertisseurs d'énergie	42
7.2.1	Présentation du convertisseur	42
7.2.2	Rendement d'un convertisseur	43
8	Conservation de l'énergie	45
9	Transmission de l'information	47
10	Images et couleurs (secondaire)	48
10.1	Formation de l'image dans l'œil	49
10.2	Perception des couleurs	49
10.2.1	Composition de la lumière blanche	49
10.2.2	(Interactions entre la lumière et les objets)	49
10.2.3	Synthèses additive, soustractive	49
10.2.4	Perception des couleurs par l'œil humain	49
11	Instruments optiques	50
11.1	Voir plus grand	51
11.1.1	Utilisation d'une loupe	51
11.1.2	Utilisation d'un microscope	51
11.2	Voir plus loin	52
11.2.1	Lunette astronomique	52
11.2.2	Télescope	52
12	Sources de lumières	53
12.1	Sources polychromatiques	54
12.1.1	Sources thermiques	54
12.1.2	Sources spectrales	55
12.2	Sources monochromatiques	55
13	Gravitation et poids	56
13.1	L'interaction gravitationnel	57
13.1.1	La force et le champ gravitationnel	57
13.1.2	Le poids, sur Terre et ailleurs	57
13.2	Une étude complète : la chute libre	57
13.2.1	Définition du système, méthode	57
13.2.2	Résolution	57
13.1	Satellites et mouvement circulaire	58
13.1.1	Repère de FRENET	58
13.1.2	Description du problème et hypothèses	58
13.1.3	Mouvement uniforme et période	59
13.2	Vers une généralisation : les lois de KEPLER	59
13.2.1	Les lois de KEPLER	59

14 Transferts thermiques (secondaire)	60
14.1 Les différents modes de transferts thermiques	61
14.1.1 Le rayonnement	61
14.1.2 La convection	61
14.1.3 La conduction	61
14.2 Bilans énergétiques	61
14.2.1 Flux thermique et résistance thermique	61
14.2.2 Conservation de l'énergie	61
15 Interactions lumière–matière	62
16 Mouvements, interactions et notion de champ	63
17 Description d'un fluide au repos	64
II Leçons de physique – Supérieur	65
18 Effet DOPPLER (supérieur)	67
18.1 L'effet DOPPLER	68
18.1.1 Expression du décalage DOPPLER	68
18.1.2 Mesure de vitesse par mesure de fréquence	68
18.2 Application de l'effet DOPPLER	68
18.2.1 Échographie et couplage DOPPLER	68
18.2.2 Application en astronomie	68
19 Conservation de l'énergie	69
20 Acquisition et traitement de données (supérieur)	72
20.1 Du mesurande au signal	73
20.2 Du signal à l'information	73
21 Transferts thermiques (supérieur)	74
21.1 La conduction thermique	75
21.1.1 Origine et description	75
21.1.2 Bilan d'énergie	75
21.2 ?	75
21.2.1 Conduction et régime permanent	75
21.2.2 Analogie avec la conduction électrique	75
22 Phénomènes de diffusion	76
23 Oscillations	77
23.1 Oscillations non amorties libres	78
23.1.1 Sur le circuit RLC	78
23.1.2 Sur le pendule	78
23.1.3 Analogies	78
23.2 Vers les oscillations forcées	78
23.2.1 Utilisation de la notation complexe	78
23.2.2 Filtres d'ordre II	78
24 Mesures et contrôle	79
24.1 Généralités	80
24.1.1 Mesure	80
24.1.2 Contrôle et incertitudes	81
24.2 Mesures sans capteur	81
24.3 Mesures avec capteur	81
24.3.1 Capteur passif	81

24.3.2	Capteur actif	81
25	Régimes transitoires (supérieur)	82
25.1	Régimes transitoires du premier ordre	83
25.1.1	Étude du circuit RC série	83
25.1.2	Étude d'un régime transitoire de diffusion	84
25.2	Régimes transitoires du second ordre	84
25.2.1	Étude du circuit RLC série	84
25.2.2	Étude du pendule (pesant)	84
26	Mouillage	85
26.1	Mouillage et tension superficielle	86
26.1.1	Différents types de mouillage	86
26.1.2	Approche énergétique	86
26.2	Critères de mouillage	86
26.2.1	Paramètre d'étalement	86
26.2.2	Loi de YOUNG-DUPRÉ	86
26.2.3	Critère de ZISMAN	86
27	Machines thermiques (supérieur)	88
28	Phénomènes de transport (systèmes ouverts)	89
28.1	Transport de masse par convection	90
28.1.1	Description du système ouvert	90
28.1.2	Bilan de masse dans un système ouvert	91
28.2	Transport d'énergie par convection	91
28.2.1	Bilan énergétique dans un système ouvert	91
28.2.2	Application au robinet mélangeur	92
28.2.3	Application à / au...	93
28	Phénomènes de transport (systèmes fermés)	94
28.1	Flux et densité de courant	95
28.2	Conduction et résistances	96
28.2.1	Conduction électrique	96
28.2.2	Conduction thermique	96
28.3	Effets thermoélectriques	97
29	Filtrages (supérieur)	101
29.1	Filtres du premier ordre	102
29.1.1	Présentation qualitative	102
29.1.2	Fonction de transfert et représentation	103
29.2	Un filtre du second ordre : le filtre passe-bande	103
29.3	Analogie électrocinétique – mécanique	104
30	Viscosité	105
30.1	Viscosité d'un fluide Newtonien	106
30.1.1	Mise en évidence de la viscosité	106
30.1.2	Modèle de NEWTON	106
30.1.3	Vers l'équation de NAVIER-STOKES	107
30.1.4	Modèle diffusif de la viscosité	108
30.2	Description de l'écoulement pour un fluide réel	108
30.2.1	Nombre de REYNOLDS	108
30.2.2	Mesure de viscosité	108
30.2.3	Loi de STOKES	108
30.2.4	Écoulement de POISEUILLE	108
30.3	Écoulement dans un milieu poreux	109
30.3.1	Description	109
30.3.2	Loi de DARCY et utilisation	109

31 Écoulements de fluides (supérieur)	110
31.1 Description de l'écoulement d'un fluide parfait	111
31.1.1 (Caractéristiques de l'écoulement d'un fluide parfait)	111
31.1.2 La relation de BERNOULLI	112
31.2 Application	112
31.2.1 Tube de PITOT et mesure de vitesse	112
31.2.2 Effet VENTURI et mesure de débit	112
32 Irréversibilité (supérieur)	113
32.1 Vers le second principe de la thermodynamique	115
32.1.1 Les limites du premier principe de la thermodynamique	115
32.1.2 Énoncé(s) du second principe de la thermodynamique	115
32.1.3 Vers une expression de l'entropie ?	116
32.2 Description d'un phénomène irréversible	117
32.2.1 Exemples et mises en évidence	117
32.2.2 Méthode de calcul	117
32.2.3 Création d'entropie pour une phase condensée	117
32.2.4 Détentes de gaz	118
32.2.5 À propos de la diffusion de particules...	119
32.2.6 Entropie de changement d'état	119
33 Phénomènes de polarisation optique (supérieur)	120

Partie I

Leçons de physique – Secondaire

Fiche 1

Spectres (secondaire)

Ressources utilisées

- Lelivrescolaire, 1^{re} physique chimie
- Lelivrescolaire, 1^{re} enseignement scientifique
- Belin, 1^{re} physique chimie
- Sites internet...
- Fiche de M. LECONTE pour des illustrations alternatives.

Pré-requis

- Ondes électromagnétiques (phénomène, vitesse)
- Ondes mécaniques (relations entre λ , T , f et v)
- Constitution de la matière (atomes, noyaux, électrons)

Introduction pédagogique

Remarque Élément imposé : température de couleur d'une ampoule commerciale

Niveau Première (spécialité, nouveau programme).

Remarque Possibilité de travailler en Première STL, Physique-Chimie et Mathématiques. Voir fiche de M. LECONTE pour cela.

Difficultés — dualité onde-corpuscule et quantification \rightarrow pour l'amener aux élèves, on décrit d'abord des spectres continus, puis on se demande pourquoi certains spectres présentent des raies ;
— unités et conversion, en particulier l'introduction de l'électron-volt.

Travaux dirigés — étude de différentes ampoules et température de couleur ;
— étude de documents sur les types spectraux des étoiles ;
— étude de lampes à vapeur (hydrogène, sodium, ...) ;
— étude d'autres domaines que le visible : production de rayons X ;
— étude de documents sur le principe de la ChemCam (caméra utilisée sur Curiosity pour déterminer les éléments constitutifs de Mars).

Travaux pratiques

La leçon clôt le thème « Ondes et signaux ». Les élèves commencent à aborder la dualité onde-corpuscule de la lumière. Il faut pouvoir la justifier expérimentalement : on présente les spectres atomiques et on les exploite.

Avant de s'attacher à une partie sur les spectres atomiques, on reviendra sur l'étude des spectres de corps chauffés, qui est normalement vue en enseignement scientifique, mais qui permet de re-situer les concepts pour les élèves.

On fait le choix de ne traiter les spectres des ondes électromagnétiques uniquement, pour lesquelles on rappellera les propriétés en introduction de la leçon.

Remarque En TS, on aurait pu s'attacher à l'étude des spectres IR, RMN, UV-visible, ou encore les spectres de Fourier pour les signaux sonores (aussi vus en 1^{re} Ens.Sci.).

Introduction

Onde électromagnétique (oem) : phénomène vibratoire qui peut se propager dans le vide (ou dans un milieu matériel) à une vitesse $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Projection

À une oem sont associés un champ électrique et un champ magnétique orthogonaux entre-eux et orthogonaux à la direction de propagation (**Source** : Lelivrescolaire (p. 365)).

Une oem est caractérisée par une longueur d'onde λ . Comme pour les ondes mécaniques, on peut relier λ à la période T ou à la fréquence f :

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}. \quad (1.1)$$

Spectre : description d'un signal (par exemple une oem) en fonction de sa ou ses longueurs d'onde ou fréquences.

On va rencontrer plusieurs types de spectres au cours de la leçon, mais uniquement dans le domaine des ondes électromagnétiques.

Projection

Spectre électromagnétique (**Source** : Belin (p. 336)). *Identifier les différents domaines et rappeler les applications des rayonnements associés.*

Objectifs Utiliser des spectres pour décrire et expliquer des phénomènes physiques ou des sources d'oem visibles.

1.1 Étude des corps chauffés

La première source de lumière qui nous vient à l'esprit est la lampe à incandescence. Quels points communs a-t-elle avec le soleil ? Comment comparer les lumières issues de ces deux sources ?

Nous considérons ici des corps chauffés, c'est à dire des corps dont on va augmenter la température. À l'intérieur de ceux-ci donc, l'agitation thermique augmente : les atomes se mettent en mouvement sous l'effet de la température. Ce sont ces mouvements qui provoquent le rayonnement d'une onde électromagnétique, que l'on va étudier par la suite, à l'aide du spectre associé au corps chauffé.

1.1.1 Le modèle du corps noir

Corps noir : corps idéal qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit.

On peut tracer le spectre associé à un corps noir, à savoir la variation de l'intensité lumineuse émise en fonction de la longueur d'onde.

Projection

Spectre d'un corps chauffé (**Source** : phet.colorado.edu).

On voit sur ces simulations la variation de λ_{max} lorsque l'on fait varier T : le maximum d'intensité se déplace, et est d'autant plus fort que la température augmente.

Cette observation est faite par WIEN pour l'étude du corps noir, qui conduit à la loi de WIEN : le corps noir émet un rayonnement qui ne dépend que de sa température de surface T . On peut alors écrire :

$$\lambda_{max}T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ K.} \quad (1.2)$$

où λ_{max} est la longueur d'onde du maximum d'émission du corps noir.

Les spectres associés à des corps noirs sont des spectres **continus**.

1.1.2 Sources lumineuses usuelles

Projection

Spectre du Soleil : comparaison entre ce qui est mesuré et le modèle du corps noir.

Le modèle du corps noir semble être validé pour le Soleil. On peut donc lui appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de sa surface. On lit : $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$, ce qui correspond à $T = 5800 \text{ K}$.

Projection

Spectre d'une lampe halogène, reprendre l'animation PHET.

On peut voir que la lampe halogène suit aussi le modèle du corps noir. On peut faire la même application numérique pour déterminer la température du filament. On voit que $\lambda_{max} = 950 \text{ nm}$ (dans l'IR), donc $T = 3050 \text{ K}$.

Mais attention! En réalité, le corps noir est un **modèle**. La température de l'objet émetteur n'est donc pas toujours égale, ni même parfois proche, à la température prévue par la loi de WIEN, appelée **température de couleur**. C'est par exemple le cas des DEL, des lampes fluorocompactes, ...

Projection

Spectres continus de différentes lampes (**Source** : energie-environnement.ch).

On peut se demander pourquoi le spectre des lampes fluorocompactes a une allure si piquée. C'est l'objet de la seconde partie.

1.2 Les spectres atomiques et l'aspect particulaire de la lumière

1.2.1 Mise en évidence

Projection

Comparaison du spectre d'une lumière blanche et de celui d'une lampe à vapeur d'hydrogène (**Source** : web-labosims.org). On pourra aussi décrire le montage expérimental.

Au lieu d'un spectre continu, on observe un **spectre de raies**. Cela est dû à une autre description de la lumière.

En 1905, Einstein postule que la lumière est constituée de « grains », appelés photons aujourd'hui, présentant des énergies quantifiées. Leur énergie suit la loi :

$$E = h\nu, \quad (1.3)$$

où $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$ est la constante de PLANCK.

Bohr introduit alors en 1913 la quantification des niveaux d'énergie des atomes pour expliquer les spectres de raies. Cela permet alors de faire correspondre l'énergie des grains de lumière, les photons, avec les niveaux énergétiques des atomes!

Projection

Diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène (**Source** : Belin (p. 333)).

Sur ces diagrammes énergétiques, on peut alors mettre en valeurs plusieurs transitions énergétiques : on change le niveau d'énergie de l'atome, fondamental ou excité. [on présente schématiquement émission et absorption]. On a alors :

$$|\Delta E| = h\nu, \quad (1.4)$$

où $|\Delta E|$ correspond à la différence d'énergie entre deux niveaux de l'atome.

1.2.2 Spectres d'émission

Les niveaux d'énergie correspondent au placement des électrons dans l'atome.

L'état de plus faible énergie est appelé **état fondamental**. Pour l'hydrogène, son énergie vaut $E_1 = 13.6 \text{ eV} = 13,6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$. L'électron-volt eV est l'unité utilisée pour donner l'énergie des électrons. Elle est plus pratique que le joule car on s'affranchit des puissances de 10. Il faudra cependant faire attention aux conversions dans les exercices !

Les autres états d'énergies supérieures sont appelés **états excités**.

Dans la lampe à vapeur d'hydrogène, les atomes sont excités par une décharge électrique. On suppose par exemple qu'ils sont donc initialement à l'état excité $n = 3$. Ils se dés excitent ensuite vers les états $n = 2$ ou $n = 1$. On peut faire l'application numérique pour une transition vers l'état excité $n = 2$:

$$|\Delta E| = |E_f - E_i| = |-3,4 - (-1,51)| = 1.89 \text{ eV} \quad (1.5)$$

puis, on utilise la relation 1.3 :

$$\lambda = \frac{hc}{|\Delta E|} = 657 \text{ nm}. \quad (1.6)$$

Remarque Il faut convertir $|\Delta E|$ en joule pour obtenir la bonne valeur de λ !

Cette transition est caractérisée par l'**émission d'un photon** de longueur d'onde λ . Si on la compare au spectre de la lampe, on reconnaît l'une des raies.

1.2.3 Spectres continus et spectre d'absorption

Les spectres de raies ont été découverts bien avant Einstein, en 1802 par WOLLASTON.

Projection

Spectre d'absorption du Soleil.
On observe des raies noires sur le spectre continu, voir Belin.

Les raies noires correspondent au phénomène opposé de l'émission vue précédemment : l'**absorption**. En effet, l'atmosphère du Soleil est constituée de gaz qui absorbent les longueurs d'onde qui leur sont caractéristiques. On peut alors remonter à la composition de l'atmosphère du Soleil en connaissant son spectre d'absorption !

Remarque On pourra faire voir aux élèves cette subtilité avec l'animation https://web-labosims.org/animations/App_spectre_etoile/App_spectre.html.

Pour l'hydrogène, on s'attend aux mêmes bandes que celles décrites dans la sous-partie précédente et on les retrouve dans le spectre du Soleil. On en déduit que son atmosphère est constituée d'hydrogène.

Conclusion

Projection

Bilan

On a vu d'une part que le modèle du corps noir permettait de décrire la lumière du Soleil ou des lampes halogènes (des corps chauffés). Les spectres de ces sources sont continus et suivent la loi de Wien, qui définit une température de couleur.

D'autre part, l'excitation d'atome peut conduire à des sources de lumière spectrale, et donc à des spectres discrets.

Projection

Montage permettant d'obtenir un spectre d'émission ou un spectre d'absorption (**Source** : Belin (pp. 334-335)).

[On pourra éventuellement ouvrir sur les spectres sonores, Spectres sonores, ensciences.]

Questions et débrief

Questions	Réponses
<i>Rayonnement du corps noir.</i>	
Comment expliquer l'origine du rayonnement d'un corps ?	Il s'agit d'un des trois transferts thermiques.
D'où vient ce rayonnement électromagnétique ?	De l'agitation thermique.
Pourquoi utilise-t-on une caméra IR pour détecter des humains dans le noir ?	La température de la peau est proche de 30 ° C. Les humains rayonnent donc dans l'IR d'après la loi de Wien.
D'où vient théoriquement la loi de Wien ?	Elle est la dérivée de la loi de Planck.
Quelle autre loi est typique du rayonnement ?	La loi de Stefan, obtenue en intégrant la loi de Planck.
<i>Lampes.</i>	
Comment le filament d'une lampe à incandescence est-il chauffé ?	Par un courant électrique qui engendre de l'effet Joule.
Comment fonctionne une DEL ?	Il s'agit d'un semi-conducteur. La recombinaison des paires trou-électron implique l'émission d'un photon d'énergie proche de celle du gap.
Quelle lampe utilise-t-on en TP pour obtenir une lumière blanche ?	La lampe quartz-iode.
Comment fonctionne-t-elle ?	Un filament de tungstène se sublime dans une ampoule en verre de quartz. L'iode permet de régénérer le tungstène.
À quoi sert le filtre anticalorique ?	À empêcher les transferts thermiques dus aux rayonnements IR qui peuvent abîmer les lentilles en les chauffant.

Décomposition de la lumière.

Qu'est-ce qu'un prisme ?	Matériau transparent d'indice optique élevé (<i>ex</i> : verre, plexiglas, ...).
Quelle loi donne n en fonction de λ ?	La loi de Cauchy : $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$
Donner des ordres de grandeur d'indices optiques ?	Connaître ceux de l'eau, du verre, de l'air (respectivement 1.3, 1.5 et 1).
Qui a découvert la décomposition de la lumière blanche ?	Newton en 1666.
Que se passe-t-il si on utilise un milieu biréfringent ?	On observe une double réfraction.
Donner des exemples de matériaux biréfringents.	Le spath, le quartz, la calcite, le rubis, le saphir, ...

Lampes spectrales et spectres de raies.

Quelle est la différence entre émissions spontanée et stimulée ?

L'une sans photon incident, l'autre avec ; une avec émission aléatoire, l'autre avec émission cohérente. Quel objet utilise l'émission stimulée ?

Le laser.

Comment fonctionne une lampe spectrale ?

Décharge électrique au sein du gaz, les électrons en passant dans le gaz excite les atomes, qui se déséxcitent ensuite.

A quoi ressemble le spectre d'une lampe à vapeur de sodium ?

Comment fonctionne un spectromètre ? Prisme ou réseau (dans un ensemble calibré, formule des réseaux permet de remonter à λ).

Comment caractériser la composition atomique de l'atmosphère terrestre ? On peut proposer de comparer le spectre en absorption du soleil depuis la surface terrestre et depuis un satellite.

La leçon était bien positionnée et l'introduction pédagogique bonne.

Le titre "Spectres" indique qu'il faut présenter plusieurs types de spectres. Cependant, ce n'est pas forcément une bonne idée de mélanger différents domaines (par exemple mélanger spectres de Fourier et spectres EM).

Partie I Il manque dans le I l'origine du rayonnement (l'agitation thermique). Il faut également savoir que la loi de Wien n'est pas à retenir par les élèves (pas la valeur de la constante).

La leçon aurait pu être plus visuelle en introduisant d'abord les spectres et ensuite la théorie.

C'était une très bonne chose de différencier température réelle et température de couleur.

Partie II Il faudrait d'abord définir le photon et seulement après montrer la quantification d'énergie. Il faudrait également d'abord définir l'émission et l'absorption avant de présenter les spectres.

Il faut vraiment prendre le temps de faire la conversion $eV \rightarrow J$ pendant la leçon, d'autant plus que ça a été énoncé comme une difficulté. On pourrait d'ailleurs ajouter comme difficulté la conversion $^{\circ}C \rightarrow K$.

Conclusion Les schémas de la conclusion étaient très bien !

On pourrait introduire en ouverture les spectres de Fourier pour montrer que les spectres ne sont pas spécifiques aux oem.

Fiche 2

Ondes mécaniques (secondaire)

Ressources utilisées

- Nouveaux programmes de physique-chimie en seconde et première
- Anciens programmes de physique chimie de Terminale générale
- Anciens programmes de physique-chimie de Terminale technologique
- Lelivrescolaire 1^{re} Physique-Chimie, 2019
- Belin 1^{re} Physique-Chimie, 2019
- Taillet, *Dictionnaire de physique*

Éléments imposés possibles

Remarque Niveau, pré-requis, plan et bibliographie sont à adapter en fonction de l'élément imposé...

- Sismologie.

Introduction pédagogique

Niveau Première, enseignement de spécialité → peu de pré-requis.

On ne discutera pas beaucoup des ondes sonores puisqu'elles sont vues en enseignement scientifique.

Difficultés — Milieu matériel – on le précisera à chaque fois ;

- Double périodicité des OPPH → on le visualisera avec un script Python ;
- Lecture et compréhension d'un langage de programmation – Python – d'autant plus que cela est écrit dans le programme officiel.

Travaux dirigés étude de plusieurs types d'ondes (sismiques, ondes sur une corde, ...), essayer d'en déterminer la périodicité, la célérité, si elles sont transversales ou longitudinales, ...

Travaux pratiques élaborer d'autres codes Python pour modéliser la propagation d'une onde, cuve à ondes et stroboscope.

Remarque En première, traitement quasi-seulement des ondes progressives et pas des ondes stationnaires.

Pré-requis

- Constitution de la matière (atomes, molécules) [seconde]
- Ondes sonores et ondes lumineuses (émission, propagation et réception) [seconde] ;
- Phénomènes périodiques (période, fréquence, célérité d'une onde) [seconde] ;

Introduction

Timing : 3 min 30 s

En seconde, les signaux sonores ont été introduits ainsi que la propagation des ondes lumineuses. Vous avez vu que ces phénomènes reposaient sur des phénomènes périodiques, avec la notion de période/fréquence (répétition à l'identique d'un signal au cours du temps) et la notion de célérité (vitesse de propagation du signal) d'une onde : ces notions vont être réinvesties dans un cas particulier des ondes, les ondes mécaniques. On croise ce type d'ondes au quotidien, puisque les ondes sonores sont des ondes mécaniques.

Les objectifs de ce cours seront multiples. D'abord, il s'agira de comprendre ce qui caractérise une onde mécanique. Ensuite, nous essaierons de poser un cadre mathématique autour de ce phénomène physique, quitte à le modéliser informatiquement. Nous profiterons donc de ce cours pour introduire un outil numérique qui est le langage de programmation Python.

2.1 Les ondes mécaniques

Timing : 5 min 30 s

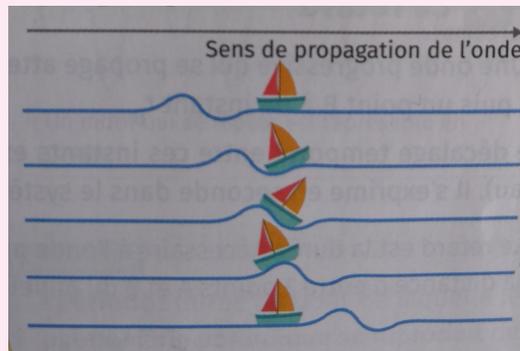
De nombreux exemples vous entourent : les vagues, les ondes sonores dans l'air ou dans d'autres milieux, les ondes sismiques...

2.1.1 Qu'est-ce qu'une onde mécanique ?

Une **onde mécanique** est une perturbation qui se propage dans un milieu **matériel**. Une perturbation est un bouleversement ou une modification d'un équilibre/d'une situation invariable jusque là. On dira de plus que l'onde est **progressive** si la perturbation entraîne un transfert d'énergie sans transport de matière (*cf.* figure ci-dessous).

Projection

Belin, p.300



2.1.2 Les caractéristiques d'une onde mécanique progressive

Timing : 8 min 40 s

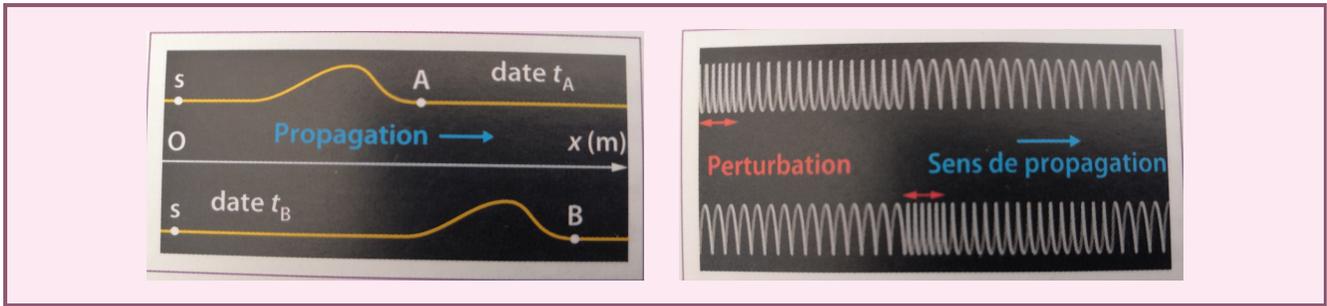
On s'intéresse à une onde mécanique progressive sans périodicité : l'excitation d'un bout d'une corde une seule fois par exemple (figure de gauche). On peut définir plusieurs choses :

L'amplitude de l'onde, qui correspond à la déformation maximale du milieu matériel par rapport à son état d'équilibre (au repos) au passage de la propagation.

Le front d'onde qui est le début de la perturbation (qui lui, se déplace : mais pas la matière, on le rappelle).

Projection

Belin, p.300



Enfin, pour les ondes mécaniques, on opère deux distinctions :

Les ondes transversales pour lesquelles la direction de la perturbation est **perpendiculaire** à la direction de propagation de l'onde (figure de gauche).

Remarque Garder en tête, et éventuellement préciser, qu'il peut à avoir plusieurs polarisations possibles !

Les ondes longitudinales pour lesquelles la direction de la perturbation est **parallèle** à la direction de propagation de l'onde (figure de droite).

Projection

Vidéo d'un ressort. *Source Vidéo YouTube, à 2'00", mettre au ralenti*

Exemple *Ondes sismiques* (définir la sismologie)

Il existe majoritairement deux types d'ondes sismiques :

- les **ondes P**, qui sont longitudinales et plus rapides ;
- les **ondes S** qui sont transversales.

Projection

Illustration de ces deux ondes, *cf.* Belin, p.295 et quelques

→ Pourquoi y a-t-il une différence de vitesse entre ces deux ondes ?

2.1.3 La célérité d'une onde mécanique

Timing : 14 min 15 s

Enfin, pour caractériser une onde mécanique, une perturbation dans un milieu matériel, on peut s'intéresser à sa **célérité**. La célérité est la vitesse de propagation de la perturbation dans un milieu donné.

C'est ici l'une des informations les plus importantes pour reconnaître une onde mécanique : celle-ci a besoin d'un milieu matériel pour se propager et **sa célérité dépend du milieu**.

Si on mesure le retard $\tau = t_B - t_A$, c'est-à-dire le temps que le front d'onde prend pour aller de A à B, on peut avoir accès à la célérité de l'onde :

$$v_{\text{onde}} = \frac{x_B - x_A}{\tau} \quad (2.1)$$

Exemple Célérité des ondes sonores (compression/dépression dans le matériau) dans : l'air (340), l'hélium (900), l'eau (1500) et l'acier (5000) en m s^{-1}

On se propose de réaliser une expérience sur la mesure de la célérité d'une onde sonore.

Expérience Mesure de la vitesse d'une onde sonore dans l'air : avec les moyens du bord ! *Lelivrescolaire, p.323* On utilise deux smartphones équipés d'un chronomètre sonore (application à télécharger).

Réaliser plusieurs mesures et faire des incertitudes de type A (détailler le calcul en leçon).

Limites de l'expérience :

- mesure de la distance entre les deux téléphones ;
- distance non négligeable entre le clappement de mains et le premier téléphone ;
- téléphone lent pour détecter le clap.

En terminale, on pourra voir une méthode plus précise pour mesurer la célérité d'une onde en utilisant l'effet DOPPLER. Une autre méthode accessible à ce niveau est de déterminer séparément la période temporelle (émetteur et récepteurs ultrasons l'un en face de l'autre) et la longueur d'onde (deux récepteurs en face de l'émetteur ultrasons). L'avantage pédagogique de rester avec la méthode des téléphones, c'est qu'elle est simple et s'inscrit bien dans le déroulement de la leçon : on ne parle que de paquet d'onde et pas encore de signaux périodiques.

Remarque Problème avec l'expérience : il y a une erreur systématique d'un facteur 2. Est-ce une erreur dans les calculs ou un problème de manipulations : à vérifier

Exemple *Localisation de l'épicentre d'un séisme*

On utilise la différence de temps entre l'arrivée des ondes P (t_P) et celle des ondes S (t_S) pour déterminer la distance entre la station de mesure et l'épicentre du séisme :

$$d = \frac{t_P - t_S}{v_S - v_P} v_S v_P \quad (2.2)$$

Application numérique : $d = 427$ km pour Iris, et $d = 492$ km pour Detroit.

A partir des données de 3 stations, on peut localiser l'épicentre d'un séisme : il se trouve à l'intersection des sphères centrées en chacune des trois stations de rayon d calculé pour celles-ci.

Remarque Possible transition sur : la possibilité de décomposer les signaux en sommes de signaux sinusoïdaux, donc se concentrer sur l'étude de ces derniers !

2.2 Les ondes mécaniques périodiques

2.2.1 Cadre général associé aux ondes périodiques

Remarque Raccourcir la première partie pour commencer par introduire les signaux périodiques avec une première sous partie, qu'on peut éventuellement passer si on manque de temps

Timing : 35 min 20 s

2.2.2 Onde périodiques sinusoïdales et décomposition

Lorsque la source de la perturbation est périodique, c'est-à-dire se répète à intervalles réguliers dans le temps, l'onde progressive est dite **périodique**.

Si le phénomène source de l'onde vibre de manière sinusoïdale, l'onde périodique est dite elle-même **sinusoïdale**. Elle a alors l'allure d'un sinus ou d'un cosinus. Si elle se propage selon les x croissants, on peut l'écrire avec la fonction mathématique :

$$s(x, t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v_{\text{onde}}}\right)\right) \quad (2.3)$$

ou encore :

$$s(x, t) = A \cos\left(2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right) \quad (2.4)$$

Exemple Modéliser et montrer ce qu'est un signal sinusoïdal, *Lelivrescolaire*, p.324 Commenter le code en fonction du temps à disposition.

Conclusion

Que faut-il retenir ?

Une **onde mécanique** a besoin d'un **milieu matériel** pour se propager.

Une **onde progressive** est une perturbation qui entraîne un transfert d'énergie sans transport de matière.

Un exemple particulier d'ondes progressives sont les **ondes progressives sinusoïdales**, que l'on peut modéliser mathématiquement et informatiquement.

En enseignement scientifique, des ondes plus complexes, car sommes de plusieurs fonctions sinusoïdales, seront traitées. Pour les étudier, on aura recours l'analyse spectrale de Fourier.

Questions

Questions	Réponses
<i>Propriétés des ondes.</i>	
Quelle est la différence avec la corde vibrante, de violon ou de guitare avec celles étudiées dans la leçon ?	Dans ces dernières, on a affaire à des ondes stationnaires (faire un schéma de la corde de Melde). Aussi, la corde de Melde est un modèle, on travaille avec une corde sans raideur, ce qui n'est pas le cas avec les cordes de violon ou guitare (cause de la dispersion).
Est-ce qu'une onde peut transporter de l'énergie ?	Oui, les ondes électromagnétiques...
De la quantité de mouvement ?	Oui. Par exemple, notre corps vibre quand on entend des basses.
Quelles sont les sources potentielles de dissipation pour une onde ?	
<i>Célérité des ondes.</i>	
De quoi dépend la vitesse du son dans l'air ?	De la température, de la masse molaire de l'air, du coefficient de Laplace γ (qui dépend de la nature des molécules constituant l'air, si elles sont monoatomiques, diatomiques, ...), de sa densité et de l' humidité (attention ! piège fréquent !).
Quel est le lien entre raideur et distance ?	
Peut-on avoir une onde dans un milieu qui se déplace ?	Oui. Il suffit de changer de référentiel pour s'en rendre compte.
Comment mesurer la vitesse de la lumière avec une tablette de chocolat et un micro-ondes ?	
<i>Ondes sismiques.</i>	
Quelle est la polarisation des ondes sismiques ?	
Comment marche un sismographe ?	Projeter le schéma d'un sismographe. Avant, un stylet relié à un ressort faisant l'acquisition. Aujourd'hui, l'acquisition se fait par induction et par mesure d'une tension.

Quelle est la propriété fondamentale du capteur qui permet de mesurer les ondes sismiques ? Il est linéaire. On peut donc utiliser la notation complexe pour simplifier les calculs et l'analyse de Fourier.

Vagues.

Comment critiqueriez-vous la première figure ? La vague devrait perdre en amplitude et le paquet d'on devrait s'étendre. Le bateau devrait également se déplacer un peu.

Comment se propage la vague ? Transfert d'énergie de proche en proche, à la surface de l'eau.

Expérience du téléphone.

Comment exploiter l'expérience du téléphone si on avait un peu plus de temps ? Utiliser du matériel de meilleure qualité, demander de l'aide à quelqu'un, ...

Pédagogie.

Comment mettre en évidence avec des élèves les phénomènes de diffraction ou d'interférences ? Grâce à la forme des vagues dans une baie fermée par une digue, par exemple.

De quoi est constituée la matière ? Pour des élèves de lycée, on dira qu'elle est constituée d'atomes et de molécules liées microscopiquement. Elle contient donc essentiellement du vide.

Debrief

Le rythme était un peu trop lent, mais la voix était posée ce qui était agréable à suivre.

Le plan est bien.

Il faut cependant enrober davantage les leçons en utilisant des illustrations modernes et en contextualisant.

L'élément imposé a bien été traité.

C'est un vrai plus d'avoir présenté la vidéo et le code Python !

Introduction pédagogique

L'introduction pédagogique était bien structurée. Il faut tout de même aller beaucoup plus loin dans son contenu. Il faudrait y faire le lien entre ce qui sera traité dans la leçon et ce qui ne le sera pas, par exemple ici le paquet d'ondes. Il faut également justifier ces choix : pourquoi telle manipulation et non telle autre ? Pourquoi ces exemples ?

Corps de la leçon

Il faudrait évoquer l'atténuation des ondes (parce qu'elles sont sphériques ou que le milieu est absorbant) pour expliquer pourquoi le phénomène finit par s'arrêter.

Il faut revoir l'expérience. Si elle ne marche pas "en live", il faut tout vérifier et retenter une fois. Si ça ne marche toujours pas, on expliquera au jury qu'on passe à la suite dans le cadre d'une leçon d'agrèg mais qu'en classe on chercherait un peu plus loin.

Visiblement, il y aurait une erreur systématique dans la mesure... Il faudrait trouver la source de cette erreur (distance, niveau de déclenchement ?). En soi, c'est une très bonne idée de vouloir calculer des incertitudes de type A, mais on ne peut pas le faire quand le résultat a une erreur systématique.

On pourrait peut-être remplacer cette expérience par la cuve à ondes. Cependant, c'est dommage de tout de suite commencer avec les OPPH...

Il faudra demander si on peut utiliser deux téléphones le jour de l'oral.

Fiche 3

Phénomènes acoustiques

Ressources utilisées

- Plan de J. GALIANA, correction de L. FAVREAU
- Bordas, 1^{re} ES (2019)
- Nathan, 1^{re} ES (2019)
- Lelivrescolaire, 1^{re} ES (2019)

Pré-requis

- Notions de caisse de résonance et d'émission d'un signal sonore [2^{de}]
- Définitions et déterminations de la période/fréquence d'un signal périodique [2^{de}]
- Expression d'une vitesse moyenne [2^{de}]
- Notion de puissance [1^{re}]

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau 1^{re} enseignement scientifique

Difficultés Sommer les intensités sonores et pas les niveaux sonores.

Faire la différence entre hauteur et timbre d'un son/d'un instrument.

Travaux dirigés Utilisation de spectres sonores, détermination de fréquences...

Travaux pratiques Enregistrement et reproduction de sons purs, composés ; utilisation de la corde de Melde.

Introduction

Nouveau programme, enseignement scientifique : donner de la culture et du sens physique aux élèves plutôt que du calcul. Dire comment cette leçon s'inscrit dans le programme. Revenir sur les pré-requis.

En seconde, on a vu que l'émission d'un signal sonore est permise par la **mise en vibration d'un objet** dans un milieu **matériel**.

On a vu que les signaux sonores étaient périodiques, en particulier sinusoïdaux (*tracer une sinusoïde et montrer la fréquence*). $T = \frac{1}{f}$ (*donner les unités*)

Objectifs Appréhender les caractéristiques du son.
Se familiariser avec les signaux périodiques.

3.1 Le son, un phénomène vibratoire

Le son a une origine : la vibration des cordes vocales dans le larynx. On le perçoit car les tympanes dans les oreilles vibrent en retour.

3.1.1 Caractéristiques d'une onde sonore

Onde sonore : propagation d'une perturbation dans un milieu matériel.

L'objet que l'on fait vibrer met en vibration l'air autour de lui. Il y a donc propagation de la perturbation de proche en proche. (L'air est un milieu matériel car constitué de molécules.) Cependant, il n'y a pas de transport de matière lorsque l'onde sonore se propage. [Dessiner phénomènes de compression/dilatation de l'air.]

Caractéristiques

- **Vitesse** : dans l'air, $v = 340$ m/s ;
- **Fréquence** : $f = \frac{1}{T}$, reliée à la vitesse par : $v = \lambda f$, avec λ la longueur d'onde (*faire l'analyse dimensionnelle*)
→ caractérise si le son est aigu ou grave ;
- **Intensité** → caractérise si le son est fort ou faible ;
- **Onde sphérique** : à partir d'un point source (tracer un schéma).

Remarque Le domaine de fréquence d'une onde sonore est importante ; pour l'audible, il s'agit du domaine entre 20 Hz et 20 000 Hz. Les ultrasons sont au delà de 20 000 Hz, jusqu'à 10×10^6 Hz.

3.1.2 Intensité et niveau sonore

On définit l'intensité :

$$I = \frac{\mathcal{P}}{S} \quad (3.1)$$

Application numérique : hurlement d'un coyote qui communique avec son congénère situé à 100 m : $\mathcal{P} = 10$ W ; $S = 4\pi R^2$; donc $I = 8.0 \times 10^{-5}$ W m⁻². Cette définition est peu pratique pour comparer des sons. On introduit une autre grandeur, le niveau sonore :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (3.2)$$

exprimé en dB, avec $I_0 = 1.0 \times 10^{-12}$ W m⁻². Pour le coyote adulte, on trouve donc $L = 79$ dB. Si on considère un jeune coyote, son intensité sonore est deux fois moindre : $I_2 = \frac{I}{2}$. Alors, $L_2 = L - 3$ dB. On notera que lorsqu'on divise par deux la puissance émise, on réduit de 3 dB le niveau sonore.

Projection

Échelle de niveaux sonores.

3.1.3 Analyse spectrale d'un son

Projection

Sinusoïdes tracées sur GeoGebra.
Somme de sinusoïdes tracée sur GeoGebra.

Son pur son dont le signal correspondant est sinusoïdal.

Son composé son dont le signal correspondant n'est pas sinusoïdal.

On peut construire facilement des sons composés à partir de plusieurs sons pur.

Projection

On somme les sinusoïdes précédemment tracées sur GeoGebra.

Comment décomposer un son composé en plusieurs sons purs ? On utilise l'analyse spectrale → tracer le spectre de Fourier d'un son composé.

Spectre de Fourier : représentation des fréquences des différents signaux sinusoïdaux.

Tracer le spectre de Fourier du son composé.

Remarque Les spectres de Fourier peuvent être utilisés dans d'autres domaines que l'acoustique, à condition que l'on considère des signaux sinusoïdaux.

Projection

Autres exemples d'analyse spectrale.

Cela nous amène à définir deux autres notions :

Hauteur fréquence **fondamentale** d'un son, c'est-à-dire la plus faible.

Timbre toutes les autres fréquences du spectre d'un son composé.

Un exemple d'objet donnant un son pur est un **diapason** (*le montrer et faire entendre son son*). Les sons composés sont produits par tous les autres instruments de musique.

3.2 Autour de la guitare

3.2.1 Présentation

Projection

Dessin d'une guitare.

La guitare est composée de :

- une caisse de résonance → amplification du signal sonore créé par les cordes ;
- des cordes composées de matériaux différents pour produire des sons différents ;
- des clés pour accorder la guitare en jouant sur la tension des cordes.

3.2.2 Modélisation de la guitare

Une corde de guitare est caractérisée par :

- sa **tension** T (réglée par les clés) ;
- sa **longueur** L (quand on joue, on pose nos doigts sur la corde ce qui diminue sa longueur) ;
- sa **masse linéique** $\mu = \frac{m}{l}$ (donnée par le matériau de la corde).

On peut modéliser la corde de guitare par une corde de Melde.

Projection

Schéma de la corde de Melde. Remarque : la fréquence du vibreur doit être de l'ordre de la dizaine de Hz.

Objectifs Lier la fréquence de la corde f à ses trois caractéristiques.

Expliquer le montage expérimental utilisé. Le vibreur impose une fréquence de vibration à la corde qui est fixée à ses deux extrémités. On cherche la fréquence pour laquelle le fuseau a une amplitude constante et maximale.

On mesure une fréquence fondamentale $f = 23.7 \pm 0.1$ Hz. En préparation, on a mesuré la fréquence fondamentale f pour d'autres longueurs de corde L . On trace f en fonction de $\frac{1}{L}$ et on observe une fonction linéaire. On a une relation de proportionnalité entre f et $\frac{1}{L}$. On peut faire la même expérience pour d'autres paramètres de la corde :

- En changeant la masse au bout de la corde : on joue sur la tension. On a remarqué en préparation que f est proportionnelle à \sqrt{T} .
- En changeant le matériau de la corde, on joue sur sa masse linéique. On pourrait remarquer que f est proportionnelle à $\frac{1}{\sqrt{\mu}}$.

On a finalement la relation de la corde de Melde :

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3.3)$$

Projection

Bilan : comment on peut jouer sur la hauteur du son d'une guitare.

Conclusion

Projection

Bilan

Pour la prochaine fois : comment enregistre-t-on un signal sonore ?

Fiche 4

Aspects ondulatoires en optique (secondaire)

Ressources utilisées

- Hachette Éducation, TS, DULAURANS
- Animations (voir dans les liens utiles)

Pré-requis

- Ondes mécaniques (fréquence, période, célérité, front d'onde)
- Ondes électromagnétiques (sources mono et polychromatique).
- (Diffraction, [en fonction d'où part la leçon])

Éléments imposés possibles

Iridescence sur une bulle de savon ; mesure de la largeur d'un cheveu ; études des DVD ; tâche d'AIRY ; diffraction par des rideaux...

Introduction pédagogique

Niveau Terminale S (équivalence de contenu en Terminale Spécifique)

Difficultés — Se figurer que ces phénomènes existent pour la lumière : on fera des analogies avec les ondes mécaniques, et reparlera de la nature des ondes électromagnétiques.

- Séparer conceptuellement la diffraction et d'interférence... : pour cela, on pourra faire remarquer que sur une figure d'interférences, on retrouve la figure de diffraction.
- Faire le lien entre les dimensions de l'expérience et la figure observée.

Travaux dirigés Description et exploitation de figures d'interférences, de diffraction ; retrouver les dépendances en les longueurs caractéristiques.

Étude pour la lumière et pour les ondes mécaniques (vague) ou les particules (électrons).

Étude de la diffraction sur les disques DVD ou Blu-ray.

Travaux pratiques Reproduction et modélisation des phénomènes de diffraction et d'interférences.

La leçon se plaçait naturellement à un niveau de Terminale S (équivalence en contenu avec le programme d'optique ondulatoire de la Terminale Générale, Enseignement Spécifique de PC). Il s'agit de décrire et de caractériser les phénomènes de diffraction et d'interférences pour les ondes électromagnétiques : en fonction de leurs propriétés et des caractéristiques du système.

Le cours reste très centré sur l'expérience et sur l'observation (d'ailleurs dans le Thème « Observer » de l'ancien programme), on ne cherchera pas à expliquer plus en détail comment obtenir ces résultats (niveau L2, au moins...).

Remarque En fonction de la durée de la leçon et de l'élément imposé, on peut avoir à tout reprendre depuis le début ou à reprendre au niveau des interférences seulement, en considérant la diffraction comme vue en pré-requis, bien qu'on en ferait des rappels.

Introduction

Histoire NEWTON en 1666 découvre la dispersion de la lumière, HUYGENS l'explique en postulant l'aspect ondulatoire de la matière, dans son Traité de la lumière fin des années 1600.

Projection

Portraits de NEWTON et HUYGENS.

Retrouve-t-on d'autres aspects ondulatoires en optique, comme c'est le cas pour les ondes mécaniques, qu'on observe directement ?

Projection

Vidéo Youtube

Remarque Éventuellement, contextualiser avec les ondes lumineuses par la diffraction par les rideaux ? Images sur Internet.

Comprendre et décrire les phénomènes de diffraction et d'interférences pour les ondes lumineuses.

4.1 Diffraction de la lumière

4.1.1 Observation et modélisation du phénomène

Plaçons un obstacle (une fente par exemple) sur le chemin de la lumière (d'un laser...).

Projection

Animation, au choix :

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/fentever.html>

ou

https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_fr.html

Remarque La seconde permet de montrer la dépendance en la géométrie de la pupille. À garder en supérieur OU pour expliquer les figures visibles sur des rideaux par exemple !

On observe sur l'écran des taches lumineuses et des taches sombres : c'est ce qu'on appelle la figure de diffraction. L'objet diffractant est appelé *la pupille*.

Définissons alors plusieurs grandeurs pour décrire le système :

Projection

Ou dessin, en fonction du temps à disposition : Hachette Éducation, p. 63.

l est la largeur de la tache centrale : attention, elle est mesurée entre les deux zones les plus sombres ! a est la largeur de la fente et θ l'angle dessiné (dit demi angle de diffraction).

Si l'on fixe D grand, la distance entre la pupille et l'écran, on peut, à l'aide des formules de trigonométrie :

$$\theta \simeq \tan \theta = \frac{l}{2D}. \quad (4.1)$$

Modifier la largeur de la fente (expérimentalement ou sur l'animation). On remarque que l et donc θ diminuent quand a augmente.

On peut tracer la fonction $\theta = f(\frac{1}{l})$ et voir qu'il s'agit d'une droite : on a une relation de proportionnalité!

$$\theta = k \frac{1}{a}, \quad (4.2)$$

où k a la dimension d'une longueur. À l'aide du tracé, on détermine que k est de l'ordre de la longueur d'onde du laser utilisé. Par ailleurs, cela correspond à l'évolution observée en changeant le laser utilisé! [Le faire].

On trouve donc finalement :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad (4.3)$$

Remarque Pas pour les élèves mais : en réalité,

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a} \quad (4.4)$$

pour une fente, et voir tache d'AIRY pour une pupille circulaire. (facteur 1.22 quelque part...).

Projection

Autres formes de figure de diffraction...

https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_fr.html

Projection

Et en lumière blanche? Superposition des figures de diffraction... Hachette Éducation p. 64.

Remarque Si élément imposé sur les bulles de savon, passer plus de temps, avec notamment exercice p. 84 du Hachette Éducation.

4.1.2 Mesure de la largeur d'un cheveu par diffraction

Remarque Équivalence obstacle/trou par le théorème de BABINET.

4.1.3 Application : étude des DVD ou Blu-ray

Projection

DVD/BD, Hachette Éducation p. 64.

4.2 Le phénomène d'interférences

4.2.1 Mise en évidence expérimentale

Remarque Attention, on voit toujours la figure de diffraction !

Projection

https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_fr.html
OU
https://web-labosims.org/animations/interferences_aeuxsources/interferences.html
... plein d'animations !

4.2.2 Interprétation et caractérisation

Interférences constructives

Interférences destructives

Interfrange

Conclusion

Retour sur les objectifs.

Retour sur le fait que « on observe pour la lumière des phénomènes propres aux ondes : diffraction et interférences, on peut donc confirmer l'aspect ondulatoire de la lumière ». Pourtant, (ouverture), les électrons possèdent aussi ces propriétés (aspect ondulatoire de la matière) et la lumière possède des propriétés particulières (dualité onde-particule pour la lumière). Objet de la suite...

Fiche 5

Effet Doppler (secondaire)

À reprendre avec leçon et débrief de Bénédicte GREBILLE.

Ressources utilisées

- Hachette Éducation, DULAURANS, Terminale S, Physique Chimie
- Dictionnaire de physique, TAILLET pour définition et historique très rapide.
- Nombreuses animations disponibles sur Internet :
 - Loi de MALUS

Pré-requis

- Ondes mécaniques, électromagnétiques
- Ondes progressives, périodiques
- Signaux sonores

Éléments imposés possibles

Astrophysique, *Redshift*, *blueshift*, rotation solaire ? ; fonctionnement d'un radar ; fonctionnement de l'échographie... ; nombre de MACH, mur du son... ;

Introduction pédagogique

Niveau Terminale S [2012] (ou STL ? Trop peu d'attentes dans le programme ?).

Remarque Avec les programmes 2012, établissement du décalage Doppler dans le supérieur. En revanche, avec les programmes 2020, les élèves en spé PC en terminale ont au programme l'établissement du décalage Doppler.

Difficultés

Travaux dirigés Activités documentaires sur les applications, l'échographie, l'astronomie [dans la leçon en fonction de l'élément imposé]...

Travaux pratiques Effet Doppler appliqué à la mesure d'une vitesse par effet Doppler. Utilisation du téléphone portable ? Quelque chose de possible avec Python ?

Cette leçon se place au niveau de la Terminale S dans l'ancien programme et correspond toujours à un niveau de Terminale dans les nouveaux programmes, avec différence principale d'établir le décalage Doppler dans le nouveau programme. Ainsi, le choix sera fait de ne pas développer le calcul, mais d'essayer de lui attribuer un sens physique.

Dans le cadre du programme actuel, la leçon viendrait clôturer l'étude des propriétés des ondes dans le thème « Observer », après l'étude de la diffraction et des interférences. Cependant, ces propriétés ne sont pas nécessaires à l'étude de l'effet Doppler qui doit être présenté comme un cas particulier. L'idée est d'introduire un nouvel élément dans l'étude des ondes, sonores particulièrement puisqu'elles sont plus faciles à appréhender pour l'élève : le mouvement relatif de la source et de l'observateur. On insistera sur l'aspect « Observation » qui fait que c'est ce que l'on perçoit qui est modifié.

Introduction

Effet Doppler changement de la fréquence mesurée pour un signal ondulatoire, dû au mouvement de l'observateur ou de la source [TAILLET].

Histoire Décrit pour la première fois par le physicien autrichien Christian Doppler, en 1842. Vérifié expérimentalement d'abord par Buys BALLOT en 1845 pour les ondes sonores (expérience à lire : trompettes sur une locomotive...) puis par John S. RUSSEL en 1848. On parle parfois d'effet Doppler-FIZEAU par reconnaissance de Hippolyte FIZEAU qui nota son importance pour l'étude du rayonnement électromagnétique [TAILLET].

Remarque Le prénom de Doppler est bien Christian ; certaines sources lui donnent le prénom Johann, mais il s'agit d'une erreur régulièrement répétée après son introduction au dix-neuvième siècle.

5.1 Qu'est-ce que l'effet Doppler ?

5.1.1 Présentation et mise en évidence

5.1.2 Vers le décalage Doppler

Pédagogie L'idée ici n'est pas de développer le calcul du décalage Doppler qui serait fait dans le supérieur, mais de retrouver « empiriquement » la relation en suivant une démarche scientifique. L'étude des différents paramètres sera donc faite au mieux.

5.2 Applications de l'effet Doppler

5.2.1 Application à la mesure de vitesse : principe du radar

Expérience Mesure de vitesse : Hachette p. 68 ?

5.2.2 Application à l'imagerie médicale : principe de l'échographie

5.2.3 Application à l'astronomie

Exemple Rotation solaire : penser à regarder les ressources du CRAL ENS de Lyon pour une activité très précise (voir leçon de Lo pour cela.) Autre ressource : Astrosurf et Culturscience

Conclusion

Fiche 6

Phénomènes de polarisation optique (secondaire)

Ressources utilisées

- Lumière et luminescence, VALEUR (illustrations et histoire)
- Physique, HECHT (illustrations (réflexion) et histoire)
- Optique, une approche expérimentale et pratique, HOUARD (illustrations et phénomènes naturels (abeilles...))
- Animations EduMedia (polarisation, polariseur) ; aller vite : il faut actualiser si pas d'abonnement
- Ressources et schémas, dont angle de BREWSTER : Slideplayer
- Photoélasticimétrie Youtube et Wikipédia + FRUCHART, chap. 3

Pré-requis

- Ondes mécaniques, progressives, périodiques
- Ondes électromagnétiques, lumière
- Chiralité
- Concentration d'une espèce chimique ; dosage par étalonnage

Éléments imposés possibles

Loi de BIOT, excès énantiomérique ; écrans LCD ; lunettes à verres polarisés ; biréfringence ; cristaux de spath ; photoélasticimétrie.

Introduction pédagogique

Niveau Secondaire : Terminale STL. Se renseigner sur les nouvelles terminales, technologique et générale, pour savoir comment s'adapterait la leçon.

Difficultés Comprendre le phénomène de polarisation, qui n'est pas visible à l'œil nu. Pour cela, on fera des analogies avec les ondes mécaniques (excitation d'une corde) et on utilisera des animations en ligne.

Travaux pratiques "Démonstration" de la loi de BIOT (trouver la formule en faisant varier certains paramètres), détermination d'une concentration, lecture de protocole expérimental...

La leçon se place assez naturellement dans le programme actuel de terminale STL, en SPCL, dans le cadre de l'étude des ondes. Plus particulièrement, les phénomènes de polarisation sont abordés sous deux angles dans le programme de terminale : la mesure (menant à la détermination d'une concentration) et l'application/utilisation de ces phénomènes (écrans LCD...).

Le cours suivrait un premier cours sur la nature de la lumière, au travers d'aspects ondulatoire (qui lui-même serait précédé d'un cours plus large sur les ondes, mécaniques et progressives puis périodiques, les plus simples à assimiler pour les élèves). Pour bien différencier les phénomènes de polarisation des autres phénomènes ondulatoires

de la lumière, on invitera les élèves à réfléchir aux expériences, à ce qu'on met en évidence et comment ; pour cela, on se limitera à des dispositifs optiques simples : LASER, polariseur et analyseur, pour que l'élève identifie le plus facilement possible tous les éléments associés au phénomène observé (plutôt que de réfléchir à pourquoi on a une lampe, une lentille, un diaphragme...).

Remarque Sur les LASER ! Il faudra évidemment mentionner les consignes de sécurité et penser à regarder les différences entre LASER de classe 1 ou de classe 2. Un classe 1 ne nécessite pas le port de lunettes de protection mais il faut tout de même faire attention aux réflexions et préciser qu'il ne faut pas le pointer dans les yeux. Pour un classe 2, protection normalement assurée par réflexe de l'œil mais dégâts si exposition prolongée (plus de 0.25 s), donc préférer lunettes de protection ou utilisation du classe 1.

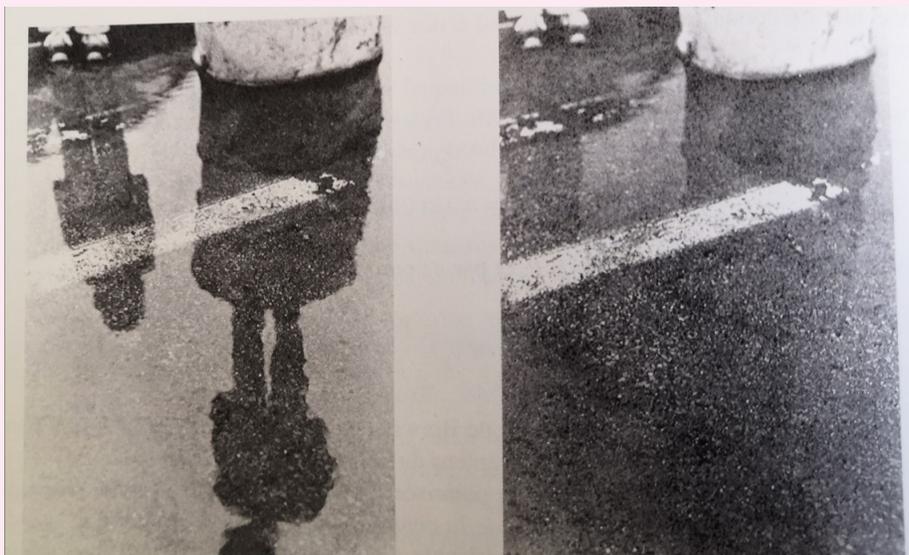
Introduction

Timing : 3 min 55 sec

Dans la vie de tous les jours, vous rencontrez des objets « polarisants ». Des objets tels que les lunettes anti-reflets, par exemple : elles permettent de ne plus observer de reflets à la surface d'une flaque, d'un lac...

Projection

À gauche, ce que l'on observe sans polariseur, à droite, avec, où l'axe de transmission est perpendiculaire au sol (dans le plan d'incidence vertical). Source : HECHT, Physique, p. 1020.



Se voit aussi (voir beaucoup mieux) avec l'illustration du HOUARD p. 268 ! Mais contient déjà une part d'explication, de représentation : garder pour plus tard ou pour le supérieur.

Remarque Il s'agit ici de polaroïd, donc de polariseur plastique (polymères...), fonctionnant de la même façon que des polariseurs en grille métallique.

Pour comprendre ce qu'il se passe, il faut se rappeler de la nature de la lumière. La **lumière** est une onde dite électromagnétique, c'est à dire qu'elle correspond à la propagation dans l'espace d'un champ électrique (et d'un champ magnétique, perpendiculaire au premier) perpendiculaire à la direction de propagation (l'onde est **transverse**).

Nous allons expliquer cette observation par l'étude de la polarisation de la lumière, c'est à dire l'évolution de la direction du champ électrique au cours du temps.

Objectifs Comprendre le phénomène de polarisation de la lumière et savoir comment l'exploiter.

6.1 De la lumière naturelle à la lumière polarisée

6.1.1 Description

Timing : 7 min 25 sec

La **polarisation** correspond à l'orientation du vecteur champ électrique lorsqu'un observateur regarde l'onde se propageant vers lui.

Une onde électromagnétique est **polarisée rectilignement** si le champ électrique est émis suivant une seule direction, appelée **axe de polarisation**. On peut faire l'analogie avec les ondes mécaniques : on peut exciter une corde verticalement, horizontalement, ... ces différentes directions d'excitation correspondent aux différentes polarisations de l'onde sur la corde.

Projection

HECHT, p. 1012 et Nathan TSTL p. 55

Remarque Noter que la lumière est toujours polarisée à un instant donnée. On considère qu'elle n'est pas polarisée quand les variations de la direction du champ électrique sont trop rapide (exemple : le Soleil). On parle alors de **lumière naturelle**.

Pédagogie Dans le supérieur, on introduirait la loi de MALUS ainsi que l'expérience d'icelui.

Comment alors obtenir une lumière polarisée ?

6.1.2 Obtention d'une lumière polarisée rectilignement

La polarisation d'une onde électromagnétique ne se voit pas directement à l'œil nu. On a recours à des matériaux (les mêmes que celui des lunettes polarisantes) appelés **polariseurs**, qui ne sélectionne qu'une seule direction de polarisation, appelée **axe de transmission**.

Expérience *Passage d'un rayon laser à travers un polariseur*, HECHT p. 1015.

On observe une intensité lumineuse moindre quand le rayon passe par le polariseur. En revanche, si on tourne l'axe de transmission, l'intensité lumineuse reste constante.

Cependant, cette expérience ne montre pas que la lumière en sortie du polariseur est polarisée. On a alors recours à un second polariseur, appelé **analyseur**.

Expérience *Passage d'un rayon laser à travers un polariseur puis un analyseur*.

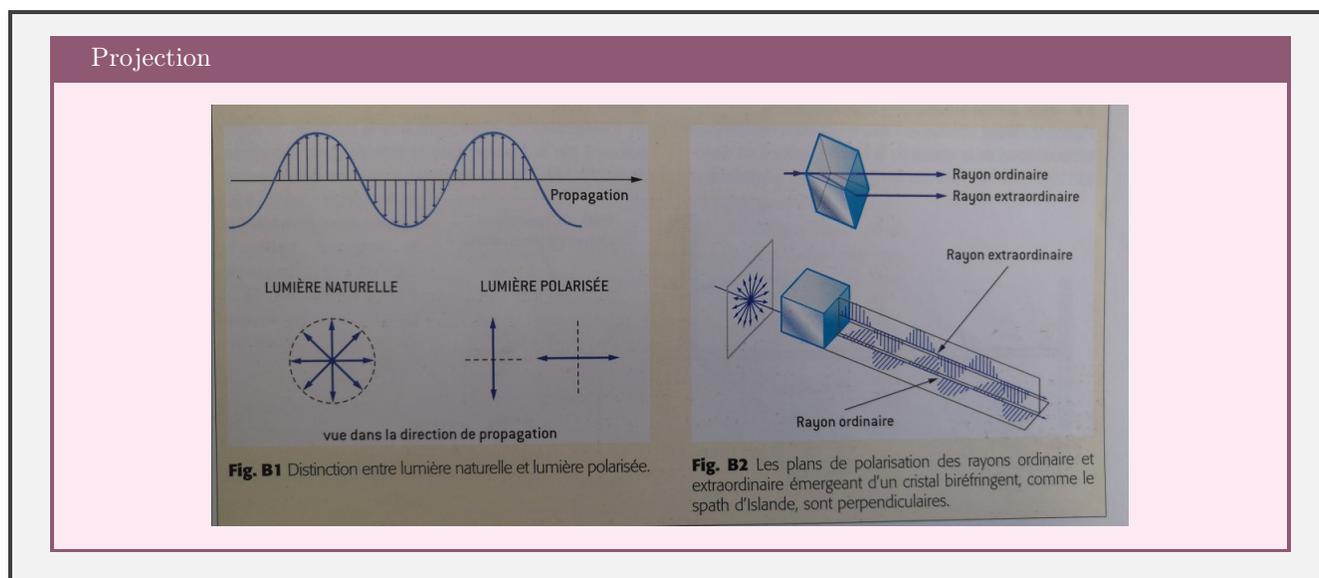
En tournant l'analyseur, on observe une **extinction** si son axe de transmission est orthogonal à celui du polariseur.

Projection

Animation EduMedia (polarisation, polariseur) ; aller vite : il faut actualiser si pas d'abonnement.

On peut ainsi mesurer des angles de déviation de la lumière polarisée, c'est ce qu'on appelle la **polarimétrie**.

Remarque Expérience de MALUS et découverte de FRESNEL sur la lumière polarisée et les cristaux biréfringents (cristaux de spath), VALEUR, Lumière et luminescence, p. 29.



6.2 Application de la polarisation...

6.2.1 En chimie : détermination d'une concentration

Timing : 18 min 24 sec

Remarque Si on a le temps, on pourrait faire une première sous-partie "Vers la loi de BIOT" pour montrer expérimentalement la dépendance en chacun des paramètres.

Contexte Certaines molécules sont dites **chirales** : elles ne sont pas superposables à leur image dans un miroir plan. Ces différences dans l'organisation spatiale de la molécule ont plusieurs conséquences, parfois désastreuses. Par exemple, le (+)-limonène a une odeur d'agrumes (orange ou citron), tandis que le (-)-limonène a une odeur de pin. Le thalidomide est un médicament dont l'énantiomère est tératogène (il conduit à des malformations du fœtus s'il est prescrit à des femmes enceintes). Ces molécules chirales ont également la capacité de dévier la lumière polarisée. On dit qu'elles sont **optiquement actives**.

Projection

Structures du limonène et du thalidomide

Expérience On reprend le montage précédent en se plaçant à l'extinction et on ajoute une cuve. Si elle contient de l'éthanol, on observe toujours une extinction. En revanche, si on ajoute du limonène énantiomériquement enrichi, on observe de nouveau de la lumière. On cherche la nouvelle extinction. L'angle de déviation mesuré suit la loi de BIOT.

Loi de BIOT : (début du XIX^{me} siècle)

$$\alpha = [\alpha]_D^{20} l c \quad (6.1)$$

avec α en degrés ($^\circ$), l en dm, c en g/mL, donc $[\alpha]_D^{20}$ en $^\circ \text{ mL/g/dm}$.

Comment déterminer une concentration ?

On effectue un dosage par étalonnage : tout d'abord, on mesure les angles de déviation de plusieurs solutions de limonène de concentrations connues dans la même cuve. On connaît alors la valeur de $[\alpha]_D^{20} l$ en traçant la droite d'étalonnage. Puis, on mesure l'angle de déviation pour une solution de concentration inconnue. On en déduit grâce à la loi de BIOT cette concentration.

La plus grosse incertitude sur cette expérience est la mesure de l'angle de déviation, car il est difficile de repérer une extinction (c'est tout de même plus simple que de repérer un maximum d'intensité).

6.2.2 En physique : photoélasticimétrie

Timing : 28 min 55 sec

Une autre application de la polarimétrie est la **photoélasticimétrie**. Il s'agit de l'étude des déformations et des contraintes mécaniques pour des matériaux **photoélastiques**. Ces matériaux sont optiquement **isotropes** au repos, c'est-à-dire qu'ils ont les mêmes propriétés dans toutes les directions de l'espace. Mais, sous l'action d'une contrainte mécanique, ils deviennent **biréfringents** : leurs propriétés optiques dépendent de la direction de la lumière qui les traverse. Les matériaux photoélastiques induisent donc, sous l'effet d'une contrainte mécanique, une polarisation supplémentaire à celle de la lumière incidente. On peut ensuite l'analyser comme ce qui a été vu précédemment.

Projection

HECHT, p. 1022 et HOUARD, p. 288

Les zones de même couleur correspondent à la même intensité de la contrainte.

On peut faire l'expérience soi-même : on observe une lumière polarisée (comme à travers un téléphone par exemple) à travers un tupperware (ou une coque de téléphone plastique transparente) et des lunettes aux verres polarisants.

La photoélasticimétrie a des applications dans l'industrie. Elle sert à trouver les points de fragilité d'un objet. Pour ce faire, on le recouvre d'un revêtement photoélastique, s'il ne l'est pas déjà, et on observe à travers un analyseur l'objet soumis à une lumière polarisée.

Conclusion

Timing : 38 min

La lumière naturelle est non polarisée. Pour créer une lumière polarisée rectilignement, c'est à dire dont le champ électrique est dans un axe de polarisation fixe, il faut la faire passer à travers un matériau polarisant.

Projection

VALEUR, p. 23 et HOUARD, p. 260.

Cependant, la lumière peut aussi se polariser après réflexion sur un matériau non polarisant (flaque d'eau, carrelage, vitre, ...). Ces reflets peuvent être gênants, c'est pourquoi on utilise des lunettes polarisantes, anti-reflets.

Fin : 39 min 55 sec

Questions

Questions

Peut-on avoir une polarisation magnétique ?

Est-ce que la polarisation en sortie de l'analyseur est selon son axe ou selon celui du polariseur ?

Parler de la loi de MALUS.

Réponses

Oui, car elle est couplée au champ électrique, mais la polarisation est définie par la direction du champ électrique.

Selon celui de l'analyseur. ATTENTION ! L'animation est fautive sur ce point.

Comment est fait un polariseur ?

Il peut être constitué de grilles métalliques ou de polaroïds (matériau polymère). Les oscillations du champ électrique induise un mouvement des électrons. La lumière est donc dissipée sauf dans une seule direction. *(prévoir une slide là-dessus car on nous posera forcément la question)*

Citer un autre matériau polarisant à la maison.

Le scotch étiré.

Qu'est-ce que la biréfringence ?

L'indice optique du matériau n'est pas le même dans toutes les directions. Le matériau est donc anisotrope. La lumière ne se propage donc pas de la même manière suivant chacun des axes.

Parler de l'angle de BREWSTER.

Regarder la vidéo Slideplayer vers 3 min.

Debrief

Le plan est très bien.

Pour les manipulations, on devrait avoir accès à un polarimètre de LAURENT et donc ne pas avoir à faire les mesures pour la loi de BIOT avec le montage d'optique.

Fiche 7

Énergie électrique (secondaire)

Ressources utilisées

- Belin, 1^{re} Physique-chimie, Enseignement spécifique (2019)
- lelivrescolaire, 1^{re} Physique-chimie, Enseignement spécifique (2019)
- Nathan, 1^{re} Physique-chimie, Enseignement spécifique (2019)

Éléments imposés possibles

Effet JOULE; rendement d'une pile; rendement d'un ballon d'eau chaude...; transport de l'énergie électrique; stockage de l'énergie électrique??

Introduction pédagogique

Pré-requis

- Charge électrique, courant électrique continu, expression de son intensité [1^{re}]
- Sources réelles de tension continue, caractéristique associée [1^{re}]
- Énergie potentielle de pesanteur, énergie cinétique et énergie mécanique (chute libre, finalement) [Collège]

Niveau Première enseignement de spécialité (ou Terminale S)

Difficultés enseignant-es Piège qui consisterait, pour cette leçon, à redéfinir les premières notions électriques (intensité, sources de tension...). Se concentrer sur la partie « bilan de puissance » pour ce cours permet d'arriver lentement à la partie « rendement d'un convertisseur » qui permet de réinvestir des notions notamment sur les autres formes d'énergie.

Difficultés élèves Comprendre l'intérêt de la puissance par rapport à l'énergie.

Travaux dirigés

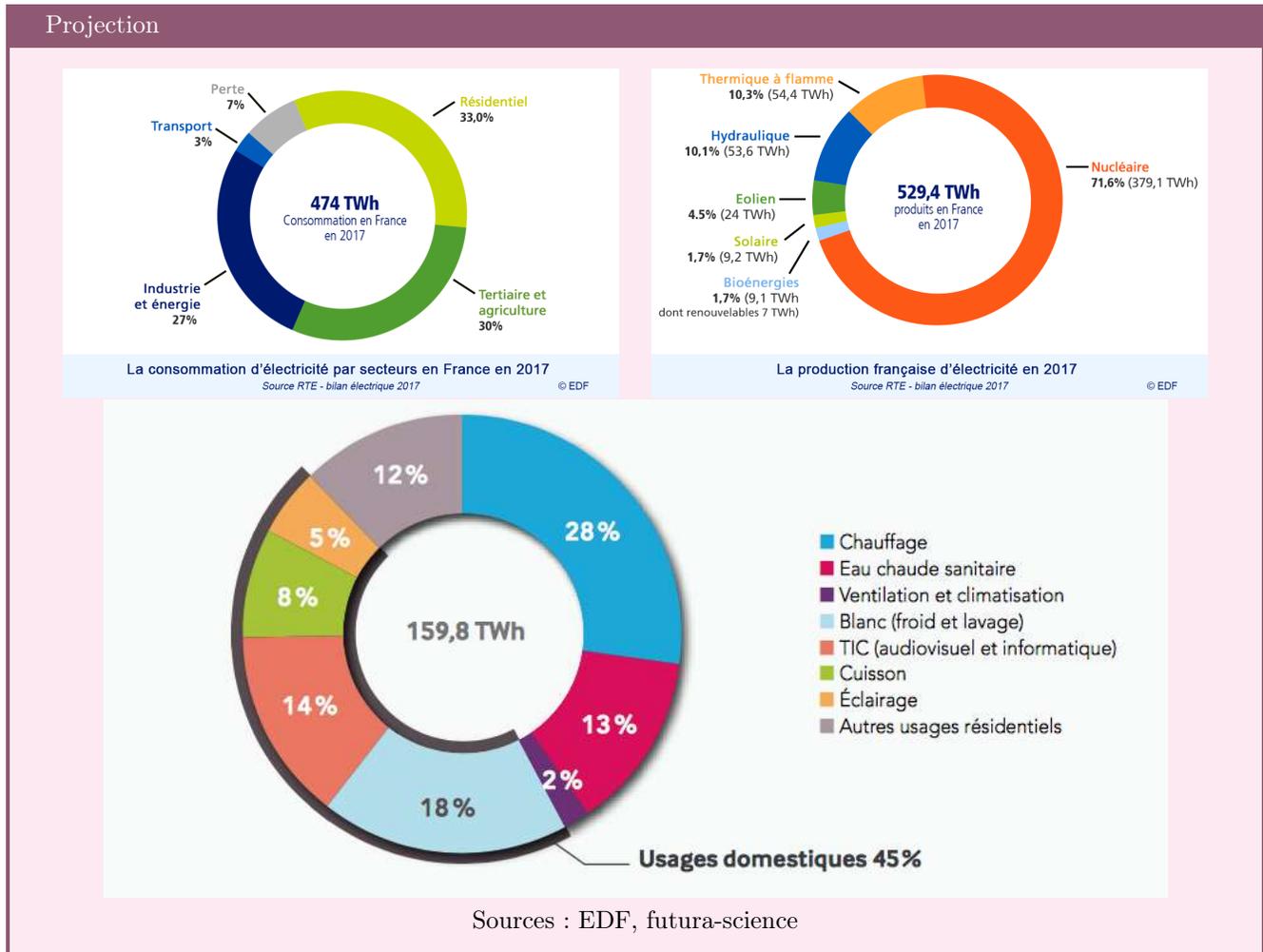
Travaux pratiques

Dans le grand thème « L'énergie, conversions et transferts » où l'un des objectifs pédagogiques à long terme est d'éveiller l'esprit critique des élèves sur la demande énergétique de la part de la société et les enjeux, problèmes et solutions, liés à la consommation d'énergie électrique (production, transport, stockage...) Pour cela, on commencera par contextualiser la leçon pour les élèves avec les dernières données complètement communiquées par EDF ; aussi, on essaiera dans la mesure du possible d'indiquer les dangers liés à l'utilisation d'électricité.

Les pré-requis portent essentiellement sur les notions vues dans un cours qui précéderait celui-ci, qui reprendrait les notions de charge électrique, de courant continu et de son intensité... Les générateurs de tension continue réels seraient présentés, avec la modélisation par une résistance en série et le tracé/l'étude de leur caractéristique.

Introduction

Mise en contexte : pourquoi allons-nous nous intéresser à l'« énergie électrique » ?



[Commenter ces données, parler du nucléaire en France, de ce qui consomme le plus chez soi...] et on lit ici des données en TW h... à quoi cela correspond ? Il s'agit d'une énergie... T correspond à e12...

Dans le cours précédent, nous avons défini ce qu'était un courant électrique – un déplacement d'ensemble de porteurs de charge au sein d'un conducteur – et l'avons caractérisé par son intensité, définie comme :

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t}, \quad (7.1)$$

où Q est la charge électrique (en coulombs C) traversant une surface S du conducteur pendant un temps Δt . [Insister à l'oral ?]

En seconde, vous avez revu la notion de tension électrique, en particulier pour des dipôles simples comme des résistances ; et au dernier cours, celle-ci a été réinvestie pour comprendre le fonctionnement des sources de tension continue.

Aujourd'hui, nous allons nous intéresser particulièrement aux notions d'énergie et de puissance électrique. Tâchons dans un premier temps de comprendre ce qu'on va chercher à identifier dans ce cours : l'énergie.

Exemple Exemple du skieur : un skieur se trouve à l'arrêt en haut d'une piste de ski. Il entame la descente, et à mesure qu'il descend, il gagne en vitesse... comment l'interpréter physiquement ? On peut utiliser un concept physique qui est celui d'énergie... on considère, comme vous l'avez vu, qu'en haut de la piste, le skieur possède un total énergétique composé uniquement de l'énergie potentielle de pesanteur, provenant du fait que le skieur est en hauteur par rapport à la situation finale. Au cours de sa descente, l'énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique, c'est à dire une énergie liée à la vitesse du skieur.

Ce skieur n'est pas notre intérêt principal ici, vous l'avez déjà rencontré plus tôt : ce qui nous intéresse ici, c'est la notion de bilan énergétique. Notre **objectif** pour ce cours sera de pouvoir mener des raisonnements analogues de bilan d'énergie, ou plus précisément de bilan de puissance comme on le verra, pour des systèmes électriques, qui sont à la base de nombreux outils et objets de la vie de tous les jours comme nous en avons parlé au début du cours.

Objectifs Dresser un bilan énergétique pour un système électrique.
Définir et utiliser un rendement.

7.1 Bilan de puissance dans un circuit

Majoritairement inspirée du Belin, 1^{re} Physique-chimie enseignement spécifique.

7.1.1 Puissance électrique

Une *puissance électrique* est un débit d'énergie électrique, c'est à dire une quantité d'énergie fournie par un système à un autre par unité de temps. On l'exprime de la façon suivante :

$$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t}, \quad (7.2)$$

où \mathcal{P} est la puissance exprimée en W ou joule/s ; \mathcal{E} est l'énergie en J et Δt la durée en s. [Insister sur les unités]

Cette définition n'est pas très utile en l'état : il n'est pas très pratique de travailler avec l'énergie quand on étudie des circuits électriques. On aborde alors la puissance au travers de deux autres définitions, en différenciant les composants de circuits qui consomment une puissance et ceux qui en fournissent.

Puissance consommée par un dipôle récepteur Un dipôle a un caractère récepteur s'il reçoit de l'énergie électrique et la consomme pour réaliser une action. [Dessiner un dipôle passif en convention récepteur] La puissance consommée est alors :

$$\mathcal{P}_{\text{consommée}} = U_{AB}I \quad (7.3)$$

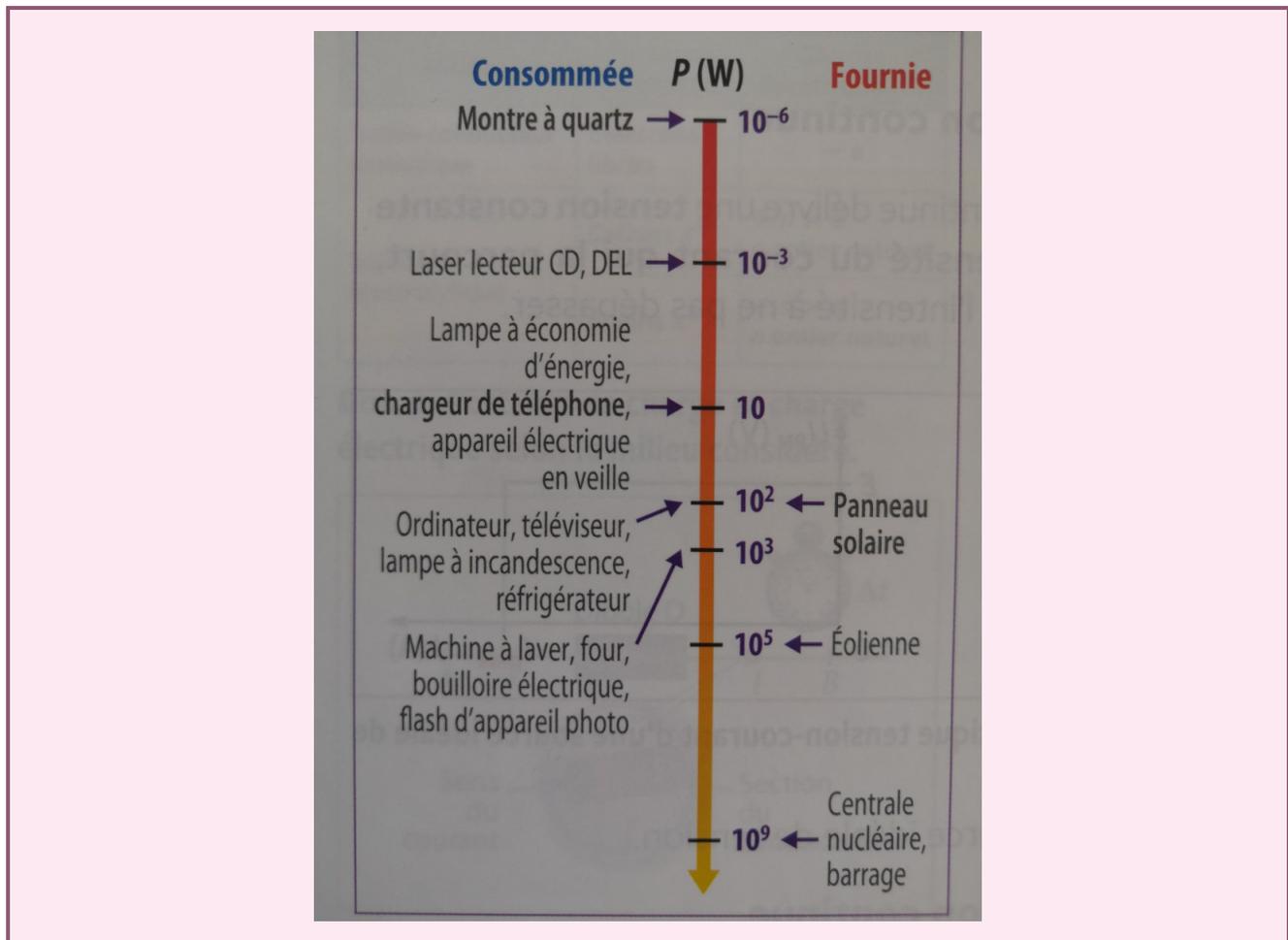
Puissance fournie par un générateur Un dipôle a un caractère générateur s'il fournit de l'énergie électrique au reste du circuit. [Dessiner un générateur en convention générateur] La puissance fournie est alors appelée puissance utile et a comme expression :

$$\mathcal{P}_{\text{utile}} = U_{PN}I \quad (7.4)$$

Remarque C'est la convention qui va déterminer le signe de l'intensité et de la tension et permettre d'avoir une puissance consommée ou une puissance fournie positive.

Projection

Ordres de grandeur des puissances consommées/fournies par différents dispositifs. *Belin, 1^{re} 2019, p.250*



7.1.2 Bilan de puissance dans un circuit

Dans un circuit électrique, la puissance utile fournie par le générateur est égale à la puissance consommée par les récepteurs.

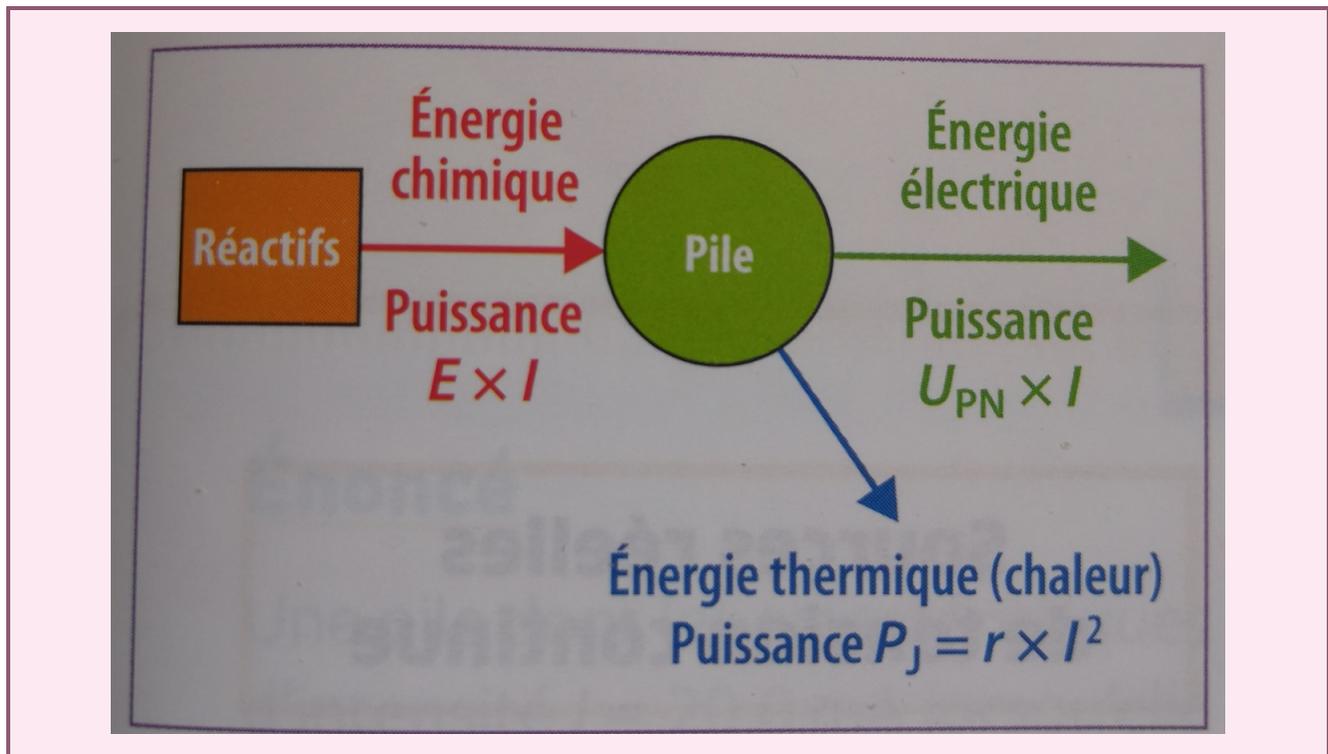
$$\mathcal{P}_{\text{utile}} = \mathcal{P}_{\text{consommée par le(s) récepteur(s)}} \quad (7.5)$$

[Dessiner un circuit simple avec un générateur réel (montrer l'équivalence) et un dipôle.]

On montre avec la modélisation effectuée en cours introductif sur les sources réelles de tension continue que la puissance utile est la différence entre une puissance « chimique » produite (ou autre source) et une puissance dissipée sous forme de chaleur (l'effet JOULE).

Projection

Bilan de puissance pour une pile réelle, *Belin, 1^{re} 2019, p.251.*



7.1.3 Cas des dipôles ohmiques

Effet JOULE qui peut être recherché ou fui... (voir exemples suivants.)

Expérience Énergie dissipée par effet JOULE : calorimétrie?
Montrer comment une bouilloire fonctionne : la résistance est visible...

7.2 Convertisseurs d'énergie

De nombreux éléments imposés sont possibles ici.

7.2.1 Présentation du convertisseur

Un convertisseur est un dispositif qui convertit une forme d'énergie (entrante) en une autre (sortante). Vous en connaissez plein !

Projection

Exemples de convertisseurs d'énergie, *Belin, 1^{re} 2019, p.251.*

Convertisseur	Énergie	
	entrante	sortante
Panneau photovoltaïque	lumineuse	électrique
Pile électrochimique	chimique	électrique
Lampe	électrique	lumineuse
Radiateur	électrique	thermique
Voiture électrique	électrique	mécanique

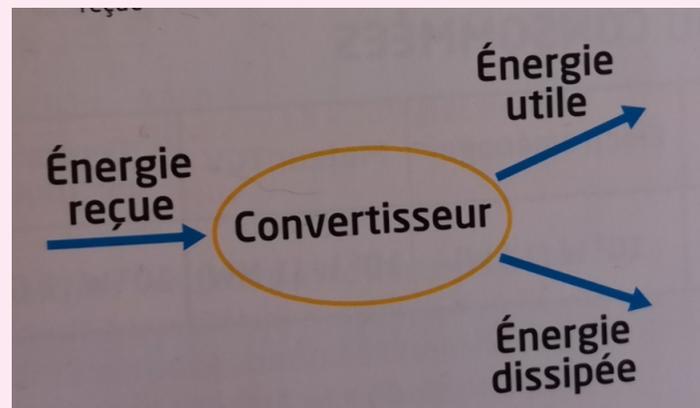
7.2.2 Rendement d'un convertisseur

Rendement défini comme :

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{\text{utile}}}{\mathcal{P}_{\text{consommée}}}, \text{ ou } \eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{consommée}}}. \quad (7.6)$$

Projection

Source : Nathan p. 269



Remarque La puissance consommée est la puissance consommée par l'ensemble du système. Elle contient donc la puissance utile mais aussi la puissance « perdue », il vient donc facilement le fait :

$$\eta \leq 1 \quad (7.7)$$

Exemple Rendement d'une perceuse électrique, d'une éolienne, *Belin, p.254*

Exemple Rendement d'un ballon d'eau chaude, *lelivrescolaire, p. 290.*

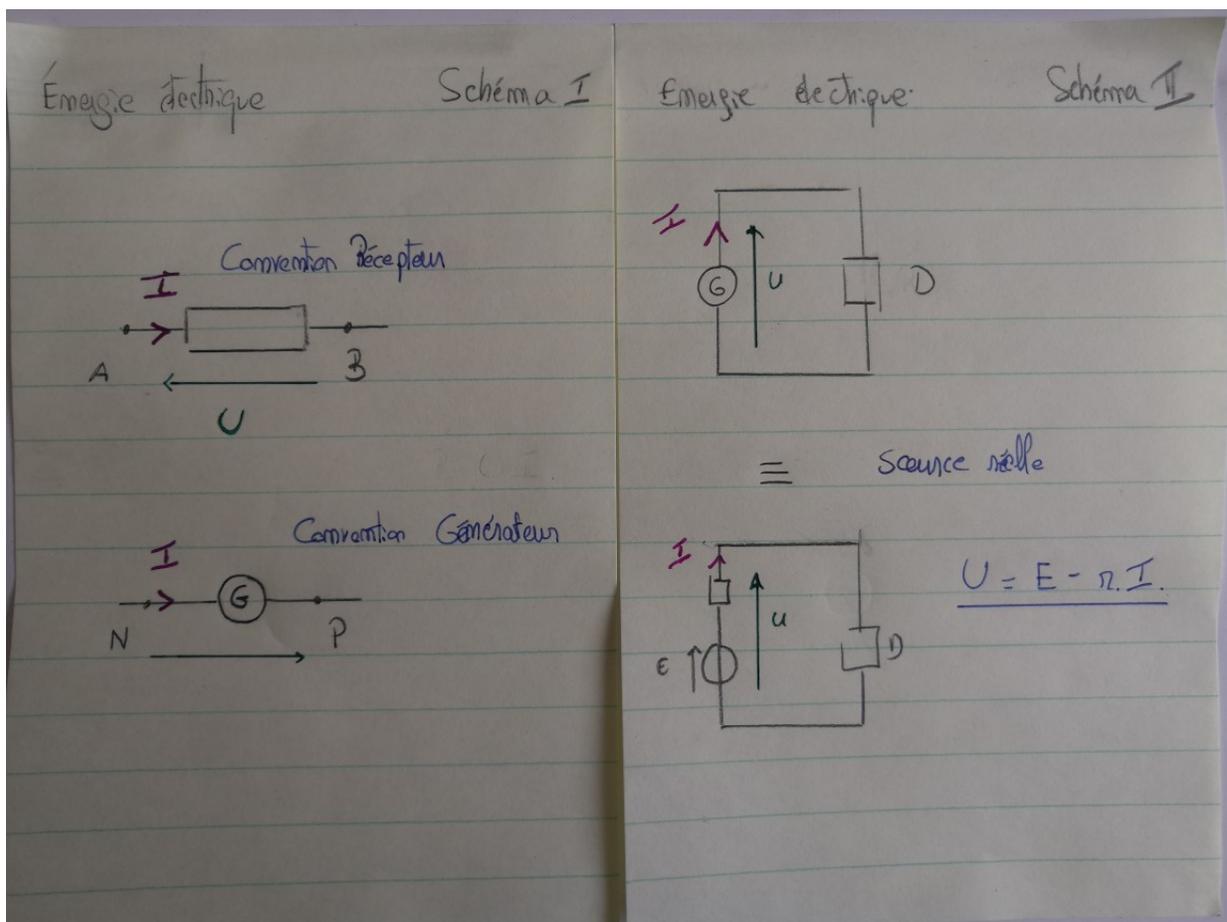
Conclusion

Remarque Les dangers de l'électricité? Arrêt cardiaque, Nathan 1^{re} S, p. 27.

Le corps humain possède une résistance constante et peut conduire un courant entre un câble électrique et la terre... utilisation de fusible??

Remarque Notions de grandeurs efficaces à avoir... (courant continu qu'on aurait pour avoir, en puissance continue, la puissance du système périodique définie comme la moyenne sur la période de la puissance instantanée). cf. OLIVIER, PC/PC*, Référence prépras bleu/vert.)

Schémas à réaliser



Fiche 8

Conservation de l'énergie

Ressources utilisées

- Plan de M. LECONTE (niveau terminale S)
- TAILLET pour la définition de travail notamment...
- Belin TS (2012)
- Hachette TS (2012)
- Nathan 1^{re} enseignement scientifique, 2019 (chap. 7)
- Une activité complète de modélisation ; remarque, code utilisé perso, sur site perso

Pré-requis

- Expression des énergies potentielle de pesanteur, cinétique [seconde]
- Notion de conversion d'énergie (d'une forme vers une autre) [première]

Éléments imposés possibles

Métabolisme du corps humain ; chute libre ; frottements

Introduction pédagogique

Niveau 1^{re} PC (TEC) ; Terminale S (TEM, possibilité de parler d'énergie interne...)

Remarque Plus simple à donner niveau terminale, vu qu'on a plus d'outils en mécanique...

Difficultés Utilisation de vecteurs et produit scalaire pour le calcul du travail (faire des schémas des situations) ; Première notion de « conservation » ; faire le lien avec une autre conservation, la matière...

Travaux dirigés Nombreux exercices... conservation de l'énergie mécanique avec les sports d'hiver ; activité documentaire sur la conservation de l'énergie dans le corps humain... ; lien avec le cours « Énergie électrique » pour aborder la conservation dans le cadre de l'utilisation d'outils (trotinettes élec, dans lelivrescolaire...)

Travaux pratiques Chute libre, pointage vidéo ; pendule avec et sans frottement, acquisition **LatisPro** ; (Calorimétrie). Utilisation de l'outil informatique, lecture et écriture de code **Python**.

Il s'agit d'une leçon qui nécessite des pré-requis de seconde ou première selon le niveau, mais qui ne doivent pas nécessairement être très solide, étant donné qu'on reprend tous dans le détail en terminale ; ou qu'on rappelle de nombreuses choses en première.

On profitera de cette leçon pour commencer ou continuer à introduire l'outil informatique aux élèves avec la lecture et l'utilisation d'un programme (simple!) **Python**. Pour la chute libre, on se placera dans un cas très très simple et les élèves pourraient avoir à compléter le code ; pour le pendule, on pourrait demander aux élèves de faire varier les paramètres, pour voir quels changements cela fait sur le résultat de la simulation. On pourra bien

sûr présenter aux élèves quelques astuces de présentation de résultats, qui est elle aussi essentielle dans les sciences physiques, activité qu'ils pourraient trouver ludique.

Introduction

Conclusion

Fiche 9

Transmission de l'information

Ressources utilisées

- Leçon de M. ROOSE, correction de P. RIGORD
- Voir cours/TP en ligne http://ressources.agreg.phys.ens.fr/static/TP_chi/serie3/TransmissionInformation.pdf
- Voir fiche de M. LECONTE

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Physique du câble ethernet ; signal binaire ; transmission guidée, libre ;

Introduction pédagogique

Niveau Terminale S, dans le thème « Agir » ; une partie de ce programme dans le programme de Première SPCL.

Difficultés

Travaux dirigés Établissement de chaînes de transmission, pour des objets de la vie de tous les jours.

Travaux pratiques

Introduction

Conclusion

Fiche 10

Images et couleurs (secondaire)

Ressources utilisées

- SEXTANT pour le modèle de l'œil, p. 25
- GRÉCIAS, T& D, PCSI, schémas de l'œil et ses défauts, p. 283
- Plan et leçon de A. LASBLEIZ, correction par H. PIOT-DURAND

Pré-requis

Pour une leçon de niveau première spécifique

- Lentilles minces convergentes
- Relation de conjugaison
- Images réelles, virtuelles...

Éléments imposés possibles

Systèmes RGB, CMYK ; modèle de l'œil, myopie, daltonisme... ; appareil photographique ;

Introduction pédagogique

Niveau 1^{re} spécifique

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

Leçon que l'on placerait à un niveau de première, pendant le cours d'enseignement spécifique. Il suivrait un premier cours sur la formation des images et l'utilisation des lentilles minces convergentes, avec notamment l'utilisation de la relation de conjugaison.

On profiterait alors de ce cours pour appliquer ces résultats à la modélisation de l'œil humain, permettant aux élèves d'ancrer leurs connaissances récemment acquises dans le réel, pour comprendre leur organisme.

Il s'agira ensuite d'élargir ce qu'est « la formation d'une image » en introduisant la perception des couleurs. Ce sera l'occasion de continuer la modélisation de la vue humaine, puis d'aller vers la formation des couleurs, des différents systèmes qui existent...

Remarque La leçon clôt le thème Ondes et Signaux de la première, mais on pourrait ouvrir, avec les images, sur la formation d'images avec le RGB et les signaux binaires, le stockage...

Introduction

Dans la vie de tous les jours, on rencontre parfois des « images flous », que ce soit directement avec nos yeux ou lorsqu'on prend une photo. Pour cela, on doit parfois « régler » : mettre des lunettes, se rapprocher ou s'éloigner, changer un réglage sur l'appareil photo... C'est lié à ce qu'on a vu dans le cours précédent, sur les lentilles minces convergentes et la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}, \quad (10.1)$$

qui n'est respectée que pour une image (en A') nette d'un objet en A. Ainsi, pour la respecter, il faut changer certains des paramètres.

Aussi, nous voyons les couleurs, et pouvons depuis des décennies les reproduire : comment cela fonctionne-t-il ? Pour notre œil, pour les appareils électroniques ?

Comprendre le fonctionnement de l'œil humain ainsi que la synthèse et perception des couleurs

10.1 Formation de l'image dans l'œil

Remarque Partie alternative en fonction de l'élément imposé : appareil photographique.

Remarque Se référer au SEXTANT pour ce qui est de la théorie et lde la pratique autour de l'œil, à un niveau qui n'est pas forcément abordable en première.

10.2 Perception des couleurs

10.2.1 Composition de la lumière blanche

10.2.2 (Interactions entre la lumière et les objets)

10.2.3 Synthèses additive, soustractive

10.2.4 Perception des couleurs par l'œil humain

Remarque Le titre est une perche vers les yeux d'autres espèces.

Conclusion

Résumer, ouvrir sur d'autres défauts de l'œil ; ouvrir sur le stockage de l'information « couleur »...

Fiche 11

Instruments optiques

Ressources utilisées

- Cours en ligne http://www.edu.upmc.fr/physique/lp103ElectOpt/doc_opt/optique.pdf
- HOUARD, *Optique, une approche expérimentale* pour ce qui est de la culture et des images
- Ressources SPCL, académie de Montpellier
- SEXTANT *Optique expérimentale* et DUFFAIT *Expériences d'optique* pour ce qui serait de l'expérimental
- GRÉCIAS, T& D, PCSI

Pré-requis

- Lentille convergente
- Miroirs plan, sphérique
- Tracé de rayons lumineux
- Relation de conjugaison et formule du grandissement
- Notion de diffraction
- Modélisation de l'œil

Éléments imposés possibles

Very Large Telescope ; microscope et modèle optique ; la lunette de GALILÉE ; caractéristiques (grandissement, grossissement, profondeur de champ, pouvoir séparateur...)

Introduction pédagogique

Niveau Terminale STL SPCL

Difficultés Comprendre comment un instrument optique peut être simplement décrit par des lentilles et une source, sans oublier les limites associées ; lorsque plusieurs lentilles seront impliquées, le tracé des rayons se fera pas à pas, sans parachuter le résultat (et sera refait en TD) [idéalement sur flexcam].

Aussi, on pourra se référer aussi souvent que nécessaire à des schémas synoptiques pour étudier ces objets et appliquer les lois utiles.

Travaux dirigés Revoir les différents tracés, en partant de simple (loupe) vers plus compliqué...

Travaux pratiques Mise en place du montage du microscope, modélisation de l'œil...

La leçon se traite de façon appliquée en Terminale STL (Science et technologies du laboratoire) spécialité SPCL (Sciences Physiques et Chimiques en laboratoire.) Les pré-requis annoncés permettent de dissocier l'étude en deux cours principaux : un cours sur les concepts et les objets/rerelations simples (lentilles, conjugaison...) et un cours sur les applications avec une véritable démarche scientifique (modélisation, simplification, limites...).

L'idée sera d'ancrer la compréhension des instruments dans leur réalisation pratique en TP, si possible, en formant éventuellement des groupes puis des évaluations par présentation des montages. L'étude d'instruments

optiques pourra être approfondie au travers d'étude de documents sur des instruments complexes, comme le télescope HUBBLE par exemple.

La difficulté ira croissant et on en profitera pour introduire les grandeurs à étudier sur des objets d'abord simples tels qu'une loupe.

Remarque Attention, ne sont au programme que le microscope et le télescope ; pas de mentions d'autres associations comme le lunettes (astronomiques, de GALILÉE...)

Introduction

Remarque Suivre ce qui est fait dans le programme de terminale SPCL.

11.1 Voir plus grand

11.1.1 Utilisation d'une loupe

[Tracé lentille convergente puis objet réel entre O et F]

Remarque Voir schéma sur site perso.

On peut définir le grossissement qui est le rapport de l'angle par lequel on voit l'image par l'angle par lequel on voit l'objet sans la loupe. On en profite alors pour définir le grossissement commercial :

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha_m}, \quad (11.1)$$

avec α' l'angle par lequel l'œil voit l'image sans accommoder (image à l'infini, objet sur le plan focal objet) et α_m l'angle le plus grand par lequel l'œil voit l'objet nette (objet au PP de l'œil).

[Faire le calcul en refaisant un schéma pour le cas commercial, avec schéma synoptique?]

Exemple application numérique pour $d_m = 25$ cm et $f' = 10$ cm, on trouve un grossissement commercial de 2,5

Quand on souhaite lire plus précisément un texte très petit, cela semble suffisant... pour étudier une cellule végétale, ça ne l'est pas ! Alors comment s'en sortir avec des lentilles de focales raisonnables ?

Dans la suite, nous allons étudier des systèmes plus complexes qui sont en fait des associations de lentilles. Celle-ci permettent cependant de reproduire le comportement d'objets utilisés au laboratoire, que ce soit en biologie ou en astrologie par exemple (microscope et télescope).

11.1.2 Utilisation d'un microscope

On pourra utiliser les ressources SPCL de l'académie de Montpellier.

Le microscope est un instrument d'optique destiné à observer des objets ou des détails d'objets dont les taille sont de l'ordre du micromètre.

Remarque Penser à faire une application numérique en fin de sous-partie.

Remarque *S'inspirer du Optique : une approche expérimentale, HOUARD. Aussi traité dans Optique expérimentale, SEXTANT*

Objectif association convergente de lentilles (modélisée par une lentille convergente, notée \mathcal{L}_1 de distance focale f'_1). Il s'agit de la partie optique qui recueille la lumière issue de l'objet observé.

Oculaire association convergent de lentilles (modélisée par une lentille convergente, notée \mathcal{L}_2 de distance focale f'_2). Il s'agit de la partie optique derrière laquelle on place l'œil pour observer l'image formée par l'instrument.

[Schéma synoptique du microscope, insister sur le fait que les raisonnements seront les mêmes ! mais découpés]

Remarque Voir schéma sur site perso.

Remarque Aller plus loin : voir la notion de profondeur de champ et de position/dimension du cercle oculaire, livre de prépa.

11.2 Voir plus loin

11.2.1 Lunette astronomique

Histoire GALILÉE en 1609

Traité dans le DUFFAIT, expériences d'optique.

11.2.2 Téléscope

Remarque Limites des télescopes ? Particulièrement front d'onde déformé par atmosphère...
Solutions : hors atmosphère, optique adaptative (miroirs déformables).

Conclusion

Fiche 12

Sources de lumières

Ressources utilisées

- Lelivrescolaire 1^{re} PC
- Lelivrescolaire 1^{re} ES
- ESSENTIEL ! le SEXTANT, Optique expérimentale, Chapitre 1

Pré-requis

Les pré-requis seraient :

- Ondes électromagnétique
- Atomes et électrons
- Liens entre périodes spatiales, temporelle, célérité...

Éléments imposés possibles

Étoile de WOLF-RAYET ; LASER ; Loi de WIEN ; dualité onde-corpuscule...

Introduction pédagogique

Niveau 1^{re} enseignement scientifique OU 1^{re} physique, chimie et mathématiques en STL

Remarque Énoncés du programme STL probablement plus proches :

Spectre et fréquence.	
Spectre des ondes électromagnétiques ; rayonnements gamma, X, UV, visible, IR, micro-ondes, ondes radio. Sources lumineuses. Spectres d'émission et spectres d'absorption.	<ul style="list-style-type: none"> - Classer les ondes électromagnétiques selon leur fréquence et leur longueur d'onde dans le vide. - Citer les ordres de grandeur des longueurs d'onde limites du spectre visible. - Citer des domaines d'utilisation des différents types d'ondes électromagnétiques. - Caractériser différentes sources lumineuses à l'aide de leur spectre : laser, LED, lampe à incandescence, lampe spectrale etc. - Distinguer spectres d'émission et spectres d'absorption, spectres continus et spectres de raies. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole pour observer le spectre de différentes sources lumineuses. - Mettre en œuvre un protocole pour observer un spectre d'absorption d'une solution.
Photon, énergie d'un photon.	<ul style="list-style-type: none"> - Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. - Citer et exploiter la relation entre l'énergie d'un photon et la fréquence de l'onde. - Classer les ondes électromagnétiques selon l'énergie du photon. - Interpréter et exploiter la présence de raies dans un spectre à l'aide de données tabulées.

Ce qui permet, en somme, de traiter ce qui est dans les livres de 1^{re} générale en allant un peu plus loin sur certaines notions, comme la caractérisation des sources lumineuses en fonction de leur spectre (peu discuté en générale).

Difficultés Dualité onde-corpuscule...

Travaux dirigés Études de différentes sources, types d'ampoule, comparaisons de spectres... application de la loi de WIEN ; calculs de transitions électroniques...

Travaux pratiques Obtention d'un spectre de raie. Application de la loi de WIEN.

Le cours se place dans le cadre programme en vigueur pour les 1^{re} STL, axe PCM. On y décrit les différents types de sources en les caractérisant d'abord par la continuité ou non de leur spectre ; spectre qu'on pourra acquérir en temps réel sur une lampe à incandescence par exemple...

Remarque On fera attention à ne pas traiter seulement de spectres (leçon consacrée)...

L'idée est d'éveiller la culture scientifique sur les différentes manières que l'Humain a développé au cours des siècles pour produire de la lumière. En abordant les différentes sources (continues et discontinues), on pourra ainsi donner des repères temporels aux élèves, pour ancrer l'idée du début « onde ou particule » pour la lumière, dont ils auront possiblement déjà entendu parler dans un cours précédent : celui sur l'aspect ondulatoire de la lumière. L'introduction du modèle corpusculaire, bien qu'il s'agisse d'une difficulté potentielle pour les élèves, permettra d'interpréter une part des spectres observés : les spectres de raies.

On s'affranchira totalement des anciennes dénominations trouvées encore dans certains livres (sources froide et chaude) pour privilégier une séparation par rapport au mode de rayonnement : sources thermiques et spectrales. Cela pourra induire une difficulté de prime abord pour les élèves, mais est en fait le meilleur moyen de leur faire comprendre le fonctionnement des sources lumineuses utilisée ! On attachera par ailleurs une certaine importance à décrire les propriétés d'un LASER, si possible en les mettant en évidence par l'expérience.

12.1 Sources polychromatiques

12.1.1 Sources thermiques

Leur fonctionnement est basé sur l'émission lumineuse d'un corps chauffé à haute température.

Exemple Les lampes à filaments, le soleil, le fer chauffé... sont parmi ces sources lumineuses.

Expérience Acquisition du spectre d'une lampe à incandescence.

Elles sont caractérisées par un spectre continu (à projeter, pour le soleil par exemple.) Par ailleurs, il on note une longueur d'onde pour laquelle l'intensité lumineuse est maximale... celle-ci peut-être reliée à la température à laquelle la source se trouve : c'est la loi de WIEN.

Exemple Sur la lampe à incandescence... pour le soleil...

12.1.2 Sources spectrales

Spectre d'une source spectrale

Le spectre est discontinu : on parlera d'un spectre de raies (d'émission ou d'absorption).

Le modèle corpusculaire de la lumière

12.2 Sources monochromatiques

Introduction

Conclusion

Fiche 13

Gravitation et poids

Ressources utilisées

- Physique Chimie TS 2012, <https://mesmanuels.fr/>, p. 156
- <https://mesmanuels.fr/feuilleter/9782218953965>, mieux pour KEPLER, p. 201

Pré-requis

- Définition d'un système mécanique (ponctuel) et d'un référentiel
- Interactions, forces et lois de NEWTON
- Interactions et champs

Éléments imposés possibles

Vignettes de Tintin « On a marché sur la lune » ; analogies champs gravitationnel et électrostatique ; champ gravitationnel sur la lune ; satellite géostationnaire ; ...

Remarque Attention à ne pas faire de hors sujet et à ne pas oublier le poids.

Introduction pédagogique

Niveau Terminale S, programme 2012. Les attendus autour des notions de « Gravitation et poids » sont les suivants :

- Connaître et exploiter les trois lois de NEWTON dans le cadre des champs de pesanteur et électrostatique uniformes (analogies envisageables).
- Démontrer pour les trajectoires circulaires que le mouvement d'un astre est uniforme (établir vitesse et période).
- Connaître et exploiter les lois de KEPLER, en particulier la troisième dans le cadre d'un mouvement circulaire.

Ces trois axes amènent à différentes possibilités pour une leçon de ce type, qui peuvent être discriminées par l'élément imposé.

Difficultés Principale difficulté est mathématique, à ce stade de l'année : l'intégration non triviale de la loi de NEWTON (pour palier cela, donner les formules d'intégration avec constante d'intégration ou aller vers une méthode alternative : recherche par la dérivation, en tâtonnant...).

Travaux dirigés Étude de la chute libre, sans et avec vitesse initiale ; étude d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme.

Étude de satellisation ; activité documentaire sur la révolution d'astres dans le système solaire...

Travaux pratiques Pointages vidéos pour des chutes libres.

Modélisation à l'aide d'un logiciel tel que Python.

Élément imposé sur le champ gravitationnel

Remarque Voir la leçon de M. LECONTE à ce sujet, de beaux schémas

Introduction

13.1 L'interaction gravitationnel

13.1.1 La force et le champ gravitationnel

13.1.2 Le poids, sur Terre et ailleurs

13.2 Une étude complète : la chute libre

13.2.1 Définition du système, méthode

Projection

Méthode systématique.

13.2.2 Résolution

Expérience Utilisation d'un script Python pour tracer la parabole et calculer le point d'arrivée...

Conclusion

Conclure en revenant sur le cadre de l'étude ici; ouvrir sur au choix : analogies gravitation/électrostatique ET/OU lois qui régissent les orbites des astres, lois de KEPLER

Élément imposé sur les lois de KEPLER

Introduction

Revenir sur la leçon qui précède (donc celle sur le champ gravitationnel et la force associée...) Donner le cadre de l'étude : trajectoires circulaires, et particulièrement uniformes.

Attraction gravitationnelle : rappel de seconde, entre deux masses ponctuelles A et B :

$$\vec{F}_{A/B} = -\mathcal{G} \frac{m_A m_B}{r^2} \vec{u}_{AB}, \quad (13.1)$$

où $\mathcal{G} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{k}^{-2}$ est la constante de gravitation *universelle*. La loi reste valable, en prenant les centres d'astres, pour des objets dont la répartition de la masse est sphérique (typiquement, en première approche : la Terre, le Soleil...).

Remarque Dans un cours sur les champs, on aura pu définir le champ terrestre tel que :

$$\vec{F} = m\vec{g}. \quad (13.2)$$

13.1 Satellites et mouvement circulaire

13.1.1 Repère de FRENET

Remarque Que l'on donnera à chaque fois aux élèves : l'indiquer ! On le retrouve en dérivant le vecteur $O\vec{M} = r\vec{e}_r$.

On étudiera tout au long de cette partie (attention, par dans la seconde partie!) des mouvements totalement circulaires : on décrit donc la position d'un point qui évolue sur un cercle autour d'une position O . Pour cela, on a recourt au repère de FRENET pour l'accélération :

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{u}_t + \frac{v^2}{R} \vec{u}_n, \quad (13.3)$$

où les vecteurs unitaires sont le vecteur tangent et le vecteur radial dirigé vers le centre.

13.1.2 Description du problème et hypothèses

Si l'on considère un satellite en mouvement circulaire autour d'un astre, on peut appliquer sensiblement la même méthode que d'habitude [on fait par ailleurs le schéma].

Projection

Méthode systématique.

La deuxième loi de NEWTON amène alors à l'écriture de :

$$m\vec{a} = -\mathcal{G} \frac{mM}{R^2}, \text{ où } R \text{ est constant, rayon du mouvement!} \quad (13.4)$$

13.1.3 Mouvement uniforme et période

En combinant alors la forme de l'accélération dans le repère de FRENET et la deuxième loi de NEWTON, on parvient alors aux résultats que :

- la vitesse est constante *en norme* ; en effet, ...
- la période de révolution T , c'est à dire le temps que le satellite met à parcourir le périmètre $2\pi R$, est tel que :

$$v = \frac{2\pi R}{T}. \quad (13.5)$$

Il y a deux remarques importantes à faire ici ! D'abord, le mouvement est uniforme (la norme de la vitesse est constante) pourtant, le corps est accéléré ! Alors que se passe-t-il ? Souvenons-nous qu'il ne s'agit pas d'un corps en mouvement rectiligne, mais circulaire ; le vecteur vitesse n'est donc pas constant, même si ça norme l'est ! Or, l'accélération est la dérivée de ce vecteur et non uniquement de la norme. Physiquement, il faut se dire que le satellite a une vitesse constante en norme, qui tendrait s'il n'y avait aucune accélération, à l'envoyer à l'infini rectilignement. L'accélération, comme le voit bien dirigée vers le centre, « ramène » l'objet vers le centre ; l'effet de l'accélération est donc la modification de la direction de la vitesse !

La seconde remarque porte sur la notion de période et son lien avec le rayon que l'on peut expliter à nouveau comme :

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{MG} = \text{constante !} \quad (13.6)$$

Cette relation, on la retrouve aussi dans un cadre plus général, qui est celui de la mécanique céleste en général dans laquelle n'existent pas seulement, et même rarement, des mouvements simplement circulaires.

13.2 Vers une généralisation : les lois de KEPLER

Histoire Johannes KEPLER est un physicien Allemand ayant travaillé à l'étude des astres et de leurs mouvements au XVI^{ème} siècle.

13.2.1 Les lois de KEPLER

Conclusion

Fiche 14

Transferts thermiques (secondaire)

Ressources utilisées

- Voir leçon de L. BRIDOU (boisson froide, changement d'état)
- Voir leçon de M. LECONTE
- Voir leçon de A. LASBLEIZ (géothermie)
- Hachette, PC, TS, 2012, à partir de la page 361 (voir mesmanuels)

Pré-requis

- Échelle micro- et macroscopique
- Énergie interne, conservation de l'énergie interne

Éléments imposés possibles

Géothermie, transferts thermiques dans la Terre ; réchauffement d'un boisson froide...

Introduction pédagogique

Niveau Terminale S, voir leçon de M. LECONTE

Difficultés Comprendre la différence entre les trois transferts thermiques, pour cela on pourra extrémiser les phénomènes (conduction pour les solides, convection pour les liquide et gaz, même si c'est faux) ; comprendre la notion de flux, ce qui est très compliqué en lycée, c'est pourquoi on introduit la résistance thermique, pour faire un lien avec la conduction électrique.

Travaux dirigés Spectres continus pour le rayonnement avec lien avec la loi de WIEN, éventuellement travailler avec flux et constante solaire, loi de STEFAN (qui seraient données!) ; calculs de résistances thermiques, isolation d'une maison...

Travaux pratiques Suivi de la température dans une barre de cuivre pour comprendre la conduction ; utilisation de caméra thermique...

Cours suit directement une partie de cours traitant de l'énergie interne (son interprétation) et la conservation de celle-ci sous la forme de travaux et de transferts thermiques.

Introduction

14.1 Les différents modes de transferts thermiques

14.1.1 Le rayonnement

14.1.2 La convection

14.1.3 La conduction

14.2 Bilans énergétiques

14.2.1 Flux thermique et résistance thermique

14.2.2 Conservation de l'énergie

Conclusion

Fiche 15

Interactions lumière–matière

Ressources utilisées

- Passage en leçon de M. LECONTE, corrigée par S. BOURY
- Fiche de M. LECONTE

Pré-requis

Éléments imposés possibles

LASER ; émission spontanée/stimulée ; spectre discret ; modèle corpusculaire de la lumière

Introduction pédagogique

Niveau

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

Introduction

Conclusion

Fiche 16

Mouvements, interactions et notion de champ

Ressources utilisées

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau Première PC

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques Utilisation et écriture de scripts Python.

Introduction

Conclusion

Fiche 17

Description d'un fluide au repos

Ressources utilisées

— Leçon de B. GREBILLE, corrigée par L. FAVREAU

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Température d'un geyser ; comparaison microscopique/macrosopique...

Introduction pédagogique

Niveau Première enseignement de spécialité physique-chimie, nouveau programme

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

Introduction

Conclusion

Partie II

Leçons de physique – Supérieur

Fiche 18

Effet DOPPLER (supérieur)

Ressources utilisées

- SANZ/SALAMITO, PC/PC*, p. 914 (avec principe de la détection synchrone)
- COTE, VIDAL, BCPST2, p. 500 et quelques, disponible sur scholarvox
- Leçons de A. LASBLEIZ et B. GREBILLE, correction de ? et L. FAVREAU

Pré-requis

- Ondes sonores
- Ondes électromagnétiques
- Développement limités
- Filtre passe-bas

Éléments imposés possibles

Couplage échographie par effet DOPPLER ; radar autoroutier ; pour les ondes électromagnétiques ; détection de planètes extrasolaires

Introduction pédagogique

Niveau deuxième année de licence (PCSI, **BCPST2**) Le programme suggère en BCPST2 que les étudiant-es sachent mettre en œuvre une mesure de vitesse par effet Doppler ; démontrer l'expression du décalage Doppler (cas unidirectionnel, non relativiste) ; connaissent des applications de l'effet Doppler (imagerie en échographie ultrasonore...).

Difficultés

Travaux dirigés Refaire le calcul dans le cas du radar routier : radar en retrait de la route, existence d'un angle à prendre en compte dans la formule.

Échographie DOPPLER revue en étude de documents ?

Travaux pratiques Mesures de vitesse par effet DOPPLER, donc par différence de fréquence (mesurée par détection synchrone).

Introduction

Histoire Voir fiche niveau secondaire.

18.1 L'effet DOPPLER

18.1.1 Expression du décalage DOPPLER

On arrive à

$$f' = f \left(1 - \frac{v}{c} \right) \quad (18.1)$$

lorsque la source est en mouvement par rapport au récepteur (v est algébrique!)

18.1.2 Mesure de vitesse par mesure de fréquence

Retour sur l'expérimental.

Remarque En pratique, comment mesurer une différence de fréquence liée à un effet DOPPLER ? Détection synchrone : multiplication du signal émis et du signal reçu pour mener à deux signaux dont l'un est extrait à l'aide d'un filtre passe-bas.

Vers les applications. On généralise ce résultat en disant que seule la vitesse « axiale » compte, la vitesse projeté sur la direction entre la source et le récepteur !

Exemple Radar routier, introduire la dépendance en l'angle entre détecteur et source... Schéma dans le SANZ.

$$f' = f \left(1 - \frac{v \cos \theta}{c} \right) \quad (18.2)$$

18.2 Application de l'effet DOPPLER

18.2.1 Échographie et couplage DOPPLER

Voir le COTE, VIDAL.

18.2.2 Application en astronomie

Remarque Si fait, faire la transition à la partie précédente en précisant que l'effet DOPPLER existe pour toutes les types d'ondes.

Conclusion

Fiche 19

Conservation de l'énergie

Ressources utilisées

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau BCPST1

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

En mécanique

Introduction

Conclusion

En thermodynamique

Introduction

Conclusion

Fiche 20

Acquisition et traitement de données (supérieur)

Ressources utilisées

- Leçon de L. BRIDOU, correction de J.-L. BERLAND
- Tutorat de S. BOURY

Ce qui est ressorti du tutorat.

- Faire la différence entre signal analogique et signal numérique. Le premier est une mesure, il s'agit d'une tension mesurée/mesurable, d'une pression... le second est, rigoureusement, un signal constitué de zéros (0) et de uns (1).

Remarque Il peut être intéressant de différencier un signal analogique *échantillonné*(discretisé) et un signal numérique (discret mais entre 0 et 1).
Aussi, on peut différencier un signal numérisé (codage en octets) et numérique (binaire...).

- Un convertisseur analogique/numérique va jusqu'au signal numérique.

Remarque Il contient par ailleurs un compteur, permettant de prélever les données tous les dt souhaité.

- la modulation/démodulation est du traitement de données...
- le critère de SHANON peut être illustré sur les logiciels utilisés pour l'acquisition (**Latis Pro** par exemple) mais ça peut aussi, et c'est évident à voir, se montrer « à la main », en sous-échantillonné deux fois « à l'œil ». (À la main ou sur un graphique...).
- Aborder l'étude du rapport signal/bruit
- Penser que lorsqu'on fait de la détection synchrone, on utilise un multiplieur : c'est déjà un traitement numérique (?).

Pré-requis

- Mécanique du point [L1]
- Pendule simple [L1]

Éléments imposés possibles

Filtrage numérique (?); filtres d'un point de vue analogique; débruitage, rapport signal/bruit; détection synchrone.

Introduction pédagogique

Niveau BCPST1 ou BTS Métiers de la Chimie.

Au programme de BCPST1, l'étude est très restreinte : il s'agit dans le thème signaux physiques de leur acquisition et de leur traitement (extraire une fréquence, identifier les régimes, estimer un temps caractéristique, discuter d'une analyse spectrale).

On aborde donc, en plus de l'acquisition, la composition de signaux sinusoïdaux et périodiques (FOURIER...).

Difficultés

Travaux dirigés Figure au programme une approche documentaire sur l'étude d'ondes sonores et sismiques.

Travaux pratiques Utilisation de logiciels d'acquisition pour les systèmes simples (pendule...); utilisation de Python pour comprendre l'échantillonnage.

Introduction

20.1 Du mesurande au signal

20.2 Du signal à l'information

Conclusion

Fiche 21

Transferts thermiques (supérieur)

Ressources utilisées

Pré-requis

- Thermodynamique : système, fonction d'état, évolution... [BCPST1]
- Conservation de l'énergie, premier principe de la thermodynamique [BCPST1]
- Distinguer les trois types de transferts thermiques [BCPST1]
- Flux d'une grandeur extensive [BCPST2]
- Conduction électrique, résistance électrique [BCPST2]
- (Diffusion particulière) [BCPST2]

Éléments imposés possibles

Refroidissement d'un ordinateur ; rayonnement ; analogie électrocinétique–thermodynamique ;

Introduction pédagogique

Niveau BCPST2

Remarque Leçon traitée de façon générale, niveau L2, dans les notes ; comment l'adapter en BCPST2 avec leur programme ?
Ce qui suit est une proposition de plan.

Difficultés

Travaux dirigés Bilans d'énergie avec source ou échange avec l'extérieur ; retrouver les résultats du régime permanent ; calculer des résistances thermiques ; étude de document sur les transferts thermiques dans le vivant.

Travaux pratiques Rayonnement : caméra thermique ; barre de conduction...

Introduction

Si élément imposé : analogie électro/thermique.

Sensation (et insistons sur sensation) de chaleur lorsque le soleil vient contre notre peau ; *sensation* de chaleur différente lorsqu'on touche un carrelage/métal ou du bois... comment les expliquer ?

Il s'agit en réalité de transferts thermiques... Rappel du premier principe, Q . Introduction longue sur les transferts thermiques : rayonnement (loi de WIEN), convection (pas l'objet de ce cours) et conduction.

Transition vers celle qui nous intéresse le plus aujourd'hui : la conduction.

21.1 La conduction thermique

21.1.1 Origine et description

Description microscopique en lien avec les notions du secondaire, transfert de proche en proche sans déplacement de matière (attirer l'attention là dessus). Hypothèses et limites de la loi de FOURIER, donnée en 1D ; généraliser.

21.1.2 Bilan d'énergie

Rappel sur notion de flux. Utilisation du premier principe pour trouver l'équation portant sur la température, en 1D ; généraliser.

21.2 ?

21.2.1 Conduction et régime permanent

Établir l'équation de diffusion de la température en régime permanent, revenir sur la barre de cuivre calorifugée et établir le profil de température...

Définir résistance thermique à partir du flux et de la différence de température ; insister sur les dépendances...

21.2.2 Analogie avec la conduction électrique

On a déjà vu ça ! Avec la conduction électrique : remplir un tableau comparatif.

Conclusion

Revenir sur les transferts thermiques présents dans Q. Revenir précisément sur conduction thermique et conduction électrique, insister de nouveau sur « sans déplacement macro » puis ouvrir sur phénomènes de transport avec déplacement macro, convection.

Fiche 22

Phénomènes de diffusion

Ressources utilisées

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau BCPST2 (L2 en général)

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

Introduction

Conclusion

Fiche 23

Oscillations

Ressources utilisées

- COTE, VIDAL
- SANZ, SALAMITO, PCSI/PC
- Voir fiche de M. LECONTE

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Oscillations dans une bouteille ;

Introduction pédagogique

Niveau BCPST1 ou **BCPST2**. Traité dans la partie « Signal et rayonnement » avec circuit RLC et lien avec les filtres linéaires ou la partie « Mécanique ».

La partie « Oscillateur » en Mécanique est en général traitée comme une analogie de la partie RLC : il s'agit d'établir l'équation différentielle du mouvement et de faire le lien avec l'oscillateur électrique.

Les oscillations libres non amorties relèvent du cours de première année, alors que le cours de deuxième année se concentre sur les oscillations amorties (libres ou forcées). Il s'agit donc de privilégier les dernières sur les premières. Par ailleurs, la leçon peut être rapprochée « conceptuellement » de la leçon sur les filtres.

Difficultés Si traitement des oscillations forcées, utilisation des complexes et équations complexes, établissement de la fonction de transfert (qui ne serait pas exigible, qu'on pourrait donner et faire étudier aux élèves.)

Travaux dirigés Analogies électrocinétique/mécanique... Filtrage linéaire sur une route avec voiture/amortisseur.

Travaux pratiques Circuits RLC, filtrage linéaire. Pendule simple, acquisition avec et sans frottement.

Objectifs Étude d'oscillations amorties, comprendre
--

Introduction

Retour sur l'oscillateur harmonique, forme général. (Rappeler éventuellement l'approximation harmonique).

23.1 Oscillations non amorties libres

23.1.1 Sur le circuit RLC

Calcul + simulation python ; définir au fur et à mesure toutes les grandeurs (facteur qualité, amortissement, décrétement log...)

23.1.2 Sur le pendule

Présenter les calculs sur slide, résultats et expérience ?

23.1.3 Analogies

Remarque Pour la symétrie de la leçon, on peut éventuellement promouvoir la première sous-partie en tant que partie I et regrouper le pendule et les analogies sur une deuxième grande partie.

23.2 Vers les oscillations forcées

23.2.1 Utilisation de la notation complexe

Pourquoi on peut ? quand est-ce qu'on ne pourra pas ? (linéaire ; énergies, préparer questions là dessus).

23.2.2 Filtres d'ordre II

Possiblement sauter et mettre en ouverture seulement, dépend de l'élément imposé...

Conclusion

Conclure en revenant sur les analogies identifiées ; en fait, on retrouve souvent ce type d'équation en mécanique des oscillations. Par ailleurs, souvent les mêmes études, si les équations sont linéaires, résolution par passage en complexe.

Utilisation : savoir si un système a une « surtension » et si le régime transitoire peut être dangereux pour le système ; savoir si un filtre est adapté à une application... objectif du prochain cours.

Fiche 24

Mesures et contrôle

Ressources utilisées

- TAILLET, dictionnaire de physique
- AZAN, Terminale STL, Nathan, à partir de la p. 65
- Programme BTS Métiers de la chimie, section « Mesures et contrôle » ; slides associées
- ASCH, Les capteurs en instrumentation industrielle (définitions)

Pré-requis

À affiner en fonction des éléments traités dans les expériences.

- Incertitudes (Type A et B) [secondaire]
- Chaîne de mesure [secondaire ou supérieur]
- Pendule simple ; spectroscopie d'absorption [secondaire/supérieur] (dépend des expériences et de l'élément imposé)

Plan proposé par S. LEGRAND

1. D'une grandeur à une valeur : Définitions ; Choix d'un appareil
2. Application à la mesure d'une concentration : Détermination de la mesure ; Incertitudes
3. Les limites
4. Regarder les ASCH (capteurs dans l'industrie et du capteur à l'ordinateur)

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau L2 (BTS Métiers de la chimie) ; L1 Classe préparatoires ?

Difficultés Assimiler tous le vocabulaire ; on pourra distribuer un glossaire simplifié auquel les étudiant-es pourront se rapporter.

Comprendre que la mesure ne nécessite par toujours un capteur, que celui-ci peut être actif ou passif (saisir la différence...) ; donner une multitude d'exemples !

Travaux dirigés Études de chaînes de mesure, identification du capteur et de ses caractéristiques, pour les exemples cités en cours. Retour sur les incertitudes : calculs à partir de données.

Travaux pratiques Retour sur les incertitudes, sur les manipulations vues en cours. (Pendule et type A, pendule et acquisition numérique, application de la CAN).

Définitions du TAILLET :

Capteur *Dispositif qui, en extrayant une petite partie de l'énergie associée à une grandeur physique et en la convertissant sous une autre forme, fournit un signal qui véhicule une information sur la grandeur tout en perturbant le moins possible. Les capteurs sont à la base des instruments de mesure, le signal étant alors interprété quantitativement pour estimer la grandeur initiale. On préfère parfois réserver le terme « capteur » pour des dispositifs fournissant le signal sous forme électrique.*

Mesure *Détermination de la valeur numérique d'une grandeur physique, grâce à l'interprétation du résultat d'une expérience ou d'une observation. Une mesure fournit généralement un nombre et une incertitude sur ce nombre, liée aux caractéristiques du dispositif expérimental utilisé et à des incertitudes sur d'autres grandeurs sur lesquelles s'appuie la mesure. Une mesure peut se faire avec ou sans capteur.*

Si le cours est dispensé en BTS Métiers de la chimie, les profils des étudiant-es peuvent être très variés. Peu de pré-requis sont nécessaires, et un cours de remise à niveau pourra être donné pour les ceux ne venant pas d'une filière technologique (une partie des notions est déjà vue en Terminale STL).

Ne sont traités ici que les mesures et les capteurs et leur conditionnement : on n'expliquera pas dans ce cours comment est acquis le signal électrique pour l'ordinateur ni comment on le traite. Ce sera l'objet du cours suivant, mais il faudra tout de même le faire remarquer aux élèves. (limitations de l'électronique, des ordinateurs... analogique et numérique ont leurs avantages et inconvénients.)

Introduction

La notion de contrôle est particulièrement dans l'industrie : on peut s'intéresser au contrôle de température dans une usine de synthèse industrielle (rendement et sécurité de la réaction) ; mais aussi au contrôle qualité, par exemple par des contrôles de pureté. Ces contrôles s'effectuent grâce à des instruments de mesure : c'est l'objet de notre étude aujourd'hui.

Projection

Les capteurs dans la vie de tous les jours, Nathan p. 69.

24.1 Généralités

24.1.1 Mesure

On pourra utiliser plutôt les définitions du ASCH, Les capteurs en instrumentation industrielle !

Mesure *Détermination de la valeur numérique d'une grandeur physique, grâce à l'interprétation du résultat d'une expérience ou d'une observation. Une mesure fournit généralement un nombre et une incertitude sur ce nombre, liée aux caractéristiques du dispositif expérimental utilisé et à des incertitudes sur d'autres grandeurs sur lesquelles s'appuie la mesure. Une mesure peut se faire avec ou sans capteur.*

Mesurande Grandeur physique à mesurer, m .

Mesurage Ensemble des opérations expérimentales qui concourent à la connaissance de la valeur numérique du mesurande.

Capteur *Dispositif qui, en extrayant une petite partie de l'énergie associée à une grandeur physique et en la convertissant sous une autre forme, fournit un signal qui véhicule une information sur la grandeur tout en perturbant le moins possible. Les capteurs sont à la base des instruments de mesure, le signal étant alors interprété quantitativement pour estimer la grandeur initiale. On préfère parfois réserver le terme « capteur » pour des dispositifs fournissant le signal sous forme électrique. Le capteur présente une caractéristique s qui est fonction du mesurande m .*

$$s = f(m) \quad (24.1)$$

Sensibilité On s'efforce, dans un souci de simplicité d'utilisation, de réaliser des capteurs établissant une relation linéaire entre les variations de la grandeur de sortie Δs et les variations de la grandeur d'entrée Δm :

$$\Delta s = S \cdot \Delta m \quad (24.2)$$

Actif, passif Le capteur est dit actif (resp. passif) lorsqu'il se présente comme un générateur (resp. une impédance). Un signal électrique n'est pas produit uniquement par un capteur passif, il faut lui associer un conditionneur.

Projection

Différents types de capteurs, ASCH, p. 3 et 7.

Justesse, fidélité, précision Un capteur est dit juste s'il présente une erreur systématique faible. Il est dit fidèle s'il présente des erreurs systématiques aléatoires faibles. **Un capteur est dit précis s'il est juste et fidèle.**

Projection

Nathan, p. 70.

24.1.2 Contrôle et incertitudes

24.2 Mesures sans capteur

Expérience Mesure de la période du pendule sans capteur, avec un chronomètre

Incertitudes de type A ?

24.3 Mesures avec capteur

24.3.1 Capteur passif

Expérience Mesure de la période du pendule à l'aide d'un capteur (nom ?)

24.3.2 Capteur actif

Expérience Mesure de température, étalonnage sonde de température ? DUFFAIT, p. ??, étalonnage de la sonde Pt100

Conclusion

Contrôle à une échelle industrielle, automatisation du contrôle ?
Traitement et acquisition de données pour la suite.

Fiche 25

Régimes transitoires (supérieur)

Ressources utilisées

- TAILLET
- Vidéo expérience RC série et oscilloscope, vers 3'17"
- Vidéo expérience RC série, mesure de τ

Pré-requis

- Notions sur les phénomènes de diffusion, convection [Secondaire]
- Électrocinétique : lois de KIRCHHOFF [L1]
- Équations différentielles du premier et second ordre [L1, mathématiques]

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau L1/BCPST1 ou L2/BCPST2?

Remarque On peut proposer de placer la leçon à un niveau de licence 1 en suggérant qu'il faudrait découper cette étude sur les deux années de BCPST (le RLC n'est vu qu'en deuxième année). Dans ce cas là, on peut supposer traiter d'abord le cas du RC série, puis une analogie/étude dimensionnelle d'une diffusion (particulaire ou thermique), comme des premiers ordres ; et enfin de travailler sur un deuxième ordre : le RLC série pour poursuivre l'étude électrocinétique ou bien le pendule pesant (avec ou sans approximation des petits angles).

Difficultés Différence entre régime transitoire et régime permanent : un régime sinusoïdal forcé est un régime permanent. (un régime totalement périodique l'est-il?)

Travaux dirigés Mise en équation en électrocinétique, en mécanique : analogie et retour sur formes canoniques. Analyse dimensionnelle.

Travaux pratiques Mesures de temps caractéristiques, décroissement logarithmique... pour des circuits RC et RLC.

Modélisation Python, portrait de phases et résolution d'équations différentielles.

Leçon que l'on place en L1 : pour autant, certaines notions ne sont traitées qu'en BCPST2 voire pas du tout (portrait de phase) dans le programme de cette filière.

En profitera de la première partie pour introduire deux outils utiles à l'étude des régimes transitoires : le portrait de phase et l'analyse dimensionnelle. Bien sûr, le calcul pour le RC série pourra être réalisé entièrement mais il s'agirait de ne pas trop s'attarder sur la résolution des équations différentielles, qui n'est pas ce qui est le plus intéressant à traiter devant les élèves pour une première approche des régimes transitoires.

On portera une attention particulière à décrire le régime transitoire considéré comme entre deux régimes permanents.

Introduction

Régime transitoire (TAILLET) : évolution temporaire d'un système, en particulier d'un oscillateur, dont la durée est limitée dans le temps et qui est intermédiaire entre deux régimes permanents distincts.

25.1 Régimes transitoires du premier ordre

Régime transitoire du premier ordre : dépendance en la dérivée première par rapport au temps d'une grandeur du système considéré.

25.1.1 Étude du circuit RC série

Projection

Première vidéo

[Dessiner schéma circuit RC.] Ici, on soumet le système initialement au repos (totalement déchargé) à un échelon de tension ; le condensateur se charge, jusqu'à ce que la tension à ses bornes soit égale à celle imposée. Entre ces deux régimes (permanents, si l'on ne fait rien), on observe un régime transitoire.

Pour l'étudier, on se réfère aux lois de KIRCHHOFF pour l'étude du circuit électrique.

On arrive à :

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{1}{RC}U_c = E_0. \quad (25.1)$$

On pose alors le temps τ appelé temps caractéristique, $\tau = \frac{1}{RC}$ tel que :

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{1}{\tau}U_c = E_0. \quad (25.2)$$

Utilisation du portrait de phase

Le portrait de phase est la représentation graphique des variations d'une variable dynamique en fonction de sa dérivée temporelle. Ici, il s'agit du tracé de la dérivée de la tension aux bornes du condensateur en fonction de la tension aux bornes du condensateur !

On note, sans même résoudre l'équation différentielle, qu'il s'agit d'une droite avec une ordonnée à l'origine et une pente ; on peut donner l'état initial avec les conditions initiales et l'état final : le régime transitoire est ce qu'il se passe entre les deux !

Avantage : on a de nombreuses informations sans résoudre l'équation différentielle. Inconvénient : on a pas directement l'information temporelle, particulièrement sur la durée du régime transitoire...

Résolution de l'équation différentielle

La résolution de l'équation différentielle nous amène au résultat, en considérant les conditions initiales $U_c(0^+) = U_c(0^-)$ par continuité de l'énergie :

$$U_c(t) = E_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right). \quad (25.3)$$

Finalement, le temps caractéristique τ est celui qui nous permet, comme on le verra plus en détail en TP, d'estimer la durée du régime transitoire. On peut pourtant l'exprimer dans d'autres systèmes, et lui donner la même signification...

25.1.2 Étude d'un régime transitoire de diffusion

Expérience Diffusion de KMnO_4 dans un cristallisateur d'eau.

On donne l'équation de diffusion particulière à une dimension : on la verra en deuxième année.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}. \quad (25.4)$$

On peut simplement en faire une analyse dimensionnelle, et arriver à

$$\tau = \frac{D}{L^2}, \quad (25.5)$$

et estimer le temps caractéristique pour ce régime transitoire : entre le régime permanent (eau claire) et le régime permanent (eau et permanganate homogènes).

Remarque Données pour l'application numérique??

25.2 Régimes transitoires du second ordre

25.2.1 Étude du circuit RLC série

25.2.2 Étude du pendule (pesant)

Projection

Animation du pendule pesant, avec portrait de phase http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/genevieve_tulloue/file/gtulloue/Meca/Oscillateurs/pend_pesant1.html.

Remarque Voir Site de Geneviève TULLOUE.

Conclusion

Fiche 26

Mouillage

Ressources utilisées

- Passage en leçon de T. OLLA
- Voir SANZ, SALAMITO, Tout-en-un PC/PC*, à partir de la p. 324, disponible sur scholarvox
- Voir leçon de L. CUAU ou privilégier celle de G. LANDABURU
- Gouttes, bulles, perles et ondes, P. G. DE GENNES, disponible sur scholarvox

Pré-requis

- (tension superficielle [en fonction de ce que l'on souhaite traiter dans la leçon])
- Loi de LAPLACE, JURIN...

Éléments imposés possibles

Larmes du vin ; loi de JURIN ; ménisque ; tension superficielle ; bilan d'énergie ; loi de YOUNG-DUPRÉ...

Introduction pédagogique

Niveau PC/PC* (aspects expérimentaux seulement) ou **BTS Métiers de la chimie**, deuxième année

Difficultés Si l'on traite du savon, penser au facteur 2 dans les aspects énergétiques, venant du fait qu'il y a deux interfaces savon/gaz.

Travaux dirigés Poids de la goutte/ponts capillaires traités dans le SANZ.

Travaux pratiques Activités avec eau savonneuse ; méthodes d'arrachement (lame de WILHELMY, voir SANZ, ou anneau de DU NOÛY, voir GENNES p. 63) pour la mesure de tension superficielle.

Remarque L'expérience avec la balance est plus compliquée conceptuellement que celle avec un dynamomètre.

Il s'agit d'un cours que l'on peut donner en deuxième année de BTS Métiers de la chimie. Il permet de donner aux étudiant-es des connaissances sur le phénomène de mouillage en particulier dans une optique d'étude et de modification de matériaux. (Voir référentiel)

Remarque En fonction de ce que l'on souhaite traiter, d'à quel point on souhaite aller loin, il convient de traiter ou non la première partie sur la tension superficielle.

Introduction

Entrée sur l'eau que l'on voit en général s'étaler, penser au fait que surface hydrophobe existent, pourquoi ces différences? Comment les qualifier? on parle en fait de mouillage : phénomène d'étalement d'un liquide sur une surface.

26.1 Mouillage et tension superficielle

26.1.1 Différents types de mouillage

26.1.2 Approche énergétique

Remarque On pourra introduire soit la tension superficielle, entre solide et liquide, soit la tension interfaciale, entre deux surfaces quelconques (utiles pour la partie YD).

26.2 Critères de mouillage

26.2.1 Paramètre d'étalement

26.2.2 Loi de YOUNG-DUPRÉ

La démontrer, utiliser l'approche énergétique plutôt que les forces linéiques? Trois paramètres, embêtant en industrie...

26.2.3 Critère de ZISMAN

Caractériser un solide uniquement par une tension superficielle critique en deça de laquelle le mouillage (par un solvant apolaire) sera toujours total.

Conclusion

Les connaissances essentielles du cours de J. FERRAND.

- L'aire des interfaces entre plusieurs phases tend à être minimisée en raison de son coût énergétique.
- Considérons une interface d'aire \mathcal{A} . Pour accroître son aire de $d\mathcal{A}$, il faut fournir un travail δW tel que :

$$\delta W = \gamma d\mathcal{A} \quad (26.1)$$

où γ est appelée tension superficielle et s'interprète comme une énergie par unité de surface.

- Origine physique : les molécules à la surface ont un manque d'interactions de la part du fluide au-dessus par rapport aux molécules au sein du volume. (on peut en faire un schéma)
- γ diminue en général lorsque la température augmente. Elle dépend aussi des impuretés présentes...
- Ce travail est aussi associé à une force \vec{F} dirigée vers l'intérieur et de norme proportionnelle à la longueur (dans un cas simple, rectangulaire) telle que :

$$\vec{F} = -\gamma b \vec{e}_x \quad (26.2)$$

et γ s'interprète alors comme une force linéique.

- Loi de LAPLACE pour une sphère (suppression et température), loi de LAPLACE pour un film de savon.
- Interface triple et mouillage : paramètre d'étalement.
- Loi de YOUNG-DUPRÉ.

Remarque Mesures : pour des angles suffisamment grands, par photographie; plus petits, par réflexion ou transmission d'un faisceau parallèle; très faibles, par interférométrie.

— Longueur capillaire : longueur au delà de laquelle la gravité devient prépondérante :

$$l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}. \quad (26.3)$$

Fiche 27

Machines thermiques (supérieur)

Ressources utilisées

Pré-requis

Éléments imposés possibles

Exemples de machines thermiques simples ;

Introduction pédagogique

Niveau

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

Introduction

Conclusion

Fiche 28

Phénomènes de transport (systèmes ouverts)

Ressources utilisées

- Th.G, 16 juin 2019, <http://thibault.giauffret.free.fr>
- Référence prépas vert/bleu, PC/PC*, OLIVIER p. 463
- Compétences Prépas, BCPST2, BAUDE et GRÉCIAS
- Physique expérimentale, FRUCHART
- Thermodynamique des systèmes ouverts : PÉREZ, Chapitre 13, p. 233 ; **Regarder le chapitre 4 !**
- Thermodynamique des systèmes ouverts : SANZ, PC/PC*, Chapitre 1.

Pré-requis

- Conduction électrique, thermique
- Diffusion de matière
- Thermodynamique : énergie interne, enthalpie, grandeurs extensives...
- Thermodynamique : premier principe en système fermé

Éléments imposés possibles

Fait précédemment

I Transport de masse par convection (Description d'un système ouvert, Bilan de masse pour un système ouvert)
II Transport d'énergie pour un système ouvert (Bilan énergétique pour un système ouvert, Application au mélangeur du robinet).

D'après CR de 2018, éviter I Description des phénomènes de transport, II Transport de charge par conduction électrique (essayer de rester loin de la conduction électrique ?)

Introduction pédagogique

Niveau Généralement L2. Par exemple, BCPST2 le programme s'étend du transport de matière et d'énergie par conduction (diffusion de matière, conduction électrique, conduction thermique) au transport de matière et d'énergie par convection (débits, bilan de masse, bilan d'énergie, toujours en régime permanent, machines thermiques).

Autre exemple, PC, bilans dynamiques...

Difficultés Naturellement, les difficultés porteront principalement sur la définition des systèmes étudiés, pour lesquelles il s'agira d'insister puisque c'est la première introduction des systèmes ouverts que l'on fera aux élèves. Pour que la notion de système ouvert soit comprise le plus aisément, elle sera ramenée à la notion

de système fermé, connu et étudié juste avant par les élèves. Une autre difficulté tiendra dans la capacité à séparer les différents modes de transport (diffusion, convection...); pour palier à cela, le mode de transport sera toujours rappelé et éventuellement comparé à d'autres.

Travaux dirigés Études de plusieurs machines thermiques pour mettre en application, sur chacune des parties, le premier principe de la thermodynamique en écoulement.

Travaux pratiques ... Mesures de débits massiques ? Modélisation d'un robinet mélangeur ?

Introduction

Dans le cours précédent, nous avons traité des phénomènes de diffusion : par exemple la diffusion de matière, ou la conduction thermique. Nous avons noté alors que ces phénomènes n'impliquaient pas de transport microscopique de matière.

Expérience Tube cyclique avec colorant à un coin, chauffer en dessous de la zone colorée et observer un déplacement de matière, bien plus rapide que ce qu'était la diffusion.

Mais vous le savez bien, la conduction thermique n'est pas seule responsable de l'homogénéisation en température d'un fluide, par exemple : certains phénomènes de transport font intervenir des déplacements macroscopique de matière qui joue donc sur le transfert de matière et d'énergie dans un système, ouvert ou fermé. Un **système ouvert**, contrairement à un système fermé, est un système pouvant échanger de l'énergie ou de la masse avec le système extérieur.

Aujourd'hui, nous nous intéressons particulièrement au phénomène de transport macroscopique de matière et ses conséquences, dans un système dit ouvert.

Objectifs Comprendre les phénomènes de transport de masse dans un système ouvert et les conséquences sur le transport d'énergie.

28.1 Transport de masse par convection

Intéressons-nous tout d'abord à un système modèle : un tuyau, dans lequel s'écoule un fluide, en régime permanent. [Schéma tuyau cylindrique de section S , orienté selon d'axe des x] Comment caractériser le transport de masse dans ce tuyau ?

Première question à se poser : comment définir un système dans lequel appliquer ce qu'on sait ?

28.1.1 Description du système ouvert

Le fluide est en écoulement, et on suppose qu'il n'y a pas de création de masse dans la conduite. On doit définir un système **ouvert**, c'est à dire pour lequel la matière peut entrer et sortir. La façon la plus simple de définir ce système aujourd'hui, c'est de considérer un système fermé, que l'on va suivre en fonction du temps.

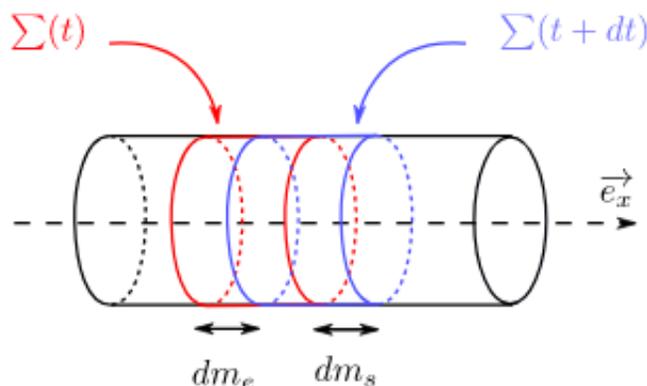


FIGURE 28.1 – Définition des systèmes, à dessiner étapes par étapes !

On définit donc le système $\Sigma(t)$ que l'on suit dans le temps, pendant une durée dt et que l'on retrouve comme $\Sigma(t + dt)$. L'intersection entre ces deux systèmes (en réalité le même, pris à deux instants différents !) amène à ce qu'on appelle un système ouvert SO , pour lequel une masse dm_e rentrerait alors qu'une masse dm_s en sortirait. Cela s'imagine plus facilement en réécrivant la masse du système fermé à différents temps :

$$m_{\Sigma}(t) = dm_e + m_{SO}(t) \quad (28.1)$$

$$m_{\Sigma}(t + dt) = dm_s + m_{SO}(t + dt) \quad (28.2)$$

28.1.2 Bilan de masse dans un système ouvert

Pour un système fermé, comme Σ , la conservation de la masse fait que la masse du système est indépendante du temps. Cela permet d'écrire, en soustrayant les équations précédemment établies :

$$0 = dm_s - dm_e + \frac{dm_{SO}}{dt} dt, \quad (28.3)$$

où le dernier terme est aussi nul, puisqu'on suppose être en régime permanent, donc sans que les grandeurs physiques ne dépendent du temps. On remarque alors en divisant par dt qu'on a conservation du débit massique au passage dans le tuyau. Cela peut paraître anodin, puisque notre exemple est simpliste, mais on peut le complexifier de plusieurs façons :

Exemple

- pour des sections d'entrées et de sorties différentes, [redéfinir les grandeurs d'entrée et de sortie (vitesses, sections...); exprimer le fait que la vitesse va varier !];
- pour une entrée et plusieurs sorties – on arrive à une analogie à l'électronique et la loi des nœuds (mise en évidence du transport de charge).

Ce transport de matière macroscopique a comme conséquence un transport d'énergie macroscopique : si les particules fluides se déplacent, elles se déplacent avec leur énergie interne...

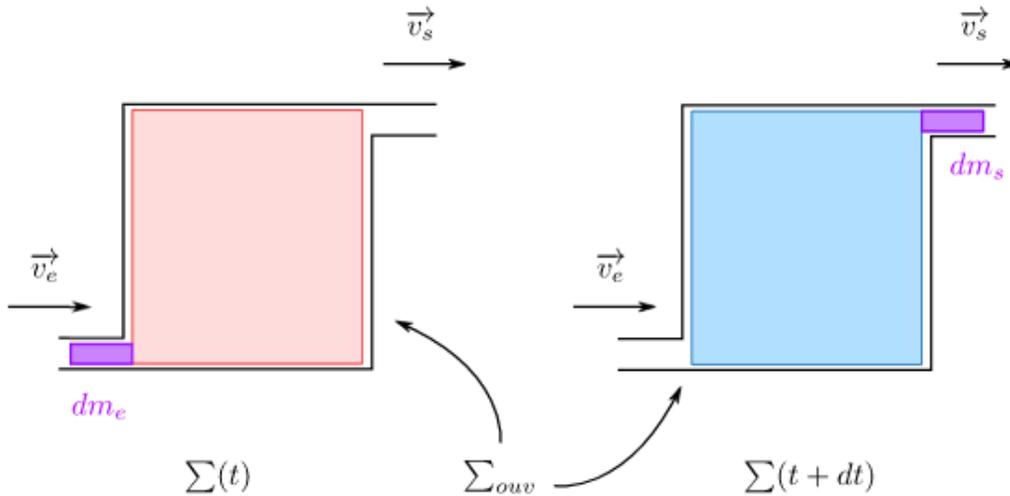
28.2 Transport d'énergie par convection

28.2.1 Bilan énergétique dans un système ouvert

Redémonstration, premier principe sur un système fermé qui se déplace, approche thermodynamique du théorème de BERNOULLI (décrit dans le rapport de leçon de T. GIAUFFRET)

On se donne un réservoir contenant une hélice qui produit un travail W' ou $\delta W'$; on définit les paramètres du réservoir : z_e et z_s les altitudes d'entrées et de sortie, v_e et v_s les vitesses d'entrée et de sortie...

Comme précédemment, ce qu'on sait faire : ce sont les systèmes fermés... alors comment appliquer le premier principe de la thermodynamique à un système ouvert ?



De la même façon que précédemment, on peut donc définir un système fermé Σ que l'on suit dans le temps (date t et $t + dt$) ; l'intersection de ces deux systèmes est toujours le système ouvert qui nous intéresse.

On peut alors écrire que la variation d'énergie du système fermé se décompose comme :

$$dE_{\Sigma} = dE_{SO} + E_{\text{entrant}} - E_{\text{sortant}}. \quad (28.4)$$

On fait l'hypothèse d'un régime permanent :

— en supposant de plus des sections égales

$$dm_e = dm_s = dm \quad (28.5)$$

— pour le système ouvert

$$dE_{SO} = 0 \quad (28.6)$$

et en appliquant le premier principe de la thermodynamique au système fermé Σ :

$$dm(e_s - e_e) = \delta W' + \delta W_p + \delta Q, \quad (28.7)$$

ou encore

$$(e_s - e_e) = \delta w' + \delta w_p + \delta q. \quad (28.8)$$

En développant $e = u + \frac{1}{2}v^2 + gz$ et $\delta w_p = -pdV$ et en notant que $H = U + pV$, on trouve finalement :

$$\Delta_{e \rightarrow s} \left(h + \frac{1}{2}v^2 + gz \right) = \delta w' + \delta q. \quad (28.9)$$

On réalise donc un transfert d'énergie (enthalpie, énergie cinétique et énergie potentielle) au travers d'un système ouvert, par convection, avec influence du travail fourni par l'appareil ou des transferts thermiques qui sont associés aux parois du système.

28.2.2 Application au robinet mélangeur

Calcul de la température de sortie en fonction des débits d'entrée eau chaude et eau froide.

Expérience Manipulation p.423 FRUCHART, Physique expérimentale.

Remarque Regarder dans le BAUDE et GRÉCIAS, BCPST2, Compétences Prépa, p. 221.

28.2.3 Application à / au...

1. Robinet mélangeur (thermodynamique) [possibilité de manipulation, *cf.* FRUCHART p.423]
2. Machines thermiques... (traitées dans le PÉREZ, mais sans notion de système ouvert, Chapitre 10.)
3. Bilan de quantité de mouvement, force subie par une canalisation, OLIVIER, p.467.
4. Bilan de moment cinétique, tourniquet hydraulique (L2 PCSI), OLIVIER, p. 470.

Remarque Si bilan d'énergie et bilan d'entropie traité, on peut évoquer la notion d'exergie (Partie dédiée dans le PÉREZ, p.240 (niveau L2+++))
Introduite Chapitre 12.

Conclusion

Fiche 28

Phénomènes de transport (systèmes fermés)

Ressources utilisées

- PÉREZ, *Thermodynamique*
- SANZ, *Physique tout-en-un PC-PC**, Dunod
- TAILLET, *Dictionnaire de physique*
- MARUCCO, *Chimie du solide*

Pré-requis

- Loi d'Ohm en électrocinétique [L1]
- Liens entre champ électrique, potentiel et tension [L1]
- Thermodynamique (énergie interne et premier principe) [L1/L2]
- (Thermodynamique, irréversibilité...) [L1/L2]
- Expression du gradient [L1]

Éléments imposés possibles

Effet PELTIER (hors programme) (ou effets thermoélectriques)... analogie électrocinétique/thermique...

Introduction pédagogique

Niveau BCPST2

Difficultés La notion de flux n'est pas facile à appréhender, d'autant plus que sa dimension dépend du phénomène étudié. On la rattachera donc systématiquement à des exemples ; de plus, le phénomène de transport par conduction étudié ici n'implique pas de transport de matière macroscopique, ce qui peut sembler contre intuitif.

Travaux dirigés Modèle de DRÜDE, loi d'OHM locale, loi de FOURIER, calcul de flux, de résistances... faire et refaire ces calculs!

Travaux pratiques barre de conduction ; effets thermoélectriques.

La leçon est placée en BCPST 2. Elle s'inscrit dans le thème "Phénomènes de transport" du programme. On fait le choix de ne traiter que les conductions électrique et thermique. La diffusion particulaire sera traitée à part, tout comme le transport par convection, avec applications aux machines thermiques. On se restreint à des études en régime permanent. Les équations de diffusion (d'ailleurs probablement pas réellement au programme, on y parle seulement de bilans) seront plus approfondies dans le chapitre sur la diffusion particulaire, où l'on fera le parallèle entre particulaire et thermique.

La leçon est ici construite avec l'élément imposé de l'effet PELTIER qui est un élément imposé hautement hors programme pour des BCPST2 et en général pour la deuxième année de licence. Il s'agit alors de le préciser aux élèves, et de n'insister que sur les phénomènes, pas leur caractérisation calculatoire ; on proposerait cette élément

dans un vrai cours pour deux raisons : la culture scientifique (deux effets irréversibles peuvent être couplés... c'est le cas ici) et pour amener à comprendre les outils utilisés en TP (élément PELTIER et thermocouples...).

Introduction

Dans ce thème, on va décrire différents phénomènes de transport, de quantité ou d'entités dans différents domaines de la physique (électronique, thermodynamique, ...).

Remarque Noter que le transport est associé au transport d'une grandeur extensive causé par une inhomogénéité d'une grandeur intensive. On pourra redéfinir ces termes.

Projection

Transport au repos : transport d'une quantité sans mouvement d'ensemble macroscopique.

Transport convectif : transport d'une quantité avec mouvement d'ensemble macroscopique.

Expérience On dépose une goutte d'encre dans l'eau, sans déplacer le récipient. La couleur finit par s'homogénéiser par diffusion. Cependant, il n'y a pas de transport macroscopique de matière.

On se focalise ici sur le transport par conduction, qui sera illustré par le transport de charges (application en conductimétrie) et le transport de chaleur (application en géothermie).

Objectifs Savoir décrire et caractériser le transport d'une quantité (charge, énergie) dans un système au repos macroscopique.

28.1 Flux et densité de courant

On définit le flux comme étant : $\Phi = \iint_S \vec{F} \cdot d\vec{S}$, pour un champ vectoriel \vec{F} à travers une surface S . Il caractérise le transport d'une quantité à travers une surface.

Par exemple, l'intensité du courant électrique I est un flux :

$$I = \iint_S \vec{j}_e(M, t) \cdot d\vec{S} \quad (28.1)$$

où $\vec{j}(M, t)$ est le vecteur densité de courant exprimé en A/m².

On définit de même le flux thermique :

$$\Phi_{th} = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot d\vec{S} \quad (28.2)$$

où \vec{j}_{th} est le vecteur densité de flux thermique exprimé en W/m² (Φ_{th} s'exprime en W).

Ces vecteurs densité caractérisent un transport (de charge, d'énergie) par conduction, dû à l'existence d'un gradient, c'est-à-dire d'une inhomogénéité du système étudié :

- une tension (une différence de potentiel) pour la charge électrique ;
- une différence de température pour l'énergie (interne)

Remarque Essayer d'éviter le plus possible l'utilisation du terme *chaleur*.

Maintenant, l'intérêt pour caractériser le transport d'une quantité dans le système, c'est de relier le flux créé à ce qui l'a causé, donc les gradients correspondant... pour cela, il nous faut chercher une expression de \vec{j} !

28.2 Conduction et résistances

28.2.1 Conduction électrique

Dans le cas de l'intensité du courant électrique $I = \frac{dq}{dt}$, le vecteur densité de courant se lit comme la charge électrique qui traverse un conducteur par unité de temps et de surface.

$$dq = \rho(v dt dS) \Leftrightarrow dI = \frac{dq}{dt} = \rho v dS \Leftrightarrow I = \iint \rho v dS \quad (28.3)$$

On en déduit que le vecteur densité de courant électrique s'exprime :

$$\vec{j}_e = \rho \vec{v} \quad (28.4)$$

Dans ce qui précède, nous avons une expression de \vec{j}_e , mais toujours pas de lien entre transport et gradient, en particulier ici le gradient de potentiel.

Cette dépendance peut s'obtenir par un modèle simplifié, (le modèle de DRÛDE) et donnée par la loi d'OHM locale :

$$\vec{j}_e(M) = \gamma_0 \vec{E}(M) \quad (28.5)$$

où γ_0 est la conductivité électrique du matériau, exprimée en S/m ($1 \text{ S} = 1 \text{ } \Omega^{-1}$), et $\vec{E}(M)$ le champ électrique dans le conducteur.

$\gamma_0 = 5,9 \times 10^7 \text{ S/m}$ pour le cuivre.

On sait que :

$$\vec{E}(M) = -\vec{grad} V \Leftrightarrow \vec{j}_e(M) = -\gamma_0 \vec{grad} V \quad (28.6)$$

On voit bien ici que le transport de charge est dû à un gradient de potentiel.

Objectifs En TD : retrouver la loi d'Ohm globale dans un conducteur cylindrique.

Si \vec{j}_e est considéré uniforme,

$$I = \iint_S \vec{j}_e \cdot d\vec{S} = j_e S \quad (28.7)$$

En outre,

$$\begin{aligned} -U = V(B) - V(A) &= \int_A^B \vec{grad} V \cdot d\vec{l} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \\ \Leftrightarrow U &= \int_A^B \frac{1}{\gamma_0} \vec{j}_e \cdot d\vec{l} = \frac{\rho}{\gamma_0} j_e \end{aligned}$$

On injecte l'expression de j_e (équation 28.7) :

$$U = \frac{l}{S\gamma_0} I = RI \quad (28.8)$$

On reconnaît la loi d'Ohm et on obtient une expression de la résistance dans un conducteur cylindrique :

$$R = \frac{l}{\gamma_0 S} \quad (28.9)$$

28.2.2 Conduction thermique

Remarque Dans toute la leçon, on fera très attention à ne pas confondre flux thermique et vecteur densité de flux thermique. On pourra insister, exagérer le trait...

Il s'agit d'un transport d'énergie à travers un milieu matériel ("conducteur") sans déplacement macroscopique de matière. Il est dû à l'agitation thermique des particules microscopiques, plus forte dans les zones chaudes.

L'équation sur le vecteur densité de flux thermique est donnée par la loi phénoménologique de FOURIER :

$$\vec{j}_{th} = -\lambda \overrightarrow{grad} T \quad (28.10)$$

avec λ la conductivité thermique exprimée en W/m/K.

Remarque Les hypothèses de la loi de FOURIER, comme pour les autres lois phénoménologiques, sont de considérer un matériau homogène, isotrope et un gradient (de température, de concentration) pas trop important.

L'hypothèse sur le gradient vient du fait que la loi n'est pas empirique (écrite à partir de données expérimentales) mais phénoménologique, dérivée des observations et d'un développement limité au premier ordre pour obtenir une loi linéaire !

Projection

Ordres de grandeur de λ (Source : Sanz (p. 132)).

On retrouve bien un lien entre le transport d'énergie (j_{th}) et un gradient caractérisant une inhomogénéité du milieu.

Remarque λ et γ_0 dépendent du matériau considéré.

On notera que ces deux grandeurs sont liées au sein d'un matériau (voir PÉREZ), ce qui amène à considérer les effets thermoélectriques.

Expérience Barre de cuivre calorifugée

On considère le système compris entre x et $x + dx$ en régime permanent.
Le premier principe de la thermodynamique appliqué au système donne :

$$dU = 0 = \delta Q = j_{th}(x)Sdt - j_{th}(x + dx)Sdt = -\frac{dj_{th}}{dx}(x)Sdtdx \quad (28.11)$$

On en déduit :

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (28.12)$$

La température est une fonction affine de l'abscisse x :

$$T = A x + B = \frac{T_0 - T_1}{L} x + T_1 \quad (28.13)$$

Projection

Tracé de l'allure de la température dans la barre au régime permanent en fonction de l'abscisse.

On montrera, si possible, l'allure des courbes de température acquises pour montrer l'obtention d'un régime permanent. Par ailleurs, à partir du régime transitoire et de son étude, on peut remonter à la conductivité du matériau (voir DUFFAIT et/ou FRUCHART).

On peut alors faire une analogie entre l'électrocinétique et la conduction thermique et définir une résistance thermique.

$$T_0 - T_1 = R_{th}\Phi_{th} \quad (28.14)$$

avec R_{th} la résistance thermique du matériau.

28.3 Effets thermoélectriques

Remarque Tous les effets de couplage des phénomènes irréversibles, dont font partie les effets thermoélectriques, sont décrits par la théorie d'ONSAGER.

On en trouvera une présentation dans de nombreux livres de niveau post-prépa, dont le PÉREZ et le MARRUCCO.

Les effets thermoélectriques sont les effets qui résultent de l'interaction entre la conduction thermique et la conduction électrique.

Projection

Historique des effets, voir PÉREZ, mais qui peut être trompeur sur la nomenclature des effets...

Considérons l'effet PELTIER : deux matériaux A et B sont mis en contact par une jonction notée S au passage d'un courant électrique.

Remarque Attention, selon les sources, les effets semblent décrits différemment... se référer au MARUCCO, *Chimie des solides* p. 398 et p. 531

La puissance thermique dégagée par l'effet PELTIER s'exprime :

$$P_{u,P} = \Pi_{AB} I \quad (28.15)$$

avec Π_{AB} le coefficient PELTIER.

Le courant est assuré par le transport par conduction des porteurs de charges. Ces porteurs de charges transportent également une énergie cinétique d'agitation (au sein d'un matériau, il y a un lien entre conductivité thermique et conductivité électrique). Or, le rapport entre transport électrique et transport thermique est différent en fonction des matériaux. Il en résulte un transfert thermique entre le milieu environnant et la jonction.

Remarque pour « compenser » cette différence : mais c'est à prendre avec des pincettes ici puisque l'effet PELTIER semble nécessiter plusieurs jonctions (au moins deux)... voir correction/ou autre source (par exemple, MARUCCO.)

- Si $\Pi_{AB} < 0$, le passage du courant de A vers B fournit de la puissance au milieu extérieur ;
- Sinon, il reçoit de la puissance.

Ce phénomène est utilisé pour augmenter ou diminuer la température de sources chaudes ou froides.

Projection

Élément PELTIER

On présente l'élément PELTIER (Source : PÉREZ) : une source chaude placée au contact de deux conducteurs eux-même en contact avec une source froide à l'aide de semi-conducteurs. Le courant électrique passe du conducteur d'entrée de la source chaude vers le conducteur de la source froide et enfin vers le conducteur de sortie de la source chaude. Le transfert thermique a lieu de la source froide vers la source chaude. En pratique, ces éléments PELTIER sont montés en série.

Conclusion

Dans cette leçon, on a exclusivement parlé des phénomènes transport par conduction, en particulier de la conduction électrique et de la conduction thermique. On peut dresser une analogie entre ces deux phénomènes, qui sont reliés par les effets thermoélectriques.

Conduction	Électrique	Thermique
Quantité transportée	Charge électrique	Énergie interne
Cause	Différence de potentiel	Gradient de température
Résistance	$U = RI$	$\Delta T = R\Phi_{th}$
Conductivité	Électrique, γ_0	Thermique, λ

FIGURE 28.1 – Analogie entre l'électrocinétique et la diffusion thermique

Le prochain chapitre traitera un autre mode de transport : la convection.

Questions/Réponses

Questions	Réponses
Quelle est la différence entre transport et transfert ?	Le transport est un type de transfert (déplacement de grandeurs extensives).
Qu'est-ce que l'advection ?	De la convection forcée.
Où placer la diffusion de matière dans le tableau comparatif ?	
Quelle loi est associée ?	La loi de Fick.
Quelle est l'équation locale de conservation ? dérivée partielle de la quantité conservée (volumique) + divergence du vecteur densité de flux associé...	
Quelle est-elle au régime permanent ?	Une équation de Laplace : $div \vec{j} = 0$
Qu'est-ce que l'effet PELTIER ?	Lorsqu'un courant implique un gradient de température.
Qu'est-ce que l'effet Seebeck ?	Un gradient de température implique un courant.
Peut-on avoir un effet PELTIER avec une seule jonction ?	
Donner un exemple de matériau utilisé dans les thermocouples.	Cu et constantan (alliage cuivre nickel), des semi-conducteurs : Pt-Cu.
Quel terme faut-il ajouter à l'équation de diffusion s'il y a un mouvement macroscopique ?	
Quel est le nom associé aux rouleaux de convection ?	La convection de RAYLEIGH-BÉNARD.

Est-ce que le modèle de Drude est au programme de BCPST 2? Pourquoi le traiter?

Non. Le traiter pour réinvestir les notions de mécaniques (proprement, en TD) pour remonter à la loi d'Ohm locale qui leur est parachutée en cours.

Quel est le transport qui intervient dans la respiration?

Une différence de pression.

Fiche 29

Filtrages (supérieur)

Ressources utilisées

- GRÉCIAS PCSI, T& D vert bleu (Référence Prépa)
- Leçon de L. PONTOGLIO, correction de P. RIGORD
- Voir fiche de M. LECONTE pour version alternative de cette leçon

Pré-requis

- Circuits électriques, R, L, C
- Notation complexe
- Impédances usuelles, associations d'impédances
- Mécanique : force de rappel, force de frottement fluide
- (passe-X d'ordre 1 ?)
- (optique)

Remarque Il est possible de placer les filtres linéaires d'ordre 1 en pré-requis si l'on veut mener les calculs de l'ordre 2 dans les détails... sinon, on peut rester descriptif.

Éléments imposés possibles

Optique de FOURIER ;

Introduction pédagogique

Remarque Réfléchir à la possibilité de simuler l'entrée, la fonction de transfert et la sortie !

Niveau BCPST2 (ou L1)

Difficultés L'intérêt du diagramme de bande de la phase...

Remarque Je l'ai perdu, mais je sais qu'il y en a au moins un.

Mais pour le comprendre, insister sur le fait que c'est la fonction de transfert qui caractérise le filtre : c'est pourtant un complexe. Il faut donc deux informations pour la connaître : parties réelle et imaginaire OU amplitude et phase.

Travaux dirigés Étude de circuits ; études de fonctions de transfert (faire des va-et-vient), tracés asymptotiques de diagrammes de BODE.

Travaux pratiques Tracé réel de diagramme de BODE, influence/mesure de la pulsation de coupure/proprie, du facteur de qualité.

Il s'agit d'une leçon que nous plaçons à un niveau de BCPST2, bien qu'elle puisse être traitée à un niveau de première année de licence. L'objet de la leçon est la présentation de la notion de filtrage, et de filtre linéaire, aux élèves de BCPST2. On s'attachera à redémontrer rapidement les équations électriques utiles dans les cas simples, après avoir fait chaque fois que c'est possible, une étude qualitative d'un système/circuit qu'on suppose être un filtre. Il s'agira aussi de présenter aux élèves l'outil *double* qu'est le diagramme de BODE, en amplitude et en phase, pour illustrer les caractéristiques des filtres (linéaires) étudiés.

Aussi, en allant jusqu'à la présentation du filtre passe-bande, que l'on peut rattacher aux réel pour les élèves avec le fonctionnement du poste de radio, on pourra éventuellement ouvrir sur les filtres mécaniques (en particulier, un amortisseur de voiture...).

On profitera de la difficulté croissante entre les parties pour donner les définitions, ainsi que la méthode, au fur et à mesure de la leçon. On inviterait bien sûr les élèves à reprendre ces définitions à part ; mais de cette façon, le cours en sera plus agréable à suivre.

Introduction

Les signaux périodiques sont décomposables en série de composantes sinusoïdales (série dite de FOURIER).

On appelle filtre un circuit capable de transmettre sélectivement certaines composantes sinusoïdales du signal périodique appliqué en entrée du système.

Remarque Un filtre, linéaire, est donc un système qui modifie le spectre d'un signal, mais pas les fréquences !

Nous allons voir aujourd'hui comment décrire un filtre et le caractériser, dans le cas pratique de l'électrocinétique, domaine de l'étude des signaux dans les circuits électriques (en particulier avec les dipôles connus, notamment en série, R, L et C). En effet, vous connaissez directement l'un de ces filtres, celui du poste radio : il vous permet de sélectionner une gamme, ou une bande, de fréquences.

29.1 Filtres du premier ordre

29.1.1 Présentation qualitative

Expérience On pourrait faire une mise en évidence expérimentale.

En effet, on peut observer à l'oscilloscope un signal en entrée et en sortie d'un circuit ; le signal d'entrée serait appliqué entre la terre et la résistance, le signal de sortie pris entre la terre et l'autre borne de la résistance. On observe expérimentalement une diminution du signal... qui dépend de la résistance du système (la faire varier).

Aussi, on pourrait montrer la fonction pulse d'un GBF ?

Un filtre, en électrocinétique, est donc un circuit qui reçoit en entrée un signal : une tension, et renvoie en sortie un autre signal : une autre tension, modifiée. Il s'agit donc d'un quadripôle. [Tracer un quadripôle, avec un dipôle D_1 et D_2 en parallèle.]

Remarque À quel moment passer en complexes ? ...

L'effet du filtre, donc du quadripôle, sur l'entrée (visible en sortie) dépend donc des composants que l'on y place : des résistances, bobines (inductances), condensateurs (capacités)...

Exemple Tracer un filtre RC, sortie prise en C.

On se souvient qu'en électrocinétique, l'impédance pour un condensateur est :

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (29.1)$$

Pour une tension d'entrée qui aurait une fréquence ω , on peut alors effectuer le raisonnement suivant :

- à basse fréquence, le condensateur se comporte en coupe-circuit, comme un interrupteur ouvert : la tension de sortie est égale à celle d'entrée ;
- à haute fréquence, le condensateur se comporte en court-circuit, comme un interrupteur fermé : la tension de sortie est nulle.

On dit qu'il s'agit d'un filtre passe-bas : le filtre sélectionne les basses fréquences. Bien sûr, par un raisonnement analogue, en prenant la sortie sur la résistance, on pourrait montrer qu'on a un filtre passe-haut.

Mais tout cela n'est que qualitatif pour l'instant ; cependant, les calculs exacts, vous savez les faire : nous allons seulement leur donner maintenant un cadre.

29.1.2 Fonction de transfert et représentation

Pour étudier un filtre, on se place en notation complexes pour les tensions et les intensités et on étudie, en fonction de la pulsation ω , le rapport :

$$\underline{H}(w) = \frac{U_s}{U_e}. \quad (29.2)$$

que l'on peut calculer pour le circuit RC [le faire].

On définit par ailleurs :

le gain qui s'exprime en décibels

$$G = 20 \log \left(|\underline{H}(w)| \right) \quad (29.3)$$

la phase l'argument de la fonction de transfert [expression]

et enfin, le diagramme de BODE la donnée des graphes du gain et de la phase en fonction de la fréquence.

On peut alors poser une pulsation particulière $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

Remarque On définit cette pulsation comme la pulsation telle que :

$$G(\omega_c) = \frac{G_{\max}}{\sqrt{2}}, \quad (29.4)$$

ce qui permet, dans ce cas, de déterminer la pulsation de coupure. On note par ailleurs que cette pulsation correspond à une chute de 3 dB.

Expérience Expliquer la prise de point expérimentale.

Exemple Tracer sur Python.

Remarque Il est essentiel de se souvenir que le diagramme de BODE combine un diagramme en gain et un diagramme en phase !

En effet, la fonction de transfert est complexe, et c'est elle qui caractérise le filtre. L'important est donc d'avoir deux informations sur la fonction de transfert. Usuellement, l'amplitude et la phase (diagrammes de BODE) ; plus rarement, la partie réelle et la partie imaginaire (diagramme de NYQUIST).

De même, pour le passe-haut, on trouvera une fonction de transfert qui traduit les comportements asymptotiques prédits, et que l'on peut tracer (en gain et en phase). (voir TD/TP ?)

29.2 Un filtre du second ordre : le filtre passe-bande

Pédagogie On pourra aller plus vite : toujours à l'aide de la notation complexe et des associatins d'impédances...

la fonction de transfert ...

les caractéristiques... d'abord, la pulsation propre ; le facteur qualité

... d'un passe-bande ? bande passante

Exemple Tracer sur Python

29.3 Analogie électrocinétique – mécanique

On considère un système d'amortissement de voiture : le système est composé d'une masse (qu'on considèrera ponctuelle), d'un ressort et d'une source de frottement fluide.

Exemple La voiture se déplace sur une route « ondulée », voir SALAMITO PCSI p. 472.

À partir des équations de la mécanique, il est possible, comme celles-ci sont linéaires, de passer en notation complexe. On peut alors de la même façon écrire une fonction de transfert, où la pulsation propre et le facteur de qualité ont d'autres expressions, mais les mêmes rôles !

Conclusion

Conclure, comparer les filtres, éventuellement remettre l'analogie... (Ouverture sur le filtrage optique : optique de FOURIER ?)

Fiche 30

Viscosité

Ressources utilisées

- OLIVIER, Référence Prépa PC/PC* vert/bleu
- HECHT, Physique
- Animation profil de vitesse en fonction du gradient de pression et/ou de la vitesse d'une plaque supérieure, <https://www.wolframcloud.com/objects/demonstrations/CouetteFlow-source.nb>
- Expérience profil de vitesse dans l'écoulement de POISEUILLE, <https://youtu.be/P05yYbnApFc?t=127>

Pré-requis

-
- Force de pression et équivalent volumique
-

Fait précédemment

Ce qui se faisait était d'appliquer cette leçon à un niveau BCPST2, pour arriver rapidement à des applications concrètes pour la filière : sédimentation et/ou circulation sanguine. Dans ce cadre là, le plan serait : I/ Viscosité d'un fluide Newtonien (Force de viscosité, Influence de la viscosité sur l'écoulement et Mesure de la viscosité) et II/ Écoulement du sang lors de sa circulation (Loi de POISEUILLE, Résistance hydraulique).

Un autre plan proposé est I Description des écoulements rampants (Cadre de l'étude, Propriétés) et II Écoulements dans les milieux poreux saturés (Description des milieux poreux, Loi de Darcy) et III Mouvement d'une bille dans un fluide visqueux (Première approche de la chute de la bille, Loi de STOKES et mise en équation).

Éléments imposés possibles

Écoulement de POISEUILLE ; analogie électrocinétique / mécanique des fluides ; application : circulation sanguine, sédimentation (OLIVIER, Référence Prépa PC/PC* vert/bleu, p. 424 et p. 433) ; interprétation par modèle diffusif (OLIVIER p. 415).

Introduction pédagogique

Niveau Équivalent deuxième année de licence (PC, difficilement autres filières puisque NAVIER-STOKES n'est pas directement au programme, à ajuster en fonction de l'élément imposé donc, mais privilégier BCPST...)

Difficultés Se souvenir des hypothèses pour ne pas mélanger les expressions, les approximations faites...

Travaux dirigés Retour sur l'écoulement de POISEUILLE (analogie électrocinétique/fluidique, modélisation de la circulation sanguine), COUETTE...

Si la loi de STOKES est vue, approche documentaire sur la sédimentation

Travaux pratiques Écoulement de POISEUILLE

Les attendus du programme sont que les élèves soient capables de proposer une méthode de mesure de la viscosité.

Si l'on va jusqu'à la porosité et la perméabilité, il est aussi dans les attendus qu'ils puissent les mesurer (loi de DARCY...)

Dans le cadre d'une leçon BCPST, il faut faire attention à rester dans le cadre du programme : l'équation d'EULER ou celle de NAVIER-STOKES ne figurent pas explicitement au programme. Parmi les écoulements, de même peu de choses : en particulier écoulement de POISEUILLE, écoulements rampants (faible nombre de REYNOLDS) et écoulement dans les milieux poreux.

On retrouve cependant explicitement le mouvement d'une bille dans un fluide visqueux et la loi de STOKES (très faible nombre de REYNOLDS).

Introduction

Étude de la dynamique des fluides parfaits : utilisation du théorème de BERNOULLI, application à la sonde PITOT, à l'effet VENTURI...

Dans tout ce qui est considéré jusque là, on a travaillé avec comme uniques forces de surfaces les forces de pression. Pourtant, on peut se douter d'une chose : le fluide va interagir, au moins en surface, avec les parois du volume qui l'entoure. De même, le fluide étant décomposable en « couche » de fluide (plus intimement encore en particules de fluide), il ne semble pas déraisonnable de considérer que ces couches interagissent entre elles aussi : en fait, on peut décrire ces interactions comme des forces de frottements (comme si on frottait plaques de solide, par exemple...).

Objectifs Décrire la notion de viscosité d'un fluide (définitions et équivalents), la caractériser. Savoir dans quelles situations on la rencontre.

30.1 Viscosité d'un fluide Newtonien**30.1.1 Mise en évidence de la viscosité**

Écoulement de COUETTE plan : écoulement d'un fluide visqueux entre deux surfaces dont l'une est en mouvement. Animation profil de vitesse en fonction du gradient de pression et/ou de la vitesse d'une plaque supérieure.

30.1.2 Modèle de NEWTON

[Schéma COUETTE plan, force \vec{F}_{op} pour tirer la plaque à une vitesse v_0]

Écoulement laminaire, profil de vitesse en $\vec{v} = v(y)e_x$. Écrire les conditions aux limites en 0 et en L.

La viscosité est un phénomène qui décrit la continuité du champ de vitesse aux interfaces solides, et apporte, comme on le verra, une composante tangentielle aux forces de surface (considérée jusqu'alors comme des forces de pression uniquement).

Expérimentalement, on mesure que la force de l'opérateur est proportionnelle à la surface de la plaque, proportionnelle à la vitesse et inversement proportionnelle à la hauteur de l'écoulement. Le coefficient de proportionnalité est appelé viscosité dynamique. Cette composante tangentielle des forces de surface du fluide au dessus sur le fluide en dessous s'exprime alors : comme indiqué dans le OLIVIER, p. 412,

$$d\vec{F}_t = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} dS \vec{e}_x, \quad (30.1)$$

où η est la viscosité dynamique, dont l'unité est le Pa s ou km s^{-1} appelée poiseuille.

Projection

Sources : HECHT, p. 430

TABLEAU 11.7 Viscosité de certains fluides

Fluide	Température T(°C)	Viscosité η (N.s/m ²)
<i>Liquides</i>		
Eau	100	0,0002818
Acétone	20	0,00032
Essence	20	0,0006
Eau	20	0,001002
Alcool éthylique	25	0,001095
Plasma sanguin	37	0,0013
Mercure	25	0,00153
Sang, normal	37	0,00208
Pétrole, léger	20	0,11
Huile de ricin	25	0,650
Pétrole, épais	20	0,66
Glycérine	20	1,49
<i>Gaz</i>		
Hydrogène	20	0,000009
Vapeur d'eau	100	0,000013
Hélium	20	0,000014
Air	20	0,000018
Méthane	20	0,000020
Oxygène	20	0,000020

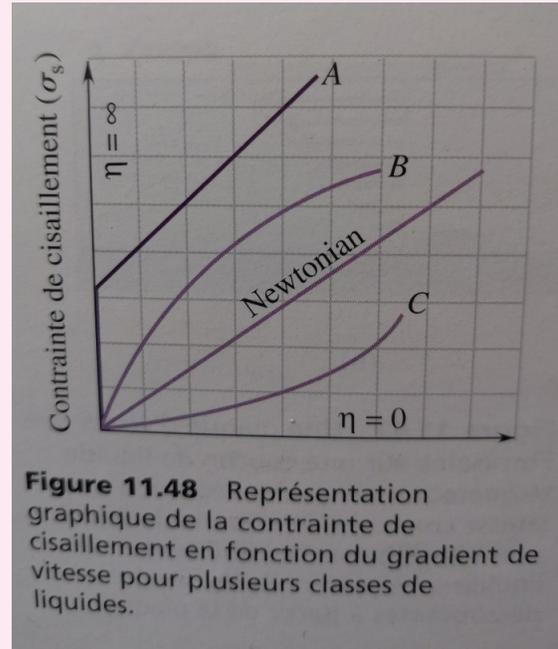


Figure 11.48 Représentation graphique de la contrainte de cisaillement en fonction du gradient de vitesse pour plusieurs classes de liquides.

Éventuellement projeter <https://www.youtube.com/watch?v=BZvsrOciUQ> pour présenter la poix, mais elle n'est pas dans le tableau (en fonction du temps...).

Remarque On dit qu'un fluide est Newtonien si η est constant (sauf température) (par rapport au gradient de vitesse appliqué ou par rapport au temps). Cela peut être bien à aborder, pour la culture, avec les élèves : qu'ils saisissent mieux l'hypothèse « fluide Newtonien » et pour leur donner la culture sur, au hasard, le dentifrice (fluide à seuil). (Si on en parle, vérifier éventuellement les définitions dans le TAILLET.)

Il faut alors trouver l'équivalent volumique de la force de viscosité exprimée plus haut. [Schéma d'un cube, forces tangentielles en y et $y + dy$]

Sur le volume élémentaire de fluide considéré, on calcule la résultante des forces associées à la viscosité (+ au dessus, - en dessous), ce qui nous amène à

$$d\vec{F} = \eta d\tau \frac{d^2v}{dy^2} \vec{e}_x, \quad (30.2)$$

que l'on peut généraliser :

$$d\vec{F} = \eta d\tau \vec{\Delta} \vec{v}. \quad (30.3)$$

L'équivalent volumique des forces tangentielles dues à la viscosité est donc :

$$df = \eta \vec{\Delta} \vec{v}. \quad (30.4)$$

30.1.3 Vers l'équation de NAVIER-STOKES

Remarque Totalement hors programme de la BCPST !

On souhaite alors ajouter cette composante de force volumique au bilan précédemment écrit avec le principe fondamental de la dynamique (qui nous avait mené à l'équation d'EULER) :

$$\mu \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\vec{\text{grad}}P + \mu \vec{g} + \vec{F}_{\text{volumique}}. \quad (30.5)$$

Remarque Équation pas au programme de BCPST! Rester sur le bilan effectué par le principe fondamental de la dynamique...

On peut donc écrire l'équation de NAVIER-STOKES

$$\mu \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\text{grad}P + \mu\vec{g} + \eta\vec{\Delta}\vec{v}. \quad (30.6)$$

Remarque Pas au programme de BCPST! Faire attention à ce qu'on utilise, pour quel programme/quelle filière.

On peut y arriver, la nommer, en précisant qu'elle n'est pas à connaître...

30.1.4 Modèle diffusif de la viscosité

Remarque À traiter plutôt en L2 générale, peu adapté à la BCPST par exemple...

Traité dans le OLIVIER, Référence Prépas, p. 415; dans le SANZ, PC/PC, p. 294.*

30.2 Description de l'écoulement pour un fluide réel

30.2.1 Nombre de REYNOLDS

Histoire Expérience de REYNOLDS, 1883, cf. SANZ, PC/PC* p. 312.

Étude de la trajectoire d'un film coloré dans un conduit contenant un fluide. Étude de la dépendance en la vitesse du fluide; en la température (donc la viscosité!); en les dimensions/la géométrie du conduit.

30.2.2 Mesure de viscosité

Exemple Viscosimètre de COUETTE, partir du COUETTE plan puis passer à COUETTE cylindrique (avec approximation).

Traité par exemple dans le SANZ, PC/PC*, p. 336–339.

30.2.3 Loi de STOKES

Expérience Chute d'une bille dans un fluide visqueux.

Exemple Activité documentaire sur la sédimentation ?

30.2.4 Écoulement de POISEUILLE

S'inspirer du BAUDE et GRÉCIAS, Compétences prépas BCPST2, p. 582

Projection

Reprendre l'animation, fixer la plaque supérieure et laisser un gradient de pression...

Les hypothèses d'un tel écoulement sont :

- cylindre horizontal de longueur l et de section circulaire constante (rayon a);
- fluide incompressible (masse volumique constante);
- régime permanent pour l'écoulement;
- écoulement laminaire (symétrie cylindrique, $\vec{v} = v(r)\vec{u}_x$);
- fluide newtonien (η constante);
- le gradient de pression est uniforme (et négatif).

Le champ de vitesse s'écrit alors :

$$\vec{v} = v(r)\vec{u}_x = \frac{1}{4\eta} \left(\frac{\Delta p}{l} \right) (a^2 - r^2). \quad (30.7)$$

Remarque La démonstration (SANZ, PC/PC*, p. 339.) permettant d'arriver au profil de vitesse n'est pas à connaître en BCPST ; on se contente de donner le résultat et de l'exploiter pour arriver au débit volumique.

Remarque On appelle perte de charge linéique le rapport $\frac{\Delta p}{l}$; elle représente la dissipation de l'énergie mécanique par frottement.

On peut alors calculer le débit volumique :

$$D_v = \iint \vec{v} d\vec{S}, \text{ où } d\vec{S} = r dr d\theta \vec{u}_x. \quad (30.8)$$

On arrive à

$$D_v = \frac{\pi \Delta p}{8\eta l} a^4 = \frac{\pi \Delta p}{128\eta l} d^4 \quad (30.9)$$

On peut alors définir une résistance « hydraulique » de façon analogue à la résistance en électrocinétique :

$$R = \frac{U}{I} \leftrightarrow R_h = \frac{\Delta p}{D_v}. \quad (30.10)$$

Exemple Modélisation de la circulation sanguine.

L'apport du sang aux organes se fait des artères jusqu'aux capillaires, au travers de micro-conduits donc... pour les modéliser, on peut considérer que l'écoulement du sang suit un écoulement de POISEUILLE ; on peut alors appliquer la notion de résistance hydraulique et effectuer les mêmes calculs de résistances équivalentes qu'en électrocinétique (série et parallèle...). Voir BAUDE et GRÉCIAS p. 587.

30.3 Écoulement dans un milieu poreux

30.3.1 Description

30.3.2 Loi de DARCY et utilisation

Conclusion

Revenir sur la formule surfacique de la viscosité, puis son équivalent volumique.
Redonner le nombre de REYNOLDS et comparer les régimes.

Débrief et questions passage de Solène

Fiche 31

Écoulements de fluides (supérieur)

Ressources utilisées

— COTE, VIDAL, BCPST2

Pré-requis

Plutôt proche **BCPST2** :

- Statique des fluides (particule de fluide, échelles) [L2]
- Lignes de champ, de vitesse, de courant [L2]
- Forces pressantes, équivalent volumique [L2]
- Théorème de l'énergie mécanique [L1/L2]
- (Premier principe en écoulement [L2])

Éléments imposés possibles

Relation de BERNOULLI ; équation d'EULER ; charge ; tube de PITOT, VENTURI...

Introduction pédagogique

Niveau Deuxième année de licence (PC ou **BCPST**).

Difficultés Si l'on refait le bilan énergétique : définition du système.

Sinon, hypothèses d'application des différentes relations ; de plus en plus compliqué plus on ajoute de notion (prochain cours, fluides réels)...

Calculs peuvent impliquer un jeu entre différentes équations : pas trivial sans recul.

Travaux dirigés Relation de TORICELLI, vidange d'une citerne ; tube de PITOT, effet VENTURI ; ...

Travaux pratiques Utilisation de manomètres...

On fait le choix de ne décrire d'abord que des écoulements de fluides parfaits. Cela permet de mettre au clair quelques réflexes pour les élèves, notamment sur la vérification d'hypothèses, sur lesquelles on insistera aujourd'hui. L'idéal serait que ce cours suive un cours qui aurait réintroduit le bilan énergétique, que l'on rappellera en introduction, et sur lequel on se base pour arriver à la relation de BERNOULLI en appliquant les hypothèse du fluide parfait.

Bien sûr, l'objectif de ce cours est d'immédiatement appliquer cette relation à des cas concrets ; si d'abord on pourra montrer en quoi consiste la relation (en introduisant notamment la notion de charge et de perte de charge), il faudra donner des applications de l'étude d'écoulements de fluides pour les élèves : on pense notamment à la sonde de PITOT pour l'étude de vitesse et à la compréhension de l'effet VENTURI, dont les élèves auront forcément entendu parler.

Bien sûr, en se plaçant en BCPST2, le choix naturel permettant de suivre le programme est de n'aborder les écoulements quasiment qu'au travers de leurs aspects énergétiques. En PC ou en L2 en général, on pourrait mettre

bien plus à profit les expressions volumiques des forces de pression (ou plus tard de viscosité) pour retrouver les équations de la dynamique des fluides (parfait : EULER ou non : NAVIER-STOKES).

Introduction

Au début de cette séquence de cours, nous avons décrit un fluide au repos, et sommes arrivés à la relation fondamentale de la statique des fluides.

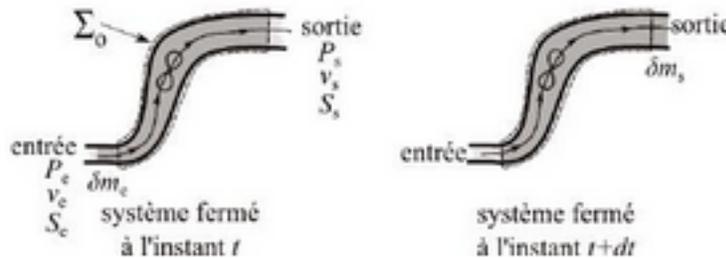


FIGURE 31.1 – Description du système considéré, source : COTE, VIDAL

Lors du dernier cours, nous sommes arrivés, en appliquant le théorème de l'énergie mécanique à un système composé de fluide en écoulement (31.1), au résultat suivant :

$$\left[\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 + gz \right]_e^s = w_u + w_d \quad (31.1)$$

où l'on trouve le travail utile et le travail des forces de frottement visqueux. On reconnaît bien sûr, en quantité massique (donc en joule/kg), l'énergie cinétique, l'énergie potentielle de pesanteur, et une autre énergie massique $\frac{p}{\rho}$ liée aux forces de pression dans le fluide, dont on précisera la signification plus loin.

Remarque Démonstration, COTE, VIDAL p. 626 ; très proche du bilan du premier principe en écoulement, que l'on a vu pour les machines thermiques !

31.1 Description de l'écoulement d'un fluide parfait

Nous travaillons dans le cadre restreint de l'étude d'un fluide parfait, **qui est un modèle**. Un fluide parfait est un fluide qui n'est soumis à aucune force de frottement (ni interne ni extérieure). Nous verrons ce que cela signifie plus concrètement dans un prochain cours, mais on dit aussi qu'un fluide parfait est un fluide non visqueux. Cela amène à considérer (c'est une hypothèse !) que w_d est nul, il n'y a pas de pertes d'énergie *par dissipation*.

On peut alors voir l'écoulement d'un fluide parfait comme un écoulement qui conserverait son énergie, sa vitesse... mais comme le montre la formule, c'est plus compliqué que simplement une histoire de dissipation : nous allons voir cela avec une forme plus concrète, la relation de BERNOULLI, après avoir introduit quelques notions utiles à la résolution de problème concernant les fluides parfaits.

Remarque En fonction de ce dont on a besoin, et de ce qu'il y a à traiter en deuxième partie...

31.1.1 (Caractéristiques de l'écoulement d'un fluide parfait)

Conservation de la masse Le débit massique se conserve ; et pour un fluide incompressible, le débit volumique se conserve alors. On peut donc facilement lier la section d'une conduite et la vitesse du fluide parfait en écoulement dans celui-ci. [Présenter des applications numériques ?]

Applicabilité de la statique des fluides L'écoulement unidirectionnel d'un fluide parfait suit la répartition de pression décrite par la statique des fluides dans toute direction perpendiculaire à l'écoulement.

Remarque Peut se montrer, n'est pas l'essence de la leçon à mon goût, mais voir COTE, VIDAL, p. 640.

31.1.2 La relation de BERNOULLI

Il s'agit de reprendre l'expression du bilan énergétique précédemment établi dans les conditions suivantes :

- l'écoulement est permanent (pas de dépendance en temps);
- le fluide est parfait (pas de dissipation);
- le fluide est incompressible (masse volumique constante);
- l'écoulement ne rencontre pas de parties mobiles (pas de travail utile créé);
- le fluide n'est soumis qu'à son poids et aux forces pressantes.

Dans ces conditions, on peut écrire, la démonstration dépassant le cadre de ce cours, que sur une ligne de courant :

$$C = p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{Constante} \quad (31.2)$$

que l'on appelle aussi la conservation de la charge.

Remarque Dans un fluide parfait, il n'y a pas de « perte de charge », cette quantité est constante le long d'une ligne de courant ; lorsque l'on travaillera avec des fluides non parfaits, c'est à dire pour lesquels il y a viscosité/frottement, cela ne sera plus vrai.

31.2 Application

Pédagogie L'une ou l'autre à développer en fonction de l'élément imposé.

Remarque Dans tout le cadre de cette étude, on utilise, expérimentalement, des appareils de mesure de pression : être au point sur les manomètres...

31.2.1 Tube de PITOT et mesure de vitesse

Cours et exercice dédié dans le COTE, VIDAL.

Remarque Insister sur les lignes de courant, introduire le point d'arrêt.

31.2.2 Effet VENTURI et mesure de débit

Cours et exercice dédié dans le COTE, VIDAL.

Remarque Principe d'une trompe à eau : dépression à l'endroit du rétrécissement !

Conclusion

Retour sur l'utilisation du théorème de BERNOULLI : lier pression et vitesse (éventuellement altitude, pour les phénomènes de vidange) ; à utiliser conjointement avec autres relations : statique des fluides (pour la pression) et débit conservé (pour le lien entre vitesse et section) !

Cas très simple ici, idéalisé car fluide parfait... suite du cours : introduction aux fluides réels avec notion de viscosité qui amène à considérer des pertes de charge, la relation de BERNOULLI n'est plus valable... Amène à l'explication d'autres phénomènes : la circulation sanguine, les écoulements dans les milieux poreux... se rapprocher de la SVT.

Fiche 32

Irréversibilité (supérieur)

Ressources utilisées

- TAILLET pour quelques définitions
- PÉREZ pour les énoncés et pour des exemples
- OLIVIER ?

Pré-requis

- Premier principe de la thermodynamique [L1] ;
- Fonction d'état, énergie interne, enthalpie [L1] ;
- Thermostat ;
- Calorimétrie ;

Éléments imposés possibles

Diffusion et source d'entropie ; détente de gaz ;

Introduction pédagogique

Niveau L1/(L2) (fonction de l'élément imposé, en partie...) Le piège serait possiblement de ne traiter que des phénomènes irréversibles en L2...

Une leçon devrait pouvoir s'adapter au niveau BCPST1 ; avec l'introduction de l'irréversibilité par l'introduction « progressive » du second principe de la thermodynamique.

Difficultés La définition de l'entropie n'est pas évidente du tout pour les élèves lors de la première introduction...

Le meilleur moyen de leur donner un sens physique sur cette notion sera d'insister sur les comparaisons ou exemples, parfois grossier, pour forcer le trait sur la notion d'irréversibilité qui lui est liée.

Il faudra, au mieux, insister sur le fait qu'on ne calculera jamais « d'entropie » mais seulement des « variations d'entropie » sans quoi il faudrait faire intervenir le troisième principe de la thermodynamique, que nous ne prévoyons pas d'aborder dans cette leçon.

Dans les démonstrations, il faudra insister sur les variables qui sont fixées. Globalement, le thème est très « mathématiques » sans forcément qu'on souhaite autant de rigueur de la part des élèves...

Travaux dirigés Nombreux exemples de calculs de variation d'entropie...

Travaux pratiques Introduction à la thermodynamique hors équilibre : diffusion particulaire (guidé, aller vers l'évolution générale en traçant $L^2 = f(t)$...)

Il s'agit d'une leçon qui se place naturellement dans une séquence pédagogique sur la thermodynamique de première année de licence, mais que l'on peut aussi envisager à un niveau plus élevé notamment si l'on souhaite y traiter les notions de thermodynamique hors équilibres avec la diffusion de particules et la diffusion de la chaleur.

Remarque Pour traiter la diffusion de particule :

- donner l'équation aux dérivées partielles ; faire le changement de variable + un raisonnement en ordre de grandeur,
- OU
- la traiter par la marche aléatoire ? une particule, deux cases... (mais ne permet pas tellement de parler d'entropie, si ?).

On se contentera ici d'introduire le second principe de la thermodynamique et donc la fonction d'état entropie ; quelques calculs sur des exemples simples seront faits afin de fixer les idées pour les élèves sur cette grandeur *a priori* difficile à cerner.

On utilisera la comparaison que l'on sait limitée de dire que l'entropie mesure « le désordre » d'un système physico-chimique. À un niveau supérieur, notamment L3 et complètement en dehors du cadre des classes préparatoires, on pourrait tendre vers la physique statistique et proposer plutôt l'entropie comme une mesure de l'information que l'on possède sur un système...

En cours, on traitera donc en première partie le second principe de la thermodynamique, que l'on introduit après avoir mis en évidence les limites du premier principe, qui n'est qu'un principe de conservation. La deuxième partie du cours sera axée sur [dépend de l'élément imposé !] des exemples de phénomènes irréversibles...

Introduction

Projection

Définition de « Irréversible »,

Qualifie un phénomène ou un processus qui n'est pas inversé par un renversement du temps ou par une inversion des conditions initiales. Immeubles qui s'effondrent... en renversant le temps !

Remarque L'objectif de la leçon sera de tendre vers cette définition : *Thermodynamiquement, qualifie l'évolution d'un système isolé dont l'entropie augmente au cours du temps.*

source : TAILLET.

On saisit bien que lorsqu'un immeuble s'effondre, on ne peut pas spontanément revenir en arrière comme on le ferait simplement en inversant le temps dans une vidéo...

Un autre exemple, moins violent : mélange d'eau chaude et d'eau froide dans un calorimètre, relever la température... on atteint une température « finale », c'est ce qu'on a vu précédemment avec le premier principe de la thermodynamique, mais peut-on revenir en arrière ?

Comment caractériser un tel processus ou phénomène dit « irréversible » ? C'est l'objet de la leçon d'aujourd'hui ! Différents outils, dont le second principe de la thermodynamique, que l'on va énoncer dans les prochaines minutes.

Objectifs Savoir énoncer et comprendre les conséquences du second principe de la thermodynamique ; savoir caractériser un phénomène irréversible.

Remarque Se noter dans un coin la définition du TAILLET de « réversible » :

Qualifie une évolution ou un processus invariant par renversement du temps ; *qualifie une transformation thermodynamique quasistatique qui vérifie deux conditions :*

- *provoquée par une série de modifications des conditions extérieures, elle peut être effectuée en sens inverse en soumettant le système aux modifications inverses ;*
- *à l'issue de cette transformation inverse, l'extérieur doit alors lui aussi revenir dans le même état qu'au début.*

Si l'une au moins de ces conditions n'est pas vérifiée, la transformation est dite irréversible.

32.1 Vers le second principe de la thermodynamique

32.1.1 Les limites du premier principe de la thermodynamique

Expérience Mise en évidence d'un sens d'évolution, d'une flèche du temps. Mélange d'eau chaude colorée et d'eau froide dans une cuve initialement séparée en deux compartiments. On enlève la séparation ; on observe une homogénéisation... pourtant, ce que l'on observera jamais, c'est un retour à la situation initiale, comme on l'a intuité pour les immeubles qui s'effondrent. (homogénéisation de la matière ET de la chaleur : faire très attention à séparer les deux au moins à l'oral, se préparer aux questions...)

Le premier principe

Projection

que l'on rappelle sur slide : Il existe une fonction d'état, extensive, appelée énergie libre, telle que pour un système macroscopiquement au repos, on a :

$$\Delta U = W + Q \quad (32.1)$$

ou en écriture différentielle

$$dU = \delta W + \delta Q. \quad (32.2)$$

nous permet de trouver la température du système à l'état final (lorsqu'un nouvel état d'équilibre est atteint...) :

$$T_f = \dots \quad (32.3)$$

Très bien... mais on a ici rien qui interdit le système de revenir à son état initial : aucune indication sur la flèche du temps, sur le sens d'évolution...

Remarque Essayer de faire sentir que le premier principe montre une différence entre ce qu'est un travail et un transfert thermique alors qu'ils ont une même dimension : cette différence est censée être soulignée par le second principe.

32.1.2 Énoncé(s) du second principe de la thermodynamique

Histoire Les énoncés du second principe de la thermodynamique : CLAUDIUS en 1850 → KELVIN en 1852 → PRIGOGINE en 1950. Les premiers énoncés concordent avec les réflexions menées au début de l'ère industrielle, au début du XIX^{me} siècle : étude des machines thermiques (que l'on verra dans le cours prochain).

L'énoncé du second principe par PRIGOGINE est :

Pour tout système fermé, il existe une fonction des variables d'état, extensive, non conservative, appelée entropie S telle que sa variation, entre deux dates successives t_1 et $t_2 > t_1$, s'écrive :

$$\Delta S = \underbrace{S_{\text{échange}}}_{\int \frac{\delta Q}{T}} + S_{\text{créée}}, \quad (32.4)$$

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

Remarque À noter que la température T est censée être : T_S est la température en chaque point de la surface fermée S qui délimite le système.

$$\Delta S = \underbrace{S_{\text{échange}}}_{\int \frac{\delta Q}{T_S}} + S_{\text{créée}}. \quad (32.5)$$

Quelques éléments de précision sont donnés dans le PÉREZ p. 104 : le système est supposé suffisamment petit pour que la température sur la frontière puisse être considérée comme uniforme + la température sur la surface s'identifie à la température « absolue » définie à partir de l'équation des gaz parfaits.

Aussi, la température utilisée ici peut être identifiée à la température absolue des gaz parfaits, cf. PÉREZ, p. 108.

Ici, on note avec cet énoncé, que l'on peut trouver la dimension de la fonction d'état entropie : l'entropie s'exprime en JK^{-1} .

Histoire Le mot entropie a été introduit par CLAUSIUS ; il est formé à partir de la racine grecque *trope*, qui signifie « changer de direction », racine qu'il a rapproché phonétiquement du mot « énergie », arrivant à « l'entropie ».

Remarque Pour les énoncés historiques du second principe, cf. PÉREZ, p. 105.

Il s'agit d'une quantité qu'il n'est pas facile de comprendre, ou de mesurer... en fait, on pourra voir l'entropie comme une mesure ou une estimation du « désordre » d'un système. Lors d'une évolution spontanée, le désordre globale doit augmenter, c'est ce qui est traduit par la positivité de l'entropie créée.

32.1.3 Vers une expression de l'entropie ?

Le premier principe de la thermodynamique donne que :

$$dU = \delta W + \delta Q, \quad (32.6)$$

où l'on sait que $\delta W = -pdV$.

Remarque On utilise d pour les fonctions d'états (ce qui correspond en mathématiques à une différentielle totale exacte) et δ pour les quantités échangées (ce qui correspond en mathématiques à des formes différentielles : les préfacteurs des termes en d ne sont pas forcément des dérivées partielles).

Alors, on peut appliquer le second principe de la thermodynamique entre deux états infiniment proche, entre lesquels s'opère une transformation réversible ($\delta S_{\text{créée}} = 0$) tel qu'on a : $dS = \frac{\delta Q}{T}$.

On arrive alors à ce qu'on appelle la première identité thermodynamique :

$$dU = TdS - pdV. \quad (32.7)$$

Remarque Très très très glissant d'y arriver comme ça : d'après certains, c'est faux... Il faut simplement écrire que la fonction d'état U , fonction des variables d'états S et V , est différentiable et que sa différentielle totale exacte est :

$$dU = \frac{\partial U}{\partial S}dS + \frac{\partial U}{\partial V}dV, \quad (32.8)$$

où les dérivées partielles sont égales respectivement à T et $-p$. On pourrait éventuellement la donner comme ça, et y revenir en discussion/question...

Il faut surtout comprendre que l'identité thermodynamique est écrite dans le second principe, puisqu'on postule l'existence de la fonction d'état S .

On peut alors exprimer la différentielle de l'entropie de telle sorte que :

$$dS = \frac{1}{T}dU + \frac{p}{T}dV. \quad (32.9)$$

Remarque On pourra au besoin développer les identités thermodynamiques suivantes et/ou parler de l'entropie d'un gaz, d'un liquide, d'un solide (de plus en plus grande).

32.2 Description d'un phénomène irréversible

32.2.1 Exemples et mises en évidence

Comment quantifier cette irréversibilité ?

32.2.2 Méthode de calcul

Calcul sur un chemin réversible (possible car : entropie est une fonction d'état !) et calcul de l'entropie d'échange ; soustraction donne l'entropie créée !

Et/ou

Calcul de l'entropie par application de l'identité thermodynamique... (pour les phases condensées par exemple.)

32.2.3 Création d'entropie pour une phase condensée

Situation : on place un morceau de cuivre « chaud », de masse $m = 1$ kg, à une température T_{Cu} dans un lac d'eau « froide », à une température T_0 . Peut-on calculer la variation d'entropie créée lorsqu'on met en contact les deux systèmes ? L'entropie créée ?

On sait que l'entropie créée $S_{\text{créée}}$ est supérieure ou égale à 0... mais *a priori*, rien ne nous dit que la transformation est réversible.

Système : { cuivre } ; le cuivre est une phase condensée, on peut alors considérer que sa variation de volume est nulle, $dV = 0$ pendant la transformation.

Commençons par calculer la variation d'entropie entre l'état initial (cuivre à sa température initiale) et l'état final (cuivre à la température du thermostat, l'eau). On peut réécrire l'identité fondamentale :

$$dS = \frac{1}{T}dU, \quad (32.10)$$

et l'on sait que pour une phase condensée, $dU = CdT = mcdT$ (avec valeur de c : $c = 385 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) donc :

$$dS = mc \frac{dT}{T}, \quad (32.11)$$

que l'on intègre facilement !

$$\Delta S = mc \ln \left(\frac{T_0}{T_{\text{Cu}}} \right) \quad (32.12)$$

Remarque Relation censée être connue/au programme de BCPST ?

On calcule enfin l'entropie échangée, comme si l'on était sur un chemin réversible :

$$S_{\text{échangée}} = \frac{Q}{T_0} = \frac{\Delta U}{T_0}, \quad (32.13)$$

en considérant que les travaux sont nuls.

Remarque Température de la surface, température du thermostat !

Pour la phase condensée qu'est le cuivre, on a $\Delta U = mc\Delta T = mc(T_0 - T_{\text{Cu}})$ ce qui amène à

$$S_{\text{échangée}} = mc \frac{T_0 - T_{\text{Cu}}}{T_0}. \quad (32.14)$$

On peut alors exprimer l'entropie créée lors de la transformation :

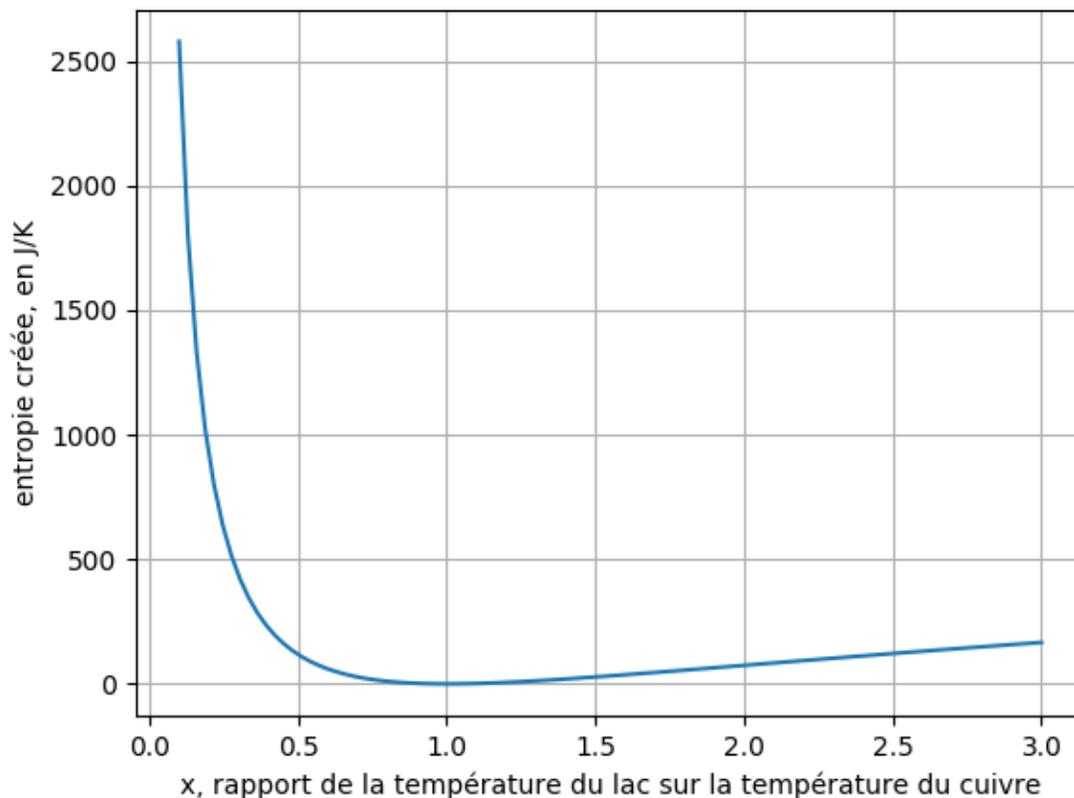
$$S_{\text{créée}} = mc \left[\ln \left(\frac{T_0}{T_{\text{Cu}}} \right) - \frac{T_0 - T_{\text{Cu}}}{T_0} \right], \quad (32.15)$$

ou encore, en posant $x = \frac{T_0}{T_{\text{Cu}}}$,

$$S_{\text{créée}} = mc \left[\ln(x) - \left(1 - \frac{1}{x}\right) \right]. \quad (32.16)$$

Projection

Traçons cette fonction à l'aide de Python.



32.2.4 Détentes de gaz

Calcul sur un chemin réversible pour un gaz parfait se fait *facilement*.

Globalement, se référer au PÉREZ p. 109 pour les variations d'entropie d'un gaz parfait.

32.2.5 À propos de la diffusion de particules...

Remarque Hors programme de première année! Touche à la thermodynamique hors équilibre, donc le programme de deuxième année (même dans les filières PC).
On s'intéresse alors à une étude de l'équation de diffusion, donnée, en montrant que l'équation change par inversion du temps; et en faisant un raisonnement par ordre de grandeur...
Se traite plus éventuellement en élément d'ouverture vers les cours de deuxième année, avec une passerelle par les travaux pratiques.

32.2.6 Entropie de changement d'état

Cf. fiche de Thibault GIAUFFRET et GRÉCIAS, Compétence Prépa, BCPST1. Cas d'une transformation réversible!

Conclusion

Remarque Parfaite dans le PÉREZ, p. 120.
Résumée seulement ici.

Fiche 33

Phénomènes de polarisation optique (supérieur)

Ressources utilisées

- OLIVIER, Référence Prépa Bleu/vert, p. 651 (polarisations), 715 (par diffusion), 726 (par réflexion vitreuse)
- SANZ, MP/MP* tout-en-un, p. 537 (polarisation rectiligne)

Pré-requis

- Électromagnétisme, champ électrique et champ magnétique
- Ondes électromagnétiques, structure
-

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau

Difficultés

Travaux dirigés

Travaux pratiques

Introduction

Conclusion

Remarque Diffusion rayleigh, rayons verts et bleu

Remarque Spectre cannelé