

Fiches pour le concours de l'agrégation, section Physique-Chimie, Option Physique

Damien RIOU et Fanny JOSPITRE

Mail : contact@fiches-agreg-physique.fr
Site web : <https://fiches-agreg-physique.fr>

4 novembre 2017

Résumé

Nous vous proposons nos fiches de leçons de physique, chimie et de montage en vue de votre préparation à l'agrégation de Physique-Chimie, option Physique. Vous y trouverez notamment une suggestion de bibliographie et un extrait des rapports de jury les plus récents [125, 126, 127]. Ces plans ne devraient pas être présentés devant un jury tels quels, mais être pris comme une base et un concentré d'idées pour élaborer vos propres leçons et montages. Bonne préparation !

Dernière modification : 4 novembre 2017

Table des matières

Table des matières	2
1 Leçons de Physique	5
1.1 Contact entre deux solides. Frottement.	5
1.2 Gravitation.	6
1.3 Caractère non galiléen du référentiel terrestre.	8
1.4 Précession dans les domaines macroscopique et microscopique.	9
1.5 Lois de conservation en dynamique.	11
1.6 Cinématique relativiste.	13
1.7 Dynamique relativiste.	14
1.8 Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.	16
1.9 Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide.	17
1.10 Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides.	19
1.11 Gaz réels, gaz parfait.	21
1.12 Premier principe de la thermodynamique.	22
1.13 Évolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé.	24
1.14 Machines thermiques réelles.	26
1.15 Transitions de phase.	27
1.16 Facteurs de Boltzmann.	29
1.17 Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.	31
1.18 Phénomènes de transport.	32
1.19 Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.	34
1.20 Conversion de puissance électromécanique.	36
1.21 Induction électromagnétique.	37
1.22 Rétroaction et oscillations.	39
1.23 Traitement d'un signal. Étude spectrale.	41
1.24 Ondes progressives, ondes stationnaires.	42
1.25 Ondes acoustiques.	44
1.26 Propagation avec dispersion.	45
1.27 Propagation guidée des ondes.	47
1.28 Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques.	49
1.29 Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.	50
1.30 Rayonnement dipolaire électrique.	52
1.31 Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat.	53
1.32 Microscopies optiques.	55
1.33 Interférences à deux ondes en optique.	56
1.34 Interférométrie à division d'amplitude.	58
1.35 Diffraction de Fraunhofer.	59
1.36 Diffraction par des structures périodiques.	61

1.37	Absorption et émission de la lumière.	62
1.38	Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.	64
1.39	Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.	65
1.40	Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.	67
1.41	Effet tunnel.	69
1.42	Fusion, fission.	70
1.43	Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.	72
1.44	Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques.	73
1.45	Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen.	74
1.46	Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques.	76
1.47	Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.	78
1.48	Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.	80
1.49	Oscillateurs. Portraits de phase et non-linéarités.	81
2	Leçons de Chimie	84
2.1	Chimie et couleur. (L)	84
2.2	Séparations, purifications, contrôle de pureté. (L)	85
2.3	Polymères. (L)	87
2.4	Chimie durable. (L)	88
2.5	Synthèses inorganiques. (L)	89
2.6	Stratégies en synthèse organique. (L)	90
2.7	Dosages. (L)	92
2.8	Cinétique et catalyse. (L)	93
2.9	Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique. (L)	94
2.10	Du macro au micro dans les synthèses organiques. (L)	96
2.11	Capteurs électrochimiques. (L)	97
2.12	Molécules de la santé. (L)	98
2.13	Stéréochimie et molécules du vivant. (L)	99
2.14	Acides et bases. (L)	101
2.15	Solvants (CP)	102
2.16	Classification périodique. (CP)	104
2.17	Solides cristallins. (CP)	105
2.18	Corps purs et mélanges binaires. (CP)	106
2.19	Oxydoréduction. (CP)	108
2.20	Détermination de constantes d'équilibre. (CP)	109
2.21	Analyse chimique quantitative. (CP)	110
2.22	Cinétique homogène. (CP)	111
2.23	Évolution et équilibre chimique. (CP)	113
2.24	Optimisation de synthèses industrielles. (CP)	114
2.25	Diagrammes potentiel-pH (construction exclue). (CP)	116
2.26	Corrosion humide des métaux. (CP)	117
2.27	Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique. (CP)	119
2.28	Solubilité. (CP)	120
2.29	Cinétique électrochimique. (CP)	122
3	Montages de Physique	124
3.1	Dynamique newtonienne.	124
3.2	Surfaces et interfaces.	125
3.3	Dynamique des fluides.	126
3.4	Capteurs de grandeurs mécaniques.	127

3.5	Mesure de température.	128
3.6	Transitions de phase.	129
3.7	Instruments d'optique.	131
3.8	Interférences lumineuses.	132
3.9	Diffraction des ondes lumineuses.	133
3.10	Spectrométrie optique.	135
3.11	Émission et absorption de la lumière.	136
3.12	Photorécepteurs.	137
3.13	Biréfringence, pouvoir rotatoire.	138
3.14	Polarisation des ondes électromagnétiques.	139
3.15	Production et mesure de champs magnétiques.	140
3.16	Milieux magnétiques.	142
3.17	Métaux.	143
3.18	Matériaux semi-conducteurs.	144
3.19	Effets capacitifs.	145
3.20	Induction, auto-induction.	147
3.21	Production et conversion d'énergie électrique.	148
3.22	Amplification de signaux.	149
3.23	Mise en forme, transport et détection de l'information.	150
3.24	Signal et bruit.	152
3.25	Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).	153
3.26	Mesure de longueurs.	154
3.27	Systèmes bouclés.	155
3.28	Instabilités et phénomènes non-linéaires.	155
3.29	Ondes : propagation et conditions aux limites.	156
3.30	Acoustique.	157
3.31	Résonance.	158
3.32	Couplage des oscillateurs.	160
3.33	Régimes transitoires.	161
3.34	Phénomènes de transport.	162
3.35	Moteurs.	163
	Bibliographie	165

Chapitre 1

Leçons de Physique

1.1 Contact entre deux solides. Frottement.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon est souvent présentée à un niveau trop élémentaire. La compréhension des aspects microscopiques en jeu est appréciée par le jury.

Rapport du jury 2016 : Cette leçon est l'occasion d'appliquer les lois de la mécanique du solide.

Rapport du jury 2017 : Cette leçon gagne beaucoup à être illustrée par des exemples concrets maîtrisés.

Bibliographie :

- [33] Georges BRUHAT. *Mécanique*. Masson, 1961
- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014
- [59] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 2, 2e année, MP-PC, cours et 73 exercices corrigés*. Dunod, 1997
- [7] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP**. Lavoisier, 2014
- [27] Jean-Marie BRÉBEC. *Mécanique du solide et des systèmes, 2e année, MP-MP*-PC-PC**. Hachette supérieur, 2004

Niveau : L2

Prérequis :

- Mécanique du point
- Mécanique du solide
- Thermodynamique, deuxième principe

Objectifs :

- Description du contact entre deux solides
- Lois empiriques du frottement
- Applications

Plan

Introduction

Les frottements sont souvent négligés, mais nécessaire pour une bonne description des phénomènes physiques. Ces forces sont complexes, car au niveau microscopique, la modélisation des surfaces non lisses est difficile et au niveau macroscopique, il n'existe pas de loi issues de la théorie mais que des lois phénoménologiques.

1. Description du contact entre deux solides

- a) Description cinématique (FAROUX [59], AUGIER [7], BRÉBEC [27])

- Point de contact
 - Vitesse de glissement et vitesse de rotation relative
 - b) Description dynamique (FAROUX [59], PÉREZ [116])
 - Schématisation des actions de contact, forces et moments
2. Lois du frottement
- a) Origine microscopique (PÉREZ [116], AUGIER [7])
 - Schéma d'une surface
 - Origine attractive de Van der Waals et répulsion électronique : potentiel de Lennard-Jones
 - Origine quantique
 - Impossibilité de faire une loi de description microscopique
 - b) Lois phénoménologiques (PÉREZ [116], FAROUX [59], AUGIER [7], BRÉBEC [27])
 - Loi empirique, sans lien avec la nature microscopique du phénomène
 - Discussion sur la réaction normale, la réaction tangentielle
 - Introduction du coefficient de frottement et ordres de grandeur¹
 - Cône de frottement avec la condition de glissement
 - c) Aspect énergétique, irréversibilité et hystérésis (AUGIER [7], BRÉBEC [27])
 - Puissance de la force de réaction par rapport au mouvement qui tend à faire diminuer l'énergie mécanique, d'où irréversibilité
 - Bonus : hystérésis, manip avec une masse couplée à un ressort sur une un plan inclinable
3. Applications
- a) Problème de l'arc-boutement (PÉREZ [116], BRUHAT [33])
 - Cas de la vis qui ne se dévisse pas même si la pièce vibre
 - Modélisation par une masse sur un plan incliné
 - Comparaison de l'angle entre les vis à bois et les vis pour l'acier
 - Manip : Montrer le décrochement d'un palet sur un plan incliné, si possible avec différentes manières
 - b) Roue motrice (PÉREZ [116], BRUHAT [33])
 - À faire à vitesse et moment cinétique constant
 - Discuter les choix fait pour les 4x4, les trains en montagne et les trains de banlieue

Conclusion

Nous avons mis en avant l'importance des frottements dans quelques applications où ils peuvent être bénéfiques. Malgré tout, ils sont souvent non désirés comme dans le cas des frottements fluides en particulier. Ce phénomène est complexe et difficile à mettre en équation du point de vue microscopique, mais nous avons vu ici que l'étude du point de vue macroscopique reste possible.

1.2 Gravitation.

Rapport du jury 2015 : Les candidats s'attacheront, dans le cadre de la physique classique, à développer quelques caractéristiques de l'interaction gravitationnelle.

1. Les ordres de grandeur sont disponibles dans le livre de PÉREZ [116].

Rapport du jury 2016 : Les analogies entre l'électromagnétisme et la gravitation classique présentent des limites qu'il est pertinent de souligner.

Rapport du jury 2017 : Les applications ne doivent pas nécessairement se limiter à la gravitation terrestre.

Bibliographie :

- [58] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 1, Point et systèmes de points, 1re année, MPSI-PCSI, cours et 162 exercices corrigés*. Dunod, 1996
- [5] David AUGIER. *Physique, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [26] Jean-Marie BRÉBEC. *Mécanique, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Hachette supérieur, 2003

Niveau : L2

Prérequis :

- 1re S : Introduction à la gravitation
- Électrostatique
- Mécanique

Objectifs :

- Théorie de la gravitation
- Applications de la gravitation

Plan

Introduction

La théorie gravitationnelle a longtemps fait l'objet de débats. C'est au XVI^{ème} siècle que fût tranchée la question de qui tourne autour de qui, entre le Soleil et la Terre. Kepler donna trois lois régissant le mouvement des astres les uns autour des autres. Cependant, la cause de ce mouvement fût véritablement posée par Newton avec sa notion de force.

1. Interaction gravitationnelle

- a) La force gravitationnelle, une force centrale conservative (AUGIER [5], FAROUX [58])
 - Poser l'expression de la force gravitationnelle et explicitant tous les termes
 - Cas pour la Terre, avec le lien avec le poids
 - Expérience de Cavendish, avec la détermination de la constante gravitationnelle
- b) Conservation du moment cinétique (AUGIER [5])
 - Dédire pour un système ponctuel que la variation du moment cinétique est nulle, le mouvement est plan (première loi de Kepler)
 - Démonstration de la loi des aires (deuxième loi de Kepler)

2. Énergies du système

- a) Énergies potentielle et totale (AUGIER [5], BRÉBEC [26])
 - Force qui dérive d'une énergie potentielle
 - Existence d'un potentiel de type Lennard-Jones, avec des états libres et liés en fonction de leur énergie mécanique
- b) Trajectoire (AUGIER [5])
 - Distinction des différentes trajectoires possibles en fonction de l'énergie mécanique
 - Cas des trajectoires elliptique et circulaire
 - Démonstration de la loi des aires (troisième loi de Kepler)
 - Montrer le lien entre le demi-grand axe des ellipses et les périodes des planètes du système solaire

3. Applications

- a) Collision gravitationnelle (AUGIER [5], BRÉBEC [26])
 - Cas d'un système à deux corps avec un corps est très massif par rapport à l'autre
 - Déviation et distance minimale d'approche de l'objet
 - Application à l'assistance gravitationnelle
- b) Étude d'un système double (FAROUX [58])
 - Étude du système à deux corps avec une masse réduite
 - Application à la détection d'exoplanètes

Conclusion

La théorie de la gravitation a connu quelques ajustements récents par Einstein en 1915, afin de la rendre compatible avec la théorie de la relativité. En effet, la théorie de Newton a pour faiblesse de considérer que l'attraction gravitationnelle prend effet immédiatement, alors que ceci viole le principe qui stipule qu'on ne peut transmettre d'information plus vite que la lumière.

1.3 Caractère non galiléen du référentiel terrestre.

Rapport du jury 2015 : Les prérequis de cette leçon, comme les formules de changement de référentiel, doivent être bien maîtrisés afin de permettre une discussion aisée des phénomènes physiques en jeu. Les conditions dans lesquelles le référentiel terrestre peut être assimilé à un référentiel galiléen doivent être clairement énoncées. La présentation d'exemples pertinents récents, et non simplement historiques, est appréciée par le jury.

Rapport du jury 2016 : Cette leçon peut être illustrée par d'autres exemples qu'historiques.

Rapport du jury 2017 : Les candidats sont invités à réfléchir sur la définition du référentiel terrestre. Cette leçon mérite la proposition d'exemples qui mettent spécifiquement en évidence le caractère non galiléen du référentiel terrestre (et non celui d'un autre référentiel). Les effets des forces d'inertie d'entraînement et de Coriolis sont tout aussi intéressants à expliciter.

Bibliographie :

- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014
- [7] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP**. Lavoisier, 2014
- [26] Jean-Marie BRÉBEC. *Mécanique, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Hachette supérieur, 2003

Niveau : L2

Prérequis :

- Mécanique du point et des solides
- Gravitation
- Compositions des vitesses et des accélérations en référentiel non-inertiel

Objectifs :

- Mettre en évidence des caractéristiques et manifestations du caractère non galiléen du référentiel terrestre au travers d'exemples
- Calcul de l'accélération apparente à la surface de la Terre
- Explication du phénomène de marée
- Expliquer l'enroulement des ouragans au travers de la déviation vers l'est

Plan

Introduction

Habitants de la Terre, nous sommes de fait placés dans un référentiel dit référentiel terrestre, et la grande partie des expériences de physique que nous pouvons faire se font dans ce référentiel. Nous supposons presque immédiatement et très souvent que ce référentiel est galiléen, mais ce n'est le cas que sous certaines conditions, en particulier un temps d'expérience réduit.

1. Référentiels d'étude (BRÉBEC [26])²
 - Présenter rapidement les référentiels de Copernic, géocentrique et terrestre pour positionner le domaine d'étude
2. Conséquence de la rotation propre de la Terre (PÉREZ [116], AUGIER [7])
 - a) Poids apparent à la surface de la Terre
 - Poser la force et l'accélération dues au caractère massique de la Terre
 - Trouver l'expression du champ de pesanteur corrigé avec l'accélération d'entraînement due à la rotation propre de la Terre sur son axe
 - Donner les ordres de grandeur des différents termes
 - Calculer l'accélération à nos latitudes et discuter de la direction ce celle-ci
 - b) Déviation vers l'est lors de la chute libre
 - Montrer les termes responsables de cette modification du mouvement
 - Application aux ouragans
3. Conséquence du mouvement de translation elliptique de la Terre, phénomène de marée (PÉREZ [116], AUGIER [7])
 - Montrer une analyse qualitative du phénomène
 - Faire les calculs uniquement sur le plan de l'équateur
 - Trouver le nombre de marée par jour, discuter du marnage et de leur période

Conclusion

Ainsi, compte-tenu de l'ordre de grandeur des termes modifiant le comportement des phénomènes observés, le fait de considérer le référentiel terrestre comme étant galiléen est une bonne approximation pour les observations de tous les jours. Cependant, pour certaines expériences de haute précision, il nous faut tenir compte de ce caractère non-galiléen de notre référentiel d'étude.

1.4 Précession dans les domaines macroscopique et microscopique.

Rapport du jury 2015 : L'exposé doit être équilibré entre la description des effets macroscopiques et microscopiques. Il n'est pas souhaitable de faire un catalogue exhaustif des applications mais plutôt d'en traiter quelques-unes de manière complète. Le/la candidat(e) doit être capable de trouver l'orientation et le sens des effets gyroscopiques sur des exemples simples.

Rapport du jury 2016 : Afin de bien équilibrer la leçon, il est judicieux de ne pas passer trop de temps sur les aspects cinématiques.

Rapport du jury 2017 : L'étude de l'un des domaines, macroscopique ou microscopique, ne doit pas conduire au sacrifice de l'autre : un certain équilibre est attendu. Il est nécessaire d'avoir suffisamment de recul en mécanique des solides pour préciser l'origine des formules avancées.

Bibliographie :

- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014

2. Cette partie peut être optionnelle.

- [124] J-C. RADIX. « Aspects modernes des gyroscopes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 587 (1976)
- [97] Michel LE BELLAC. *Introduction à la mécanique*. Belin, 1985
- [43] Claude COHEN-TANNOUJJI. *Mécanique quantique. Tome I*. Hermann, 1977
- [65] Richard Phillips FEYNMAN. *Révisez la physique avec Feynman*. Dunod, 2014

Niveau : L3

Prérequis :

- Mécanique du point
- Dynamique du solide

Objectifs :

- Étudier le mouvement d'une toupie, mettre en évidence le caractère paradoxal de son mouvement
- Étudier la précession d'un système macroscopique et microscopique

Plan

Introduction

Pourquoi un vélo lancé à bonne vitesse ne tombe pas ? Pourquoi une toupie tournante n'est pas dans le même état que lorsqu'elle est à l'arrêt ? C'est ce que peut nous montrer l'étude du mouvement de cette toupie et du gyroscope .

1. Étude d'une toupie

- a) Étude du mouvement de la toupie (LE BELLAC [97], PÉREZ [116])
 - Position du problème
 - Moment du poids sur la toupie, pas de chute !
- b) Approximation gyroscopique (LE BELLAC [97], PÉREZ [116], RADIX [124])
 - Approximation gyroscopique
 - Ordres de grandeur des vitesses angulaires
- c) Précession et mouvement paradoxal (LE BELLAC [97], PÉREZ [116])
 - Utilisation de l'approximation gyroscopique pour trouver le sens de la précession
 - Couple gyroscopique
 - Étude de la stabilité

2. Gyroscope macroscopique

- a) Types de gyroscopes (RADIX [124])
 - Citer les différents types de gyroscope
- b) Gyroscope dans les véhicules³ (FEYNMAN [65])
 - Guidage inertiel
 - Stabilisation d'un navire
- c) Aspect gyroscopique de la Terre (PÉREZ [116])
 - Traiter le cas de la précession des équinoxes

3. Gyroscope microscopique

- a) Rapport gyromagnétique (PÉREZ [116])

3. Cette partie peut-être facultative.

- Précession d'un moment magnétique
- b) Pulsation de Larmor et RMN (PÉREZ [116], COHEN-TANNOUJJI [43])
 - Précession de Larmor

Conclusion

La précession nécessite le même formalisme à toutes les échelles. Elle est utilisée en particulier dans la RMN, outil d'investigation très apprécié du chimiste.

1.5 Lois de conservation en dynamique.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon peut être traitée à des niveaux très divers. L'intérêt fondamental des lois de conservation et leur origine doivent être connus et la leçon ne doit pas se limiter à une succession d'applications au cours desquelles les lois de conservation se résument à une propriété anecdotique du problème considéré.

Rapport du jury 2016 : Lors de l'entretien avec le jury, la discussion peut aborder d'autres domaines que celui de la mécanique classique.

Rapport du jury 2017 : Des exemples concrets d'utilisation des lois de conservation sont attendus.

Bibliographie :

- [146] Luc VALENTIN. *Univers mécanique*. Hermann, 1997
- [10] Anne-Emmanuelle BADEL. *Physique, tout-en-un, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Dunod, 2008
- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014
- [6] David AUGIER. *Physique, 1re année, PCSTI*. Lavoisier, 2013
- [115] José-Philippe PÉREZ. « Grandeurs qui se conservent et grandeurs conservatives ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 805 (1998)
- [140] Gérard SERRA. « Les théorèmes de Noether ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 914 (2009)

Niveau : L2

Prérequis :

- Mécanique du point
- Mécanique des systèmes matériels
- Théorèmes de la mécanique classique

Objectifs :

- Mettre en évidence les grandeurs conservatives
- Les utiliser sur des exemples où ce résultat simplifie l'étude

Plan

Introduction

Les grandeurs mécaniques sont les indicateurs de l'état du système étudié. La dynamique vise à décrire les mouvements et évolutions au cours du temps en fonction des actions mécaniques appliquées sur le système. Au cours de cette évolution et si le système d'étude a été judicieusement choisi, il y aura des grandeurs qui vont se conserver, simplifiant de fait l'étude. Dans cette leçon, nous nous proposons de voir quelles grandeurs se conservent dans un nombre non négligeable de cas, les conditions d'application de cette conservation et des exemples d'illustration choisis.

1. Les grandeurs mécaniques conservées

- a) Principes de Noether et référentiel galiléen (SERRA [140])
 - Nécessité d'un référentiel galiléen pour avoir des lois de conservation
 - Conséquences sur le temps et l'espace
- b) Conservation de la quantité de mouvement (PÉREZ [115], BADEL [10])
 - Principe fondamental de la dynamique à un système isolé en référentiel galiléen
 - Conservation de la quantité de mouvement
- c) Conservation du moment cinétique (PÉREZ [115], BADEL [10])
 - Théorème du moment cinétique à un système isolé en référentiel galiléen
 - Conservation du moment cinétique
- d) Conservation de l'énergie mécanique (PÉREZ [115], BADEL [10])
 - Théorème de l'énergie cinétique à un système isolé en référentiel galiléen
 - Conservation de l'énergie mécanique en l'absence de forces non conservatives

2. Conservation des grandeurs à l'échelle humaine

- a) Patinage artistique et mécanique (PÉREZ [116])
 - Manip : Tabouret d'inertie avec les masses loin ou proche du corps⁴
 - Bilan des forces sur la patineuse artistique
 - Conservation du moment cinétique pour un système pseudo-isolé
 - Relation entre le moment d'inertie et la vitesse de rotation
 - Application numérique pour une patineuse
- b) Principe de propulsion des fusées (VALENTIN [146])
 - Manip : Propulsion d'un jouet à l'aide d'un ballon de baudruche
 - Fusée dans le milieu interstellaire qui souhaite accélérer, moteur à réaction
 - Conservation de la quantité de mouvement appliquée au système fusée et gaz d'échappements
 - Vitesse de la fusée en fonction de la masse et de la vitesse des gaz éjectés

3. Conservation des grandeurs du très petit au très grand

- a) Collision élastique en physique des particules (PÉREZ [116], AUGIER [6])
 - Diffusion de Rutherford, principe de l'expérience
 - Modèle atomique de Rutherford
 - Diffusion de particules avec une répulsion coulombienne
 - Conservation de l'énergie mécanique et du moment cinétique
 - Détermination de la distance minimale d'approche pour le cas de la feuille d'or
- b) Étude d'un système binaire (BADEL [10]⁵)
 - Théorème du moment cinétique dans le référentiel barycentrique, conservation du moment cinétique
 - Équations du mouvement des étoiles
- c) Lois de Kepler dans notre système solaire (VALENTIN [146], AUGIER [6])
 - Cas des forces centrales
 - Première loi de Kepler avec la conservation de l'énergie

4. Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que faire cette manipulation peut avoir quelques effets secondaires. Ainsi, il s'agit de prévoir un temps de repos à l'issue de la manipulation pour pouvoir reprendre le cours de la leçon dans les meilleures conditions possibles.

5. C'est un exercice.

— Seconde et troisième lois de Kepler

Conclusion

Nous avons mis en évidence des cas où la conservation de grandeurs mécanique rend l'étude plus simple qu'une étude au travers du principe fondamental de la dynamique. Ce résultat est très utile pour démontrer des lois ou décrire efficacement des systèmes physiques.

1.6 Cinématique relativiste.

Rapport du jury 2015 : Le jury rappelle qu'il n'est pas forcément nécessaire de mettre en œuvre des vitesses relativistes pour être capable de détecter et de mesurer des effets relativistes.

Rapport du jury 2016 : Les notions d'événement et d'invariant sont incontournables dans cette leçon.

Bibliographie :

- [139] Claude SEMAY. *Relativité restreinte*. Dunod, 2016
- [118] José-Philippe PÉREZ. *Relativité et invariance : fondements et applications, avec 150 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2005
- [57] Claude FABRE. *Introduction à la physique moderne : relativité et physique quantique, cours et exercices*. Dunod, 2015

Niveau : L3

Prérequis :

- Mécanique newtonienne

Objectifs :

- Énoncer les postulats de la relativité restreinte et étudier leurs effets
- Donner une approche géométrique à la relativité
- Utiliser la transformée de Lorentz pour comprendre les notions de causalité et de simultanéité
- Étudier trois exemples caractéristiques des effets de la relativité

Plan

Introduction

Il est souvent dit que le GPS est un bon exemple d'application de la relativité. C'est ce que nous nous proposons de voir dans cette leçon sur la cinématique relativiste, avec une première approche des principes de la relativité restreinte.

1. Relativité restreinte, postulats et conséquences

- a) Postulats de Poincaré et d'Einstein (SEMAY [139])
 - Deux postulats de la relativité restreinte, l'un pour les référentiels, l'autre pour la vitesse de la lumière
- b) Relativité du temps (SEMAY [139])
 - Horloges dans différents référentiels
 - Définition des temps propre et impropre
 - Dilatation des temps et énoncé de la contraction des longueurs
- c) Applications d'une vitesse de la lumière fixe (SEMAY [139], PÉREZ [118], FABRE [57])
 - Application au GPS, la localisation est bien meilleure en tenant compte des effets relativistes
 - Insister sur le fait que les vitesses mises en jeu ne sont pas élevées

2. Diagrammes de Minkowski

- a) Notion d'espace-temps (SEMAY [139])
 - Introduction d'un espace à trois dimensions
 - Introduction au quadrivecteur
- b) Approche graphique de la relativité restreinte (SEMAY [139], PÉREZ [118])
 - Introduction au diagramme de Minkowski
 - Droites particulières et notions de futur, présent et passé
- c) Conservation d'un invariant dans le diagramme d'espace-temps (PÉREZ [118])
 - Métrique comme étant la distance entre deux événements
 - Conservation de la métrique dans le diagramme
- d) Application à l'existence des muons à la surface de la Terre (SEMAY [139])
 - Diagramme de Minkowski avec les lignes pour le muon et l'observateur
 - Conclusion, on détecte des muons à la surface de la Terre

3. Transformation de Lorentz

- a) Transformation de Lorentz (SEMAY [139])
 - Poser la transformation de Lorentz
 - Discuter la limite classique
- b) Simultanéité et causalité (SEMAY [139])
 - Utilisation du diagramme de Minkowski pour expliquer la causalité et la simultanéité
- c) Les jumeaux de Langevin (SEMAY [139])
 - Utilisation du diagramme de Minkowski et de la transformée de Lorentz
 - Paradoxe des jumeaux lors du retour sur Terre de celui qui est allé dans l'espace

Conclusion

Nous avons mis en place les bases d'étude de la relativité restreinte au travers de la cinématique. La suite portera sur la dynamique relativiste.

1.7 Dynamique relativiste.

Rapport du jury 2015 : La leçon doit souligner l'intérêt du formalisme quadrivectoriel.

Rapport du jury 2017 : La cinématique relativiste n'est pas l'objet de cette leçon. De plus, il ne faut pas se limiter à une suite de formules et de calculs. L'utilisation des quadrivecteurs peut être judicieuse. Des illustrations de physique moderne et/ou des situations réelles devraient être décrites et analysées.

Bibliographie :

- [25] Murat BORATAV. *Relativité*. Ellipses, 1991
- [139] Claude SEMAY. *Relativité restreinte*. Dunod, 2016
- [36] Bernard CAGNAC. *Physique atomique 1, Atomes et rayonnement : interactions électromagnétiques*. Dunod, 2005

Niveau : L3

Prérequis :

- Mécanique classique de Newton
- Électromagnétisme de Maxwell
- Cinématique relativiste :

- Espace-temps et digramme de Minkowski
- Facteur de Lorentz
- Temps propre

Objectifs :

- Définir le formalisme quadrivectoriel et justifier son intérêt
- Voir le principe de la dynamique relativiste, établir le quadrivecteur énergie-impulsion et faire le lien entre la mécanique classique et celle relativiste
- Discuter de l'énergie relativiste, en particulier d'une particule chargée accélérée
- Appliquer le formalisme aux collisions élastiques

Plan

Introduction

À la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle, notre discipline a vu survenir de nombreux changements. En effet, à cette époque, nous avons deux théories qui expliquaient tous les phénomènes observés, et il n'y avait que quelques expériences qui restaient inexpliquées. Pour pouvoir les décrire, deux nouvelles théories furent donc mises en place et l'une d'entre elle est la théorie de la relativité. La cinématique nous a permis d'expliquer les phénomènes pour des corps voyageant à des vitesses proches de celle de la lumière. Nous avons défini le facteur de Lorentz avec son effet sur le temps et les longueurs. Nous nous intéressons alors à la prévision de ces phénomènes par la dynamique relativiste, de manière analogue à ce qui a été fait pour la mécanique classique.

1. Un nouveau formalisme

a) Un besoin de simplification

- Présenter les deux formalismes de la dynamique relativiste
- Préciser en quoi l'aspect quadrivectoriel, bien que plus complexe formellement est plus simple à comprendre
- Définir l'espace-temps

b) Quadrivecteurs (SEMAY [139], BORATAV [25])

- Construire à partir de l'espace-temps le quadrivecteur position
- Trouver les quadrivecteurs vitesse et impulsion

2. Principe fondamental de la dynamique

a) Relation fondamentale (SEMAY [139], BORATAV [25])

- Poser la relation fondamentale de la dynamique avec le formalisme quadrivectoriel avec la quadriforce
- Noter qu'il est possible de passer par un formalisme plus simple sans les quadrivecteurs

b) Équivalence masse énergie (SEMAY [139], BORATAV [25])

- De manière analogue au cours de mécanique, poser une énergie cinétique qui obéit au théorème de l'énergie cinétique
- Noter qu'il existe une énergie au repos, et en déduire la formule de l'énergie totale du système
- Discuter cette formule en recherchant la limite classique, en faisant un ordre de grandeur de l'énergie au repos, en discutant l'importance du facteur de Lorentz et en notant bien que cette énergie est absolue.

c) Retour sur le quadrivecteur énergie-impulsion (SEMAY [139])

- Montrer que l'énergie intervient dans le quadrivecteur impulsion
 - Discuter ce vecteur pour les particules de masse nulle
3. Application de la dynamique relativiste
- a) Accélérateurs de particules linéaire (BORATAV [25])
 - Faire le cas d'une particule chargée dans un champ électrique classique sur transparent
 - Même chose dans le cas relativiste, et comparer les résultats
 - Ouvrir sur les accélérateurs de particules non linéaire pour atteindre des énergies plus grandes que celles atteignables par un accélérateur linéaire
 - b) Collision élastique (SEMAY [139], CAGNAC [36])
 - Poser le problème avec les expressions des quadrivecteurs
 - Donner les lois de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement
 - Donner la longueur d'onde de Compton
 - Ouvrir sur l'effet Compton inverse

Conclusion

La dynamique classique, établie ici comme la limite non-relativiste de la dynamique relativiste, reste dans bien des cas applicable vu la faible vitesse de la majeure partie des corps qui nous entourent.

1.8 Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux.

Rapport du jury 2015 : Afficher un tableau d'ordres de grandeur de viscosité ne suffit pas en soi pour illustrer la leçon. Tout exemple donné d'écoulement visqueux doit être maîtrisé par le/la candidat(e).

Rapport du jury 2016 : Le jury invite les candidats à réfléchir d'avantage à l'origine des actions de contact mises en jeu entre un fluide et un solide.

Rapport du jury 2017 : Il peut être judicieux de présenter le fonctionnement d'un viscosimètre dans cette leçon.

Bibliographie :

- [110] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2009
- [82] Étienne GUYON. *Hydrodynamique physique*. EDP sciences, 2012

Niveau : L2

Prérequis :

- Notion de fluide :
 - Liquide considéré comme incompressible
 - Gaz
- Étude de la statique des fluides :
 - Effet des forces pressantes
 - Effet des forces pesantes
 - Notion de poussée d'Archimède

Objectifs :

- Appréhender le phénomène de viscosité
- Définir le nombre de Reynolds et ces implications
- Mise en place de l'équation de Stokes :
 - Comprendre les termes
 - Définir la simplification de Stokes

Plan

Introduction

Après la vision statique des milieux continus en première année, nous nous intéressons ici à la mise en mouvement des fluides dit visqueux. Cette étude est pleine de répercussions sur notre quotidien, c'est surtout la compréhension de ces phénomènes qui nous permet de jouir de l'eau du robinet. La notion de viscosité est bien évidente lorsque nous regardons la différence qui existe à notre échelle entre le miel et l'eau : le miel est bien plus visqueux que l'eau.

1. Notion de viscosité

- a) Mise en évidence (OLIVIER [110])
 - Mise en évidence de la viscosité avec du glycérol dans un écoulement de type Couette par exemple
- b) Forces visqueuses (OLIVIER [110])
 - Forces visqueuses sur un cube élémentaire de fluide pour expliquer le phénomène mis en évidence
 - Ordres de grandeur de la viscosité pour les fluides courants
- c) Équation de Navier-Stokes (OLIVIER [110])
 - Bilan des forces pour établir l'équation de Navier-Stokes
- d) Nombre de Reynolds (OLIVIER [110])
 - Poser le nombre de Reynolds comme un rapport des termes convectifs et des termes visqueux

2. Exemples et application

- a) Vitesse limite à bas Reynolds (OLIVIER [110], GUYON [82])
 - Position du problème
 - Coefficient de traînée, loi de Stokes
 - Exemple : chute d'une bille dans du glycérol
- b) Écoulement de Poiseuille cylindrique (GUYON [82])
 - Position du problème et équation de Navier-Stokes
 - Débit volumique en fonction des paramètres du fluide et de la conduite

Conclusion

La théorie développée ici est utilisée dans les micro-mélangeurs. Ils utilisent des écoulements rampants et sont utilisés lors de la préparation de produits pharmaceutiques à partir d'une faible quantité de matière.

1.9 Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide.

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

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

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

Bibliographie :

- [60] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique des fluides et des ondes mécaniques, cours et 105 exercices corrigés, 2e année, PC*. Dunod, 1999

- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014

Niveau : L2

Prérequis :

- Statique et cinématique des fluides
- Équation de Navier-Stokes
- Notion de viscosité d'un fluide
- Nombre de Reynolds

Objectifs :

- Définir l'écoulement parfait d'un fluide
- Établir l'équation d'Euler et de Bernoulli
- Appliquer ces équations à deux dispositifs industriels

Plan

Introduction

Dans une leçon précédente, nous avons étudié la dynamique des fluides visqueux, nous avons pu constater que le formalisme était lourd, bien que capable de décrire complètement les phénomènes dans le fluide. Dans cette leçon nous allons, au prix de quelques approximations, alléger l'équation de Navier-Stokes. Ceci est nécessaire, car résoudre les grands systèmes complexes avec l'équation originale est pratiquement impossible du fait de sa non-linéarité. Ceci nous permettra aussi de traiter le cas des écoulements parfaits compressibles.

1. Écoulement parfait d'un fluide

- a) Fluide parfait et écoulement parfait (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Distinction fluide parfait et écoulement parfait
 - Exemples
 - Rappel du nombre de Reynolds et définition du domaine étudié
- b) Équation d'Euler (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Rappel de la relation de Navier-Stokes
 - Définition du système comme étant une particule de fluide
 - Hypothèses : pas de diffusion et pas de viscosité
 - Notion de couche limite et ordres de grandeur
 - Relation d'Euler

2. Équation de Bernoulli

- a) Relation de Bernoulli pour un écoulement tourbillonnaire (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Hypothèses pour la relation de Bernoulli
 - Relation de Bernoulli par intégration
- b) Relation de Bernoulli pour un écoulement irrotationnel (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Cas irrotationnel sur tout le fluide
- c) Analyse énergétique (FAROUX [60])
 - Conservation de l'énergie et intégrale première du mouvement
 - Relation de Bernoulli comme une relation de conservation
 - Lien énergie macroscopique et microscopique

3. Applications de la dynamique des écoulements parfaits

- a) Effet Venturi (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Position du problème et hypothèses
 - Mise en évidence de la dépression lors de l'accélération des particules de fluide
- b) Mesure d'un débit dans une canalisation (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Application à une mesure de vitesse
 - Manip : Faire une mesure de vitesse par effet Venturi
- c) Mesure de la vitesse air d'un avion (SANZ [134])
 - Principe du tube de Pitot
 - Manip : Faire une mesure de vitesse avec un tube de Pitot

Conclusion

Durant cette leçon, nous avons étudié la dynamique des fluides parfaits. Cette théorie est utile pour décrire assez simplement les écoulements à haut nombre de Reynolds et ainsi s'affranchir du caractère visqueux du fluide qui le compose.

1.10 Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides.

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

Bibliographie :

- [82] Étienne GUYON. *Hydrodynamique physique*. EDP sciences, 2012
- [71] Pierre-Gilles de GENNES. *Gouttes, bulles, perles et ondes*. Belin, 2005
- [94] Christophe LAGOUE. « À propos des ondes de la cuve à ondes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 852 (2003)
- [96] B. LAHAYE. « Propagation des ondes vitesse de phase - vitesse de groupe ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 649 (1982)

Niveau : L2

Prérequis :

- Thermodynamique
- Hydrostatique
- Interactions moléculaires
- Vitesse d'une onde

Objectifs :

- Comprendre l'origine et les conséquences de la tension de surface
- Retrouver la tension de surface de l'eau
- Expliquer la capillarité et l'apparition de ménisque dans un tube à essai ou un verre d'eau
- Mettre en évidence l'existence d'ondes capillaires

Plan

Introduction

Les fluides sont au cœur de problématiques importantes dans l'industrie et dans la chimie. Généralement, l'écoulement fluide est simulé et calculé à partir des équations de Navier-Stokes qui permet de rendre compte des mouvements macroscopiques. Pour des problématiques plus

fines, comme l'écoulement d'encre dans les imprimantes ou dans un stylo plume, il faut considérer de nouvelles problématiques dues aux tensions de surfaces. Cet effet est en particulier visible lors de l'utilisation des pipettes jaugées en chimie où il reste toujours du liquide au bout de celle-ci.

1. Tension de surface

a) Origine microscopique (GENNES [71])

- Montrer la différence d'environnement entre une molécule à une interface et une molécule dans sa phase, entourée de voisins
- Manip : Rail pour montrer qu'on va toujours vers une minimisation de la surface

b) Tension superficielle (GENNES [71])

- Dire que c'est la manifestation macroscopique d'un phénomène microscopique
- Montrer la tension de surface comme une force par unité de longueur et une énergie par unité de surface
- Ordre de grandeur de la tension de surface pour divers liquides

c) Loi de Laplace (GENNES [71], GUYON [82])

- Démontrer la loi de Laplace pour une goutte sphérique et généraliser à une surface quelconque
- Manip : calcul un ordre de grandeur de la tension de surface avec un tube en U
- Évoquer le phénomène d'adhésion capillaire

2. Effets capillaires

a) Mouillabilité des surfaces (GENNES [71], GUYON [82])

- Définir le problème en montrant les trois phases
- Définir ce qu'est un liquide mouillant ou non-mouillant pour une surface donnée
- Bien faire le schéma avec les forces capillaires
- Discuter du paramètre d'étalement et démontrer la loi de Young-Dupré

b) Longueur capillaire (GUYON [82])

- Montrer que la forme des gouttes n'est pas la même en fonction de leur taille
- Démontrer la loi donnant la longueur capillaire
- Montrer le lien avec la formation des ménisques

c) Loi de Jurin (GUYON [82])

- Démontrer la loi de Jurin
- Manip, montrer que la hauteur d'eau dans les capillaires varie comme l'inverse du rayon

3. Dynamique, les ondes capillaires

a) Phénomènes des ondes de surface (GUYON [82], LAGOUTE [94], LAHAYE [96])

- Décrire le phénomène
- Énoncer les hypothèses d'étude
- Donner la vitesse dans le cas général

b) Régimes des ondes (GUYON [82], LAGOUTE [94])

- Discuter les cas en fonction de la hauteur d'eau

Conclusion

Les phénomènes interfaciaux entrent dans la description d'un grand nombre de problèmes, de la formation d'un ménisque entre le verre et l'eau à formation des bulles de savon.

1.11 Gaz réels, gaz parfait.

Rapport du jury 2015 : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de collision à l'échelle moléculaire et prendre du recul vis-à-vis du modèle des sphères dures. Le calcul de la pression cinétique doit être fait avec soin. Il faut préciser à quel moment intervient la moyenne statistique des grandeurs microscopiques. Les limites du modèle du gaz parfait et le cas des gaz réels doivent occuper une partie significative de la durée de la leçon.

Rapport du jury 2017 : Les corrections apportées au modèle du gaz parfait doivent s'appuyer sur des analyses physiques et pas seulement sur des développements calculatoires. La leçon ne peut pas se limiter aux modèles du gaz parfait et du gaz de van der Waals. L'utilisation d'un diagramme enthalpique permet notamment de voir les limites des modèles.

Bibliographie :

- [10] Anne-Emmanuelle BADEL. *Physique, tout-en-un, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Dunod, 2008
- [30] Jean-Marie BRÉBEC. *Thermodynamique, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Hachette Supérieur, 2003
- [47] Bernard DIU. *Thermodynamique*. Hermann, 2007
- [63] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique, cours et 136 exercices corrigés, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année MP-PSI-PC*. Dunod, 1997

Niveau : L3

Prérequis :

- Thermodynamique classique
- Définition des capacités thermiques
- Mécanique quantique

Objectifs :

- Étudier le modèle du gaz parfait, modèle microscopique et macroscopique
- Introduire les pression et température en énergies moyennées de la théorie cinétique des gaz
- Comprendre la difficulté de la description d'un gaz réel et introduction du gaz de Van der Waals
- Étudier les différences entre ces deux modèles

Plan

Introduction

L'état gazeux est un des états possible pour un corps. Cet état est un état dilué, sans ordre à longue distance avec peu d'interaction entre les particules. Pour modéliser un tel gaz, nous avons besoin d'équations et d'au moins deux informations sur chaque particule, et ceci pour un très grand nombre de particule. Ceci nous est pour l'instant inaccessible avec nos moyens actuels, il s'agit donc d'utiliser des moyennes et des descriptions statiques pour pouvoir prévoir l'évolution du gaz et ses propriétés.

1. Les hypothèses du gaz parfaits

- a) Hypothèses du modèle (BRÉBEC [30], BADEL [10])
 - Gaz dilué, dimensions des particules faibles devant les distances intermoléculaires
 - Pas d'interaction sauf lors des chocs
 - Modèle des sphères dures
- b) Aspect microscopique (BRÉBEC [30], BADEL [10])

- Mouvements chaotiques, indétermination de la trajectoire des particules après quelques chocs
 - Mouvement brownien
 - Répartition des vitesses dans le gaz et distribution de Maxwell-Boltzmann, ordres de grandeur
2. Grandeurs moyennes pour le gaz parfait
- a) Pression cinétique (BADEL [10])
 - Définition de la pression vue comme une force moyenne sur une paroi
 - Démonstration de la pression cinétique pour le gaz parfait par un calcul simple
 - Mentionner que c'est une coïncidence heureuse et qu'il est possible d'utiliser les angles solides pour rendre la démonstration plus complète
 - b) Énergie interne et température cinétique (BADEL [10], FAROUX [63])
 - Calcul de l'énergie interne pour un gaz parfait
 - Calcul de la température pour un gaz parfait
 - c) Équation d'état du gaz parfait et lois de Joule (BADEL [10], FAROUX [63])
 - Démonstration de l'équation d'état du gaz parfait
 - Ordre de grandeur du volume d'une mole de gaz
 - Énoncé des lois de Joules
3. Un modèle plus complet, le gaz de Van der Waals
- a) Un besoin d'une modèle plus complet (BRÉBEC [30])
 - Montrer que le produit PV n'est pas constant comme le prévoit l'équation d'état des gaz parfait
 - Modèle valable pour tous les gaz à faible pression, mais il manque les hautes pressions
 - b) Équation d'un gaz réel (DIU [47], FAROUX [63])
 - Équation d'un gaz réel par un développement du Viriel
 - Discuter la forme et les différents termes
 - c) Équation du gaz de Van der Waals (DIU [47], FAROUX [63])
 - Besoin d'une formule plus ramassée, l'équation de Van der Waals
 - Discussion des termes et courbe du potentiel associé
 - d) Différences avec le gaz parfait (DIU [47], FAROUX [63])
 - Différences au niveau des isothermes
 - Ordres de grandeur des coefficients a et b
 - Interprétation physique

Conclusion

Le modèle du gaz parfait représente bien la réalité pour des gaz dilués proches de nos conditions de tous les jours. C'est pour cela qu'il est toujours utilisé. Il est cependant parfois mis en défaut, et un modèle plus riche, avec interaction peut être utilisé, comme celui du gaz de Van der Waals par exemple.

1.12 Premier principe de la thermodynamique.

Rapport du jury 2015 : La notion d'équilibre thermodynamique n'est pas toujours bien comprise. Des exemples pertinents doivent être utilisés pour mettre en exergue l'intérêt du premier principe, y compris pour l'introduire.

Rapport du jury 2017 : Des exemples concrets d'utilisation du premier principe de la thermodynamique sont attendus.

Bibliographie :

- [6] David AUGIER. *Physique, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [64] Georges FAVERJON. *Thermodynamique, PCSI*. Bréal, 2003

Niveau : L2

Prérequis :

- Vocabulaire de la thermodynamique
- Équation d'état du gaz parfait

Objectifs :

- Introduire le premier principe de la thermodynamique
- Introduire une nouvelle grandeur énergétique : l'enthalpie

Plan

Introduction

La thermodynamique est l'étude de la dynamique des phénomènes thermiques. Elle a été introduite en vue de comprendre et d'améliorer le fonctionnement des machines thermiques lors de la révolution industrielle.

1. Évolutions et transformations thermodynamiques
 - a) Formalisme
 - Définition d'un système
 - Types de transformation accessibles au système
 - b) Transformation et échange de travail mécanique
 - Transformation avec échange de travail mécanique
 - Exemple de transformation
 - c) Transformation et échange d'énergie thermique
 - Transformation avec échange d'énergie thermique
 - Visualisation de l'équivalence entre travail et chaleur, grandeur liées
2. Énergie interne et premier principe
 - a) Énergie interne et échelle microscopique
 - Définition de l'énergie interne comme une grandeur microscopique
 - Expérience d'un pendule dans une enceinte isolée, conversion d'une énergie macroscopique en une énergie microscopique
 - b) Premier principe de la thermodynamique
 - Définition du premier principe
 - Discussion sur les états initial et final et sur le chemin de la transformation
 - c) Énergie interne d'un gaz parfait
 - Calcul de l'énergie interne pour un gaz parfait
 - d) Détente de Joule-Gay Lussac
 - Modélisation du problème, détente à énergie interne constante
 - Application du premier principe et première loi de Joule
 - Discussion sur l'irréversibilité du phénomène, limite du premier principe
3. Enthalpie et premier principe

- a) Enthalpie et chimie
 - Transformation à volume constant
 - Incidence sur le premier principe et l'énergie interne
 - Définition de l'enthalpie et intérêt de la grandeur en chimie
- b) Enthalpie d'un gaz parfait
 - Calcul de l'enthalpie d'un gaz parfait
- c) Détente de Joule-Thomson
 - Modélisation du problème, détente à enthalpie constante
 - Application du premier principe et seconde loi de Joule

Conclusion

Le premier principe n'est pas à lui seul suffisant pour décrire les évolutions de systèmes thermodynamiques. En effet, un second principe est nécessaire pour prévoir le sens d'évolution des systèmes, et la thermodynamique statistique permet de connaître l'état macroscopique d'un système grâce à la connaissance qu'a le physicien sur les particules qui le compose.

1.13 Évolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé.

Rapport du jury 2014 : Nous ne saurions trop insister sur l'importance d'écrire systématiquement les variables et paramètres des fonctions thermodynamiques introduites au cours de la leçon. Si l'analogie avec la mécanique peut se justifier, nous invitons les candidats à bien identifier le message qu'ils souhaitent transmettre. Bien que ne faisant pas partie de la leçon, les candidats doivent réfléchir à l'interprétation statistique des potentiels thermodynamiques et en particulier à leur lien avec la fonction de partition.

Rapport du jury 2016 : Il est intéressant de choisir un système physique dont l'évolution n'est pas intuitive.

Bibliographie :

- [42] Nicolas CHOIMET. *Thermodynamique, PC-PSI*. Bréal, 2001
- [62] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique : 136 exercices et problèmes corrigés, rappels de cours, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année, MP-PSI-PC*. Dunod, 1999
- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978

Niveau : L2

Prérequis :

- Thermodynamique du premier et second principe
- Énergétique de la mécanique du point
- Cristallographie
- Thermochimie des réactions

Objectifs :

- Étude d'un exemple mécanique, notions de variable interne et de paramètre de contrôle
- Potentiel thermodynamique pour l'évolution monotherme et l'évolution monotherme monobare

Plan

Introduction

Si nous avons un système thermodynamique fermé et que nous sommes intéressés par son évolution et son équilibre, nous avons besoin d'introduire de nouvelles notions. Pour cela, nous

allons utiliser le premier et le second principe pour définir, par analogie avec la mécanique, un potentiel thermodynamique.

1. Introduction de la notion de potentiel thermodynamique sur un système isolé
 - a) Paramètres de contrôles et variables internes (CHOIMET [42])
 - Introduction du vocabulaire sur un exemple mécanique, dans une cuvette
 - Recherche du point d'équilibre
 - Recherche du paramètre de contrôle et de la variable interne au système
 - Passage à la thermodynamique en faisant une analogie entre les grandeurs trouvées et celles habituelles en thermodynamique
 - b) Analyse d'un système isolé, le gaz dans une enceinte (CHOIMET [42])
 - Inégalité de Clausius pour un système isolé
 - Recherche de la condition d'évolution et d'équilibre avec une entropie extrémale, qui devient alors un potentiel thermodynamique et non plus une fonction d'état
 - Noter qu'il existe deux méthodes pour rendre cette grandeur extrémale
 - Étude d'une détente de Joule-Gay Lussac, avec un système composé du gaz, de la paroi et du robinet (parfait), recherche de l'entropie
2. Étude d'une transition de phase dans le laiton
 - a) Construction d'un potentiel thermodynamique F (CHOIMET [42])
 - Système en contact avec un thermostat, transitions monothermes et isochores
 - Construction d'un potentiel F avec l'inégalité de Clausius et le premier principe
 - Recherche des conditions d'évolution et d'équilibre
 - b) Transition de phase dans le laiton⁶ (FAROUX [62])
 - Étude d'une transition de phase dans le laiton
 - Établissement d'un paramètre d'ordre et d'une transition autour d'une température critique
 - Transition de phase monotherme isochoire, car on considère un solide
 - Développement de Landau au voisinage de la température critique
 - Montrer les courbes avec la bifurcation
3. Étude d'une réaction chimique, la synthèse de l'ammoniac
 - a) Construction d'un potentiel thermodynamique G (CHOIMET [42])
 - Système en contact avec un thermostat, transitions monothermes et monochores
 - Construction d'un potentiel G avec l'inégalité de Clausius et le premier principe
 - Recherche des conditions d'évolution et d'équilibre
 - b) Synthèse de l'ammoniac, recherche de l'équilibre (OLIVIER [111])
 - G , potentiel qui régit toutes la thermochimie
 - Application à la synthèse de l'ammoniac en phase gazeuse
 - Calcul de l'expression analytique du potentiel thermodynamique G ⁷
 - Tracé de la courbe à 400 K, on repère alors l'équilibre et la condition d'évolution

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons mis en place un outil qui nous permet de prévoir le sens d'évolution et l'équilibre d'un système thermodynamique soumis à des contraintes diverses. Ils nous seront utiles pour traiter des exemples concrets qui peuvent être difficiles à considérer en première approche, et dont l'étude est simplifiée avec l'utilisation de ces potentiels.

6. Une alternative est la transition para-ferromagnétique qui se traite aussi avec F . Cela a l'avantage de permettre d'inclure une expérience, la transition para-ferromagnétique sur un clou chauffé.

7. Faire cela avec l'isobutane, puis rechercher dans le handbook [101] la valeur du $\Delta_r G^0$ de la réaction

1.14 Machines thermiques réelles.

Rapport du jury 2015 : Les diagrammes thermodynamiques, exploités dans les programmes de CPGE, sont trop rarement présentés et utilisés.

Rapport du jury 2016 : Au-delà des modèles classiques, le candidat s'appuiera sur des diagrammes de fluides réels.

Rapport du jury 2017 : L'utilisation de diagrammes enthalpiques peut permettre de discuter de façon quantitative l'irréversibilité d'une machine réelle et, en plus, d'éviter de se contenter du modèle du gaz parfait. Le jury rappelle en outre que les machines thermiques ne se limitent pas aux moteurs.

Bibliographie :

- [10] Anne-Emmanuelle BADEL. *Physique, tout-en-un, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Dunod, 2008
- [80] Pierre GRÉCIAS. *Physique, 1re année, PCSTI*. Lavoisier, 2009
- [102] François MARTIN. « Le réfrigérateur ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 832 (2001)

Niveau : L2

Prérequis :

- Premier et second principes de la thermodynamique
- Transitions de phase
- Bilans d'énergie en système ouvert

Objectifs :

- Modéliser un système réel complexe par une machine thermique
- Comprendre le principe de fonctionnement des machines thermiques, monotherme et ditherme et les limitations de la machine monotherme
- Utiliser un diagramme thermodynamique pour modéliser les transformations physiques intervenant dans une machine

Plan

Introduction

Les machines thermiques et en particulier la machine à vapeur ont permis la révolution industrielle. Pour améliorer leurs performances, leur étude est vite devenue indispensable, c'est une des raisons de la création de la thermodynamique. Nous allons ici appliquer les premier et second principes à la caractérisation des machines monotherme et ditherme.

1. Modélisation des machines thermiques

- a) Description d'une machine (GRÉCIAS [80])
 - Définition du terme machine avec son agent thermique
 - Conventions de signes pour les transferts thermiques et les travaux
 - Distinction entre les machines et les récepteurs thermiques
- b) La machine monotherme (GRÉCIAS [80], BADEL [10])
 - Description d'une machine thermique monotherme en contact avec un thermostat parfait
 - Premier et second principes appliqués à cette machine
 - Impossibilité d'avoir une machine monotherme
 - Cas du récepteur monotherme, le radiateur électrique

2. Machines dithermes

- a) Modélisation et caractéristiques d'une machine ditherme (GRÉCIAS [80], BADEL [10])
 - Intérêt de l'étude d'une machine ditherme
 - Description d'une machine thermique ditherme en contact avec deux thermostats parfaits
 - Premier et second principe appliqués à cette machine
 - Rendement de la machine, conditions pour avoir un bon rendement
 - Théorème de Carnot, tracé d'un cycle réversible dans les diagrammes PV et TS
 - b) Le moteur à essence (GRÉCIAS [80], BADEL [10])
 - Cycle du moteur à quatre temps de Beau de Rochas
 - Ordres de grandeur du rendement d'un tel moteur
 - c) La pompe à chaleur (GRÉCIAS [80])
 - Description d'un récepteur ditherme
 - Notion et calcul de l'efficacité, conditions pour avoir une bonne efficacité
3. Étude d'un réfrigérateur
- a) Principe de fonctionnement (MARTIN [102])
 - Description du dispositif étape par étape
 - Choix du fluide, conséquence sur les pressions et les températures du fluide
 - Considérations technologiques limitant l'idéalité du système
 - b) Lien entre le modèle et la thermodynamique (MARTIN [102])
 - Présentation du diagramme des frigoristes
 - Lien entre les différents éléments constitutifs du réfrigérateur et le diagramme des frigoristes
 - Tracé du cycle
 - c) Bilan énergétique (MARTIN [102])
 - Calcul du transfert thermique utile et du travail à fournir
 - Rendement et conclusion
 - Considérations technologiques limitant l'idéalité du système et comparaison du modèle avec le réfrigérateur réel

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons vu la nécessité d'avoir deux sources de chaleur pour fabriquer un moteur, en sachant que pour un récepteur, une source unique peu suffire. La conception de ces machines est toujours un enjeu, dans un contexte de raréfaction de l'énergie.

1.15 Transitions de phase.

Rapport du jury 2015 : Il est dommage de réduire cette leçon aux seuls changements d'états solide-liquide-vapeur. La discussion de la transition liquide-vapeur peut être l'occasion de discuter du point critique et de faire des analogies avec la transition ferromagnétique-paramagnétique. La notion d'universalité est rarement connue ou comprise.

Bibliographie :

- [42] Nicolas CHOIMET. *Thermodynamique, PC-PSI*. Bréal, 2001
- [47] Bernard DIU. *Thermodynamique*. Hermann, 2007

Niveau : L3

Prérequis :

- Premier et second principes de la thermodynamique

- Potentiels thermodynamiques
- Électromagnétisme des milieux

Objectifs :

- Utiliser les potentiels thermodynamiques pour étudier les transitions de phases
- Étudier trois exemples de transitions de phases, du premier et du second ordre

Plan

Introduction

Les transitions de phase nous sont utiles tous les jours. En effet, c'est ce qui permet à nos réfrigérateurs de fonctionner. De manière un peu plus générale, un corps peut exister sous différentes formes en fonction de son environnement, des paramètres de contrôles du système, et la transition d'une forme à l'autre peut présenter des propriétés intéressantes.

1. Équilibre et évolution d'un corps pur sous deux phases (CHOIMET [42])
 - a) Choix d'un potentiel thermodynamique adapté
 - Choix du potentiel thermodynamique représentatif d'une évolution monotherme et monobare G
 - Définition précise du système, des paramètres de contrôles et des variables internes
 - b) Condition et conséquences d'un équilibre polyphasé
 - Condition d'équilibre entre les phases
 - Égalité des enthalpies libres standard des phases pures à l'équilibre
 - Équilibre possible pour une infinité d'états du système, mais seulement dans certaines conditions
 - Condition d'évolution d'un corps pur diphasé, cas de l'équilibre liquide-vapeur
 - c) Application à la transition liquide-vapeur
 - Poser la formule de Clapeyron
 - Conséquences de celle-ci sur le diagramme d'état PT , signe des pentes point critique et point triple
2. Transition de phase du premier ordre : transition métal-supraconducteur⁸ (DIU [47], CHOIMET [42])
 - a) Caractéristiques de la transition métal-supraconducteur
 - Caractéristiques électriques et magnétique du corps supraconducteur
 - b) Potentiel thermodynamique associé
 - Définition du potentiel thermodynamique adapté G
 - c) Caractéristiques de la transition
 - Caractérisation de la transition en fonction du potentiel thermodynamique
 - État supraconducteur existant que si la température est suffisamment basse et que le champ coercitif n'est pas trop intense
 - Entropie de la transition
 - Chaleur latente non nulle, signe d'une transition de phase du premier ordre
3. Transition de phase du second ordre : transition para-ferromagnétique (CHOIMET [42])
 - a) Caractéristiques de la transition para-ferromagnétique

8. Partie optionnelle si la leçon est trop longue.

- Manip : Mise en évidence expérimentale
- b) Potentiel thermodynamique associé
 - Définition du potentiel thermodynamique adapté F
 - Développement de Landau
- c) Caractéristiques de la transition
 - Recherche de l'équilibre en fonction de la température
 - Chaleur latente nulle, signe d'une transition de phase du second ordre

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons vu diverses transitions de phases, dont deux dans la matière. Ces transitions de phases permettent d'obtenir des propriétés originales de matériaux qui ont des propriétés toutes autres dans les conditions normales.

1.16 Facteurs de Boltzmann.

Rapport du jury 2015 : Développer une théorie sans illustrations n'est pas acceptable. D'ailleurs, l'application de la probabilité canonique à des situations concrètes et classiques, lors de l'entretien, révèle parfois une culture assez limitée en physique.

Rapport du jury 2016 : La contextualisation est primordiale dans cette leçon.

Bibliographie :

- [63] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique, cours et 136 exercices corrigés, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année MP-PSI-PC*. Dunod, 1997
- [119] José-Philippe PÉREZ. *Thermodynamique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001
- [7] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP**. Lavoisier, 2014
- [46] Bernard DIU. *Éléments de physique statistique*. Hermann, 1989

Niveau : L2

Prérequis :

- Thermodynamique :
 - Modèle du gaz parfait
 - Équation d'état du gaz parfait
 - Théorie cinétique des gaz
- Mise en équation de la loi de l'hydrostatique
- Bases de la mécanique
- Bases de l'électromagnétisme

Objectifs :

- Appréhender la loi de répartition des particules à l'équilibre dans les niveaux d'énergie à partir d'un exemple connu
- Généraliser cette loi
- Utiliser la loi pour retrouver les résultats de la théorie cinétique des gaz
- Présenter l'aspect thermodynamique d'un exemple de l'électromagnétisme

Plan

Introduction

La thermodynamique étudie les systèmes macroscopiques constitués d'un très grand nombre de particules à l'aide d'un nombre réduit de variables. Historiquement les lois de la thermodynamique viennent de l'expérience, ce n'est qu'ensuite qu'il a été possible de les déduire du comportement moyen d'un très grand nombre de particules, d'où les notions de statistiques.

1. Équilibre de l'atmosphère isotherme
 - a) Évolution de la pression (FAROUX [63])
 - Trouver l'évolution de la pression en fonction de l'altitude
 - b) Interprétation statistique (FAROUX [63], AUGIER [7])
 - Calcul du nombre de molécule dN dans une tranche d'épaisseur dz de section S
 - Interprétation : compétition poids vs agitation thermique
 - Donner le facteur de Boltzmann
 - c) Expérience de Jean Perrin (FAROUX [63])
 - Présenter l'expérience
 - Effectuer le calcul de nombre d'Avogadro et mise en évidence directe de l'agitation moléculaire
2. Loi de distribution de Boltzmann
 - a) Énoncé de la loi de distribution (PÉREZ [119], FAROUX [63])
 - Insister sur le système microscopique ou macroscopique en contact avec un thermostat
 - En s'appuyant sur l'exemple précédent comparer le nombre de molécules à des altitudes différentes pour en conclure que les niveaux les plus énergétiques sont les moins peuplés
 - b) Répartition de l'énergie (FAROUX [63], PÉREZ [119])
 - Cas discret, introduire la fonction de partition
 - Cas continu
3. Applications du facteur de Boltzmann
 - a) Distribution des vitesses de Maxwell (PÉREZ [119], AUGIER [7])
 - Démonstration
 - Représenter la distribution des vitesses, discuter l'influence de la température
 - Discuter les différentes vitesses
 - b) Théorème de l'équipartition de l'énergie (DIU [46], PÉREZ [119])
 - Démontrer le théorème
 - Application au calcul de l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique et sa capacité thermique
 - c) Polarisation diélectrique (PÉREZ [119]⁹)
 - Présenter l'expérience
 - Calculer la fonction de partition en déduire le moment dipolaire moyen
 - Discuter les différents cas

Conclusion

Le facteur de Boltzmann permet de répondre à la question suivante : « comment savoir quel état occupe un système à l'équilibre ? » dans les conditions que nous avons évoquées.

9. C'est l'exercice 3.10.

1.17 Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon ne doit pas se réduire à énoncer des lois historiques sans aucun élément de démonstration.

Rapport du jury 2017 : Les bilans radiatifs doivent être traités de manière rigoureuse.

Bibliographie :

- [46] Bernard DIU. *Éléments de physique statistique*. Hermann, 1989
- [31] Jean-Marie BRÉBEC. *Thermodynamique, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004
- [119] José-Philippe PÉREZ. *Thermodynamique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001
- [8] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2009
- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990

Niveau : L3

Prérequis :

- Optiques géométrique et ondulatoire
- Thermodynamique
- Physique statistique
- Mécanique quantique

Objectifs :

- Étudier l'interaction rayonnement-matière
- Poser la loi de Planck
- Démontrer les lois de Stéfan et de Wien
- Définir la notion de corps noir
- Étudier le rayonnement émis par un corps noir
- Application au Soleil et au pyromètre à disparition de filament

Plan

Introduction

Nous avons tous l'image du forgeron qui, pour ajuster le fer au sabot d'un cheval, le met dans la forge qui permet d'élever sa température pour le rendre malléable. Lorsque le fer est chaud, il émet une lumière rouge. D'où vient cette couleur, cette émission de lumière ? C'est ce que nous allons voir dans cette leçon. En effet, cette émission de lumière est un phénomène universel : les étoiles, les braises d'un feu prennent une couleur fonction de leur température.

1. Le modèle du corps noir

a) Un besoin de modélisation (PÉREZ [119])

- Donner un aperçu de l'état de la connaissance du rayonnement d'équilibre thermique
- Loi de Stefan et loi de Rayleigh-Jeans, mais qui met le doigt sur la catastrophe ultraviolette

b) Le corps noir (PÉREZ [119], BRÉBEC [31])

- Donner la définition du corps noir comme étant un absorbeur intégral d'ondes électromagnétiques
- Montrer comment on peut le réaliser de manière pratique

2. Rayonnement d'équilibre thermique

- a) Loi de Planck (DIU [46], PÉREZ [119])
 - Poser la loi de Planck comme étant une densité d'énergie volumique par pinceau de couleur
 - Expliciter les termes pour la distribution d'énergie en pulsation, en particulier les liens avec la thermodynamique statistique et la mécanique quantique
 - Montrer la courbe de répartition de la densité spectrale d'énergie en fonction de la pulsation
 - Discuter le cas basse température, on retrouve la loi de Rayleigh-Jeans
- b) Loi du déplacement de Wien (DIU [46], PÉREZ [119], AUGIER [8])
 - Démontrer la loi de Wien
 - Donner quelques ordres de grandeur et expliquer la couleur de quelques corps
- c) Loi de Stefan (DIU [46], PÉREZ [119])
 - Démontrer la loi de Stefan

3. Applications

- a) Pyromètre à disparition de filament (BRÉBEC [31], [122])
 - Présenter le pyromètre à disparition de filament comme une conséquence du corps noir présenté
 - Manip : Présentation d'un pyromètre à filament
- b) Four solaire (PÉREZ [119])
 - Présenter la situation
 - Faire le calcul et donner la température obtenue

Conclusion

Le modèle du corps noir que nous avons développé va maintenant nous permettre d'étudier bien des corps, avec la seule hypothèse qui sera que le rayonnement émis se comporte comme celui d'un corps noir.

1.18 Phénomènes de transport.

Rapport du jury 2015 : Les liens et les limites des analogies entre divers domaines doivent être connus.

Rapport du jury 2016 : Les analogies et différences entre les phénomènes de transport doivent être soulignées tout en évitant de dresser un simple catalogue.

Rapport du jury 2017 : La leçon ne peut se limiter à la présentation d'un unique phénomène de transport.

Bibliographie :

- [131] Jimmy ROUSSEL. « Marches aléatoires ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 845 (2002)
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [110] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2009
- [70] Christian GARING. *Ondes mécaniques et diffusion, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1998

Niveau : L2

Prérequis :

- Premier et second principes de la thermodynamique
- Conservation de la matière

Objectifs :

- Présenter l'origine physique et les caractéristiques de la diffusion

Plan

Introduction

Les phénomènes de transport sont des phénomènes visant à lisser les éventuelles inhomogénéités qui pourraient être présentes dans la nature. Ces phénomènes sont des phénomènes irréversibles qui ont pour objectif la moyennisation des grandeurs physiques dans l'espace.

1. Phénomènes de transports

- Introduction des phénomènes de transports
 - Mise en évidence sur un exemple de diffusion thermique du rayonnement, de la diffusion et de la convection
- Diffusion et convection (SANZ [133])
 - Définition de la convection et de la diffusion
 - Mise en évidence de la différence d'échelle entre les deux phénomènes
 - Distinction entre convection forcée et convection naturelle
 - Ici, seulement diffusion et pas de convection

2. Diffusion de particules

- Mise en évidence de la diffusion de particules (SANZ [133], BELLANGER [18], ROUSSEL [131])
 - Manip : Goutte d'encre dans un verre d'eau à différents instants
 - Mise en évidence de la diffusion de particules
 - Explication microscopique de l'uniformisation de la couleur par l'agitation moléculaire
 - Marche aléatoire et diffusion
- Courant et bilan de particules (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Vecteur densité de flux de particules diffusées
 - Bilan de particules
 - Équation de conservation de la matière locale
 - Bilan des inconnues et des équations
- Loi de Fick (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Loi phénoménologique de Fick
 - Ordres de grandeur de coefficients de diffusion
 - Discussion des limites de validité
 - Lien avec le caractère microscopique du phénomène
- Équation de diffusion (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Équations de diffusion de particules uni et tridimensionnelles
 - Conditions aux limites et condition initiale
 - Retour sur la diffusion de la goutte d'encre
 - Python : Évolution de la courbe au cours du temps
- Application au dopage des semi-conducteurs (GARING [70])
 - Dopage P d'un semi-conducteur

— Calcul de la durée de diffusion pour obtenir les propriétés souhaitées

3. Diffusion thermique

- a) Mise en évidence de la diffusion thermique (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Cas d'une tasse chaude
 - Lien du flux thermique avec la thermodynamique
- b) Courant thermique (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Flux et courant thermiques
 - Bilan thermique et conservation locale de l'énergie interne
- c) Loi de Fourier (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Loi phénoménologique de Fourier
 - Limites et validité de la loi de Fourier
 - Ordres de grandeur des conductivités thermiques
- d) Bilan thermique et équation de diffusion (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Bilan thermique locale
 - Diffusion thermique au travers d'une surface
 - Résistance thermique et analogie avec l'électrocinétique
- e) Application à la profondeur d'une cave (GARING [70])
 - Condition pour avoir une cave de température presque constante sur toute l'année
 - Résolution du problème et détermination de la profondeur optimale pour la cave

Conclusion

Nous avons vu dans cette leçon les différents mécanismes permettant de mettre en équation les phénomènes de transport. La diffusion est un de ces phénomènes, et que ce soit pour les particules ou pour la chaleur, les équations sont identiques, et une forte analogie peut être développée entre ces deux phénomènes.

1.19 Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.

Rapport du jury 2015 : Le traitement d'au moins un exemple mettant en jeu plusieurs mécanismes de transferts thermiques est l'un des objectifs de cette leçon.

Rapport du jury 2016 : Le jury attend un bilan mettant en œuvre les divers types de flux.

Rapport du jury 2017 : Il ne faut pas oublier de faire des bilans thermiques dans cette leçon qui ne consiste pas en un catalogue des divers flux.

Bibliographie :

- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [110] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2009
- [31] Jean-Marie BRÉBEC. *Thermodynamique, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004
- [63] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique, cours et 136 exercices corrigés, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année MP-PSI-PC*. Dunod, 1997

Niveau : L2

Prérequis :

- Premier principe de la thermodynamique
- Rayonnement d'équilibre thermique du corps noir, loi de Planck

Objectifs :

- Mettre en évidence les trois principaux moyens d'échange de chaleur et les étudier au travers d'un exemple

- Résoudre l'équation de la chaleur en régime transitoire pour déterminer la distance à partir de laquelle la variation de température n'est plus un problème
- Étudier un dispositif de refroidissement d'un circuit électronique
- Estimer la température du globe à partir d'un modèle simplifié de la Terre

Plan

Introduction

Les transferts thermiques peuvent se produire de diverses manières mais ont toujours le même objectif : uniformiser la température entre les systèmes. Dans cette leçon, nous allons étudier au travers de divers exemple les trois moyens pour échanger de la chaleur.

1. Trois modes de transferts thermiques (OLIVIER [110])
 - Citer la conduction, la convection et le rayonnement
 - Étude de chacun d'entre eux sur un exemple dans la suite
2. Position des canalisations et des caves
 - a) Transfert thermique conductif (OLIVIER [110])
 - Bilan d'énergie local sur une barre en équilibre thermodynamique local
 - Expression du premier principe et démonstration de la loi de Fourier
 - Ordres de grandeurs de conductivités thermiques de différents matériaux
 - Équation de la chaleur
 - Ordres de grandeurs de coefficients de diffusion de différents matériaux
 - Discussion des échelles caractéristiques et de ces propriétés
 - b) Position du problème (OLIVIER [110], SANZ [133])
 - Les caves et les canalisations ne doivent pas souffrir des aléas climatiques
 - c) Résolution de l'équation de la chaleur et position des caves et canalisation (OLIVIER [110], SANZ [133])
 - Résolution de l'équation
 - Profondeur minimale pour les canalisations et les caves
3. Intérêt d'une ailette de refroidissement
 - a) Transfert thermique conducto-convectif (BRÉBEC [31], FAROUX [63])
 - Énoncer les deux types de convection, forcé et naturelle. Transport de matière
 - Justification du traitement du cas conducto-convectif à l'aide de la couche limite
 - Loi de Newton
 - b) Position du problème (BRÉBEC [31])
 - Refroidissement d'une surface chaude, application à l'électronique
 - c) Résolution et efficacité de l'ailette (BRÉBEC [31])
 - Bilan thermique sur l'ailette
 - Efficacité d'une ailette finie par rapport à une ailette infinie¹⁰
4. Estimation de la température terrestre
 - a) Transfert thermique par rayonnement, le cas du corps noir (SANZ [133])
 - Corps noir, conditions d'application et écarts à la réalité
 - Donner la loi de Planck et le graphique associé

10. Une étude d'une ailette est envisageable [106].

- En tirer les lois de Stefan et de Wien
- b) Position du problème (SANZ [133])
 - Une Terre sous un rayonnement solaire, qu'elle est sa température ?
- c) Modèle de la Terre sans atmosphère (SANZ [133])
 - Résolution du problème sans atmosphère, la température est bien trop basse
- d) Modèle de la Terre avec atmosphère (SANZ [133])
 - Résolution du problème avec atmosphère, la température est correcte
 - Vers un modèle plus complet ?

Conclusion

Cette leçon nous a permis de voir quelques applications des bilans thermiques. Nous comprenons que ces bilans sont dans le cas général compliqués à décrire, car faisant intervenir des moyens d'échanges divers. En effet, rien que le cas de l'atmosphère faisant intervenir que deux corps ne donne qu'une estimation de la température, et il faudrait sérieusement l'améliorer pour devenir météorologue.

1.20 Conversion de puissance électromécanique.

Rapport du jury 2015 : Il est souhaitable de préciser le rôle de l'énergie magnétique lors de l'étude des convertisseurs électromécaniques constitués de matériaux ferromagnétiques linéaires non saturés.

Rapport du jury 2016 : Afin de pouvoir aborder des machines électriques de forte puissance, le rôle essentiel du fer doit être considéré, car les forces électromagnétiques ne se réduisent pas aux seules actions de Laplace s'exerçant sur les conducteurs traversés par des courants.

Rapport du jury 2017 : Une approche à l'aide des seules forces de Laplace est insuffisante. Les candidats doivent aussi s'interroger sur l'intérêt d'utiliser des matériaux ferromagnétiques dans les machines électriques.

Bibliographie :

- [106] Christophe MORE. *Physique, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014
- [32] Pierre BRENDERS. *Electrotechnique, PSI*. Bréal, 2004
- [39] Stéphane CARDINI. *Physique, tout-en-un, PSI-PSI**. Dunod, 2014

Niveau : PSI

Prérequis :

- Magnétostatique dans les milieux ferromagnétiques
- Électromagnétisme de Maxwell
- Induction électromagnétique

Objectifs :

- Définir la force et l'énergie existant dans un entrefer de machine électromécanique
- Construire et étudier le fonctionnement d'une machine synchrone
- Généraliser son fonctionnement à la machine à courant continu

Plan

Introduction

La science relative aux machines tournantes date de la deuxième du XIXème siècle, ce qui en fait une science assez jeune. Pour rappel, la dynamo a été inventé en 1869 et la fin du XIXème siècle voit apparaître le transport de tensions continues et alternatives sur de grandes distances,

permettant l'essor de ces machines électromécaniques. Elles nous entourent aujourd'hui, elles sont utilisées comme moteurs (vibreurs de téléphones, trains...) ou comme génératrice (éoliennes, turbines...).

1. Force et énergie magnétiques
 - a) Hypothèses de l'étude
 - Matériau ferromagnétique non saturé et linéaire
 - Entrefer fait d'air
 - Conséquences sur les lignes de champ dans l'entrefer
 - b) Application au relais
 - Application des relais
 - Présentation du fonctionnement
 - Poser le résultat et discussion
2. La machine synchrone
 - a) Applications et construction d'une machine synchrone
 - Applications pour des moteurs de puissance et des alternateurs
 - Construction de la machine
 - Création d'un champ statorique à répartition sinusoïdale fixe
 - Champ statorique glissant
 - Champ rotorique
 - b) Fonctionnement d'une machine synchrone
 - Énergie magnétique dans l'entrefer
 - Couple de la machine et condition de synchronisme
 - Réversibilité
 - Avantages et inconvénients de la machine synchrone
3. La machine à courant continu
 - a) Applications et construction d'une machine à courant continu
 - Applications pour des moteurs de puissance et des alternateurs
 - Construction de la machine
 - Création des champs magnétiques
 - Nécessité d'avoir un collecteur
 - b) Fonctionnement d'une machine à courant continu
 - Couple et force électromotrice
 - Bilan de puissance en fonctionnement
 - Réversibilité
 - Avantages et inconvénients de la machine à courant continu

Conclusion

Cette leçon nous a permis de voir les fonctionnements des machines synchrone et à courant continu. Même si ces machines sont très répandues, une troisième espèce de machine électromécanique est de plus en plus utilisée, c'est la machine asynchrone. Cette machine combine les avantages des machines synchrone (la puissance passe dans le rotor, il n'y a donc pas de collecteur) et à courant continu (il n'y a pas de condition de synchronisme à satisfaire).

1.21 Induction électromagnétique.

Rapport du jury 2015 : L'algébrisation rigoureuse des grandeurs électriques et mécaniques est nécessaire lors de la paramétrisation.

Bibliographie :

- [92] Pierre KREMPF. *Électromagnétisme, MP*. Bréal, 2004
- [69] Christian GARING. *Magnétisme : statique, induction et milieux, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1999
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [73] Hubert GIÉ. *Électromagnétisme, 2e année, MP*-MP-PT*-PT*. Lavoisier, 1996

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell dans l'ARQS

Objectifs :

- Mettre en évidence le phénomène d'induction
- Étudier les deux régimes d'induction et voir qu'ils ne font qu'un
- Appliquer les résultats à trois exemples courants

Plan

Introduction

L'induction est un phénomène relevant d'une modification des équations de Maxwell en considérant un régime dynamique. Ce phénomène a de grandes applications dans la vie quotidienne, comme la charge des nouveaux téléphone, c'est ce que nous allons étudier durant cette leçon.

1. Phénomène d'induction et description

- a) Mise en évidence expérimentale (SANZ [133])
 - Mise en évidence avec une bobine et un oscilloscope
 - Bien exploiter, avec les sens de variation en fonction de l'approche
 - Montrer les deux cas Neumann et Lorentz, changement de référentiel
- b) Induction de Neumann (BELLANGER [18], KREMPF [92])
 - Définition et conditions d'application
 - Adaptation des équations de Maxwell
 - Champs et force de Neumann
 - Loi de Faraday et discussion
 - Loi de modération de Lenz et discussion
- c) Induction de Lorentz (BELLANGER [18], KREMPF [92])
 - Définition et conditions d'application
 - Changement de référentiel, obtention de nouveaux champs et forces
 - Poser la loi de Faraday et discussion
- d) Généralisation à tous les cas possibles (GIÉ [73])
 - Montrer que l'induction est un peu des deux phénomènes, et qu'ils sont cumulatifs

2. Applications

- a) Chute d'un aimant dans un conducteur (GARING [69])
 - Position du problème
 - Manip : Faire chuter deux aimants identiques dans deux tubes, l'un conducteur, l'autre non.

- Poser les équations et commenter
- b) Le transformateur (KREMPF [92])
 - Introduire la notion d'induction mutuelle
 - Position du problème
 - Manip : Faire un transformateur
 - Cas du transformateur parfait, idéal de tension
- c) Le haut-parleur (KREMPF [92])
 - Conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, sonore
 - Position du problème
 - Manip : Faire chanter un haut-parleur
 - Équations et solutions
 - Analyse énergétique et rendement

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié le phénomène d'induction, et nous avons vu des applications particulièrement utiles dans le cadre quotidien.

1.22 Rétroaction et oscillations.

Rapport du jury 2015 : Dans le cas des oscillateurs auto-entretenus, les conditions d'apparition des oscillations et la limitation de leur amplitude doivent être discutées.

Bibliographie :

- [21] Jean BERGUA. *Physique, PSI*. Bréal, 2004
- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [39] Stéphane CARDINI. *Physique, tout-en-un, PSI-PSI**. Dunod, 2014
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014
- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014

Niveau : L3

Prérequis :

- Notions d'oscillateurs
- Filtres linéaires
- Phénomènes d'émission et d'absorption de la lumière

Objectifs :

- Présenter le principe de rétroaction sur des oscillateurs électroniques
- Faire le lien avec un autre oscillateur : le laser

Plan

Introduction

On a vu les oscillations harmoniques qui du fait de l'amortissement ne sont pas très simples pour une utilisation quotidienne. Nous allons voir comment utiliser la rétroaction pour créer des oscillations dans différents domaines de la physique.

1. Rétroaction et systèmes bouclés
 - a) Amplificateur de différence intégré (BERGUA [21], OLIVIER [111])
 - Présentation de l'amplificateur opérationnel
 - Caractéristique de l'amplificateur
 - b) Rétroaction et synthèse d'un amplificateur (OLIVIER [111])

- Principe et réalisation de la rétroaction
 - Application à l'amplificateur non inverseur
 - Fonction de transfert et validation du modèle
 - Boucle fermée, formalisme et applications
2. Oscillateurs quasi-sinusoidaux
- a) Système bouclé auto-oscillant (CARDINI [39], BERGUA [21])
 - Schéma de principe du système bouclé auto-oscillant
 - b) L'oscillateur de Wien (CARDINI [39], BERGUA [21])
 - Présentation de l'oscillateur de Wien comme un amplificateur et un passe-bande
 - Fonction de transfert des deux blocs
 - Allure des signaux observés et discussion sur le rôle de chaque composant dans l'oscillateur
 - c) Condition d'auto-oscillation (CARDINI [39], BERGUA [21])
 - Conditions sur le gain et la fréquence en régime harmonique
 - d) Démarrage des oscillations (CARDINI [39], BERGUA [21])
 - Instabilité du système bouclé et démarrage des oscillations
 - Conditions sur la valeur des résistances pour que le système soit instable
 - Ordres de grandeur des valeurs possibles pour l'oscillateur
 - Visualisation du démarrage des oscillations et discussion sur les facteurs de démarrage
 - e) LASER et oscillations (SANZ [134])
 - Principe du LASER
 - Analogie électronique optique
3. Oscillateurs à relaxation
- a) Le vase de Tantale (PÉREZ [116])
 - Principe du vase de Tantale
 - Manip : Oscillations dans le vase de Tantale
 - Évolution de la hauteur d'eau en fonction du temps
 - Visualisation de l'hystérésis
 - b) Comparateur à hystérésis (CARDINI [39], BERGUA [21])
 - Comparateur à hystérésis positif
 - Fonctionnement et construction de la caractéristique
 - c) Application aux générateurs de signaux (CARDINI [39], BERGUA [21])
 - Association du comparateur à un intégrateur et bouclage
 - Description du fonctionnement
 - Observation d'un triangle et d'un créneau
 - Période d'oscillation
 - Application à la génération de signaux

Conclusion

La notion d'oscillateur transcende les domaines de la physique. Celle-ci peut être abordée en mécanique ou en électrocinétique, les oscillateurs sont toujours décrits par les mêmes équations. Ainsi, avec une rétroaction, il est possible de stabiliser ou déstabiliser un système en fonction de l'application souhaitée.

1.23 Traitement d'un signal. Étude spectrale.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon ne doit pas se réduire à un catalogue de systèmes de traitement analogique du signal. Elle peut aussi mettre en exergue des méthodes numériques enseignées notamment dans les programmes de CPGE.

Rapport du jury 2016 : Cette leçon ne peut en aucun cas se réduire à la simple étude de la théorie de Fourier.

Rapport du jury 2017 : Ce n'est pas une leçon sur le filtrage qui est attendue ; il ne faut pas se réduire à l'étude d'un ou plusieurs filtres électroniques.

Bibliographie :

- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [39] Stéphane CARDINI. *Physique, tout-en-un, PSI-PSI**. Dunod, 2014
- [129] Vincent RENVOIZÉ. *Physique, PSI-PSI*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010

Niveau : L2

Prérequis :

- Signaux harmoniques, signaux réels

Objectifs :

- Analyser un signal complexe
- Montrer qu'un filtre modifie la composition spectrale d'un signal

Plan

Introduction

Le traitement du signal a été tout d'abord utilisé pour la suppression d'un bruit noyant une information utile. Dans cette leçon, nous nous intéressons aux signaux périodiques et nous allons voir comment analyser de tels signaux.

1. Étude spectrale d'un signal
 - a) Signal périodique et analyse de Fourier (RENOVOIZÉ [129])
 - Transformée de Fourier
 - Manip : Acquisition d'un signal carré à l'ordinateur et FFT
 - Étude du spectre en fonction des propriétés du signal carré
 - Application au filtrage via la sélection d'une harmonique
 - b) Propriétés de la transformée de Fourier (RENOVOIZÉ [129])
 - Comportement lors de l'intégration et de la dérivée du signal
 - Cas d'une transformée de Fourier pour un signal non périodique
2. Filtrage linéaire analogique
 - a) Modélisation et fonction de transfert d'un filtre passe-bas (RENOVOIZÉ [129])
 - Réponse harmonique stable, absence de régime transitoire
 - Écritures sinusoidale et complexe du signal
 - Intégration et dérivation dans le cas harmonique
 - Fonction de transfert dans le cas général
 - Modélisation d'un filtre passe-bas RC
 - b) Diagramme de Bode (RENOVOIZÉ [129])
 - Définition du diagramme de Bode pour le gain et la phase
 - Application au filtre RC
 - Bande passante et fréquence de coupure

- c) Autres filtres linéaires (RENVOIZÉ [129])
 - Application aux filtres passe-haut et passe-bande
 - Exemples de filtres du premier ordre et du second ordre et risque de résonance
- 3. Filtrage numérique
 - a) Échantillonnage d'un signal analogique (OLIVIER [111], CARDINI [39])
 - Principe de l'échantillonneur bloqueur
 - b) Numérisation du signal (CARDINI [39])
 - Principe de numérisation du signal
 - Critère de Shannon et allure du résultat
 - Limitation du bruit
 - c) Filtrage numérique (CARDINI [39])
 - Principe du filtrage numérique
 - Applications et comparatif entre le filtrage analogique et numérique

Conclusion

Grâce à cette leçon, nous allons être capables d'expliquer la modulation et la démodulation d'amplitude, qui est une technique encore utilisée de transmission radio pour son faible coût énergétique.

1.24 Ondes progressives, ondes stationnaires.

Rapport du jury 2015 : Les candidats doivent être attentifs à bien équilibrer leur exposé entre ces deux familles d'ondes qui, d'ailleurs, ne s'excluent pas entre elles.

Bibliographie :

- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [28] Jean-Marie BRÉBEC. *Ondes, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004

Niveau : L2

Prérequis :

- Mécanique
- Électricité

Objectifs :

- Établir l'équation d'onde pour une corde et étendre le formalisme à tout milieu
- Mettre en évidence la propagation des ondes pour des OPPH
- Modéliser un câble coaxial et étudier les aspects énergétiques de la propagation d'une onde
- Étudier les ondes stationnaires et leur lien avec les ondes progressives

Plan

Introduction

Les ondes nous sont utiles pour transmettre de l'information. Une onde est la perturbation d'une grandeur physique qui se propage de proche en proche. Il existe différents types d'ondes, et dans cette leçon, nous allons nous attacher à décrire des ondes progressives qui peuvent transporter de l'information et les ondes stationnaires qui ont un formalisme particulier.

1. Équation de d'Alembert

- a) Étude d'une corde vibrante (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Manip : Mise en évidence de la propagation dans une corde
 - Description de la corde et modélisation
 - Approximations des petits angles et pesanteur négligée
 - Principe fondamental de la dynamique appliqué à un élément de longueur de la corde
 - b) Équation d'onde (BELLANGER [18])
 - Obtention de l'équation de d'Alembert
 - Généralisation à trois dimensions
 - Célérité dans le cas de la corde, ordres de grandeur
2. Solution de l'équation d'onde et ondes progressives
- a) Ondes planes, progressives et harmoniques (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Ondes progressives, solution de l'équation de d'Alembert
 - Définition, célérité et passage aux OPPH
 - Intérêt des OPPH et lien entre le temps et l'espace
 - Relation de dispersion
 - b) Modélisation d'un câble coaxial (BRÉBEC [28])
 - Modélisation du câble
 - Analogie électromécanique, grandeurs et équation d'onde associées
 - Impédance, définition et expression
 - Manip : Paquet d'onde dans un câble coaxial, intérêt de l'adaptation d'impédance
 - c) Aspects énergétiques (BRÉBEC [28])
 - Densité linéique et bilan d'énergie local
 - Vitesse de l'énergie
 - Onde qui permet d'avoir une propagation de l'information
3. Ondes stationnaires
- a) Formes des ondes stationnaires (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Recherche d'une autre solution de l'équation de d'Alembert
 - Forme des ondes stationnaires
 - Caractéristiques de ces ondes avec des ventres et des nœuds
 - Manip : Visualisation sur une corde de Melde
 - b) Ondes stationnaires et progressives (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Équivalences des descriptions en ondes plane et stationnaires
 - Critères sur l'onde réfléchie
 - c) Aspects énergétiques (BRÉBEC [28])
 - Retour sur le câble coaxial
 - Bilan d'énergie pour un ensemble d'ondes, cas de l'onde stationnaire
 - Absence de propagation d'énergie et donc pas de transport d'information

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié deux types d'onde et l'équation d'onde de d'Alembert. Nous avons étudié deux milieux qui peuvent être qualifiés de non dispersifs. Dans la prochaine leçon, nous allons généraliser le formalisme vu ici aux milieux dispersifs.

1.25 Ondes acoustiques.

Rapport du jury 2014 : Cette leçon peut être l'occasion de traiter les ondes acoustiques dans les fluides ou dans les milieux périodiques, certes, mais elle peut aussi être l'occasion de traiter les deux cas qui donnent lieu à des phénoménologies très différentes.

Rapport du jury 2017 : La contextualisation et des applications de la vie courante ne doivent pas être oubliées dans cette leçon qui se résume souvent à une suite de calculs. De plus, les fluides ne sont pas les seuls milieux dans lesquels les ondes acoustiques peuvent être étudiées.

Bibliographie :

- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC**, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés. Pearson, 2010
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [137] Laurent SARTRE. *Physique des ondes, PC-PSI*. Bréal, 2004
- [70] Christian GARING. *Ondes mécaniques et diffusion, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1998

Niveau : L2

Prérequis :

- Thermodynamique
- Physique des ondes
- Équation d'onde de d'Alembert et relation de dispersion
- Électromagnétisme de Maxwell
- Mécanique des fluides

Objectifs :

- Définir le formalisme lié aux ondes acoustiques et à l'approximation acoustique
- Caractériser les ondes acoustiques
- Lier les ondes acoustiques et leurs aspects énergétiques à l'audition humaine
- Étudier la réflexion à une interface et son application

Plan

Introduction

Nous utilisons les ondes acoustiques comme premier moyen de communication au travers de notre voix et de notre ouïe. Ces ondes présentent une particularité par rapport aux ondes électromagnétiques, elles nécessitent un milieu matériel pour se propager, ce milieu se déformant à son passage. Le formalisme associé à leur propagation est donc différent et va faire intervenir les grandeurs du milieu matériel qu'elles traversent.

1. Propagation des ondes acoustiques

- a) Modélisation des ondes acoustiques (SANZ [133])
 - Onde nécessitant un support matériel, cas des fluides
 - Couplage de la pression et du déplacement des particules de fluide
- b) L'approximation acoustique (BELLANGER [18], SANZ [133], SARTRE [137])
 - Caractéristiques du fluide au repos
 - Perturbation induite par l'onde sonore
 - Approximation acoustique et notion de pression acoustique
- c) Équation d'onde de l'onde acoustique (BELLANGER [18], SANZ [133], SARTRE [137])
 - Récapitulatif des inconnues du problème
 - Équations du système : conservation de la masse, hypothèse adiabatique et équation d'Euler

- Équation de d'Alembert pour la surpression due à l'onde
- Équation de d'Alembert pour la vitesse de l'onde
- d) Caractéristiques des ondes acoustiques (BELLANGER [18], SANZ [133], SARTRE [137])
 - Célérité du son et relation de dispersion
 - Discussion des formules et de l'hypothèse adiabatique
 - Ordres de grandeur des grandeurs dans l'air et dans les liquides
- 2. Énergétique des ondes acoustiques
 - a) Impédance acoustique (BELLANGER [18], SANZ [133], SARTRE [137])
 - OPPH acoustique
 - Nature longitudinale de l'onde
 - Expression de l'impédance acoustique
 - Application au gaz parfait diatomique
 - b) Vecteur densité de courant énergétique et bilan énergétique (BELLANGER [18], SANZ [133], SARTRE [137])
 - Méthode de calcul du vecteur densité de courant énergétique et expression locale du bilan d'énergie
 - Vecteur densité de courant énergétique
 - Bilan d'énergie et equipartition pour une OPPH acoustique
 - c) Intensité sonore (SANZ [133])
 - Définition de l'intensité sonore
 - Courbe des seuils d'audibilité et de douleur pour l'oreille humaine
 - Ordres de grandeur d'intensités sonores
- 3. Comportement à une interface
 - a) Réflexion et transmission (BELLANGER [18], SANZ [133], SARTRE [137])
 - Modélisation du problème d'une onde sonore à une interface
 - Continuité de la surpression à l'interface
 - Expression des ondes en surpression et en vitesse
 - Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude et discussion
 - Coefficients de réflexion et de transmission en énergie et discussion
 - Conservation de l'énergie sonore
 - b) applications de la réflexion des ondes acoustiques (BELLANGER [18], GARING [70])
 - Application à l'échographie, ordres de grandeur des impédances acoustiques des tissus vivants
 - Application à l'atténuation via une cloison

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié les ondes acoustiques et leur formalisme. Celui-ci permet d'étudier ces ondes et leurs nombreuses applications.

1.26 Propagation avec dispersion.

Rapport du jury 2015 : Le jury invite les candidats à réfléchir sur les notions de vitesse de groupe et de vitesse de l'énergie qui ne s'identifient pas forcément.

Rapport du jury 2016 : Il s'agit d'une leçon qui porte sur la dispersion et non sur la propagation.

Bibliographie :

- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [7] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP**. Lavoisier, 2014

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Équation d'onde de d'Alembert
- Relation de dispersion d'une onde électromagnétique dans le vide
- Modèle du câble coaxial sans perte
- Modèle du plasma dilué

Objectifs :

- Établir le formalisme de la dispersion dans un plasma dilué
- Discuter des vitesses de groupe et de phase
- Établir deux relations de dispersion
- Établir le formalisme de la dispersion dans le câble coaxial avec pertes

Plan

Introduction

Lors d'un orage, selon si on est proche ou loin de l'impact de la foudre, nous n'allons pas entendre le même son. Ceci est dû au caractère dispersif de l'air vis-à-vis du son. Ainsi, le son émis lors de l'impact va être déformé durant sa propagation dans l'air. C'est ce phénomène que nous nous proposons d'étudier dans cette leçon au travers de divers.

1. Interaction entre une onde électromagnétique avec un plasma dilué

- a) Interaction entre une OPPEMH avec un plasma (AUGIER [7], SANZ [133])
 - Définition rapide du plasma dilué et hypothèses, seuls les électrons ressentent la seule contribution du champ électrique de l'onde électromagnétique avec laquelle ils interagissent
 - Vitesse des électrons dans le plasma dilué
 - Densité volumique de courant et conductivité complexe
 - Poser la pulsation plasma et application numérique avec l'exemple de la ionosphère
- b) Relation de dispersion dans un plasma (AUGIER [7], SANZ [133])
 - Équations de Maxwell dans un plasma dilué
 - Équation d'onde, différente de celle du vide
 - Nouvelle relation de dispersion
 - Discussion des deux cas avec le vecteur d'onde imaginaire, l'onde est réfléchiée et apparition d'une onde évanescente et aucune propagation d'énergie, ou avec un vecteur d'onde réel, l'onde est transmise à la vitesse de phase
 - Formation d'un filtre passe-haut
 - Définition d'un milieu dispersif et conséquence sur la relation
- c) Ionosphère et transmission radio (AUGIER [7])
 - Ondes radios réfléchies ou non sur la ionosphère en fonction de leur domaine de fréquence

2. Paquet d'onde et milieu dispersif

- a) Notion de paquet d'onde et définition des vitesses (AUGIER [7])
 - Onde plane progressive harmonique non suffisante pour représenter la réalité, nécessité d'un paquet d'onde pour étudier les cas réels
 - Construction d'un paquet d'onde avec le formalisme de Fourier qui lie étalement spatial et fréquentiel

- Courbes pour montrer la propagation dans un paquet d'onde dans un milieu dispersif ou non
 - Nécessité d'une nouvelle vitesse pour la transmission de l'information, la vitesse de groupe
 - Développement limité au premier ordre de la pulsation par rapport au vecteur d'onde
- b) Retour sur le plasma dilué (AUGIER [7], SANZ [133])
- Calcul des vitesses de phase et de groupe dans le plasma dilué
 - Relation de dispersion de Klein-Gordon
 - Vitesse de phase supraluminique et vitesse de groupe inférieure à la vitesse de la lumière pour les pulsations supérieures à la vitesse de la lumière
 - Calcul de la vitesse de l'énergie dans le plasma, identique à la vitesse de groupe au premier ordre
3. Autre milieu dispersif, le câble coaxial
- a) Modèle du câble coaxial avec pertes (SANZ [133])
- Modèle du câble coaxial avec les conducteurs et diélectriques non idéaux
 - Relations de l'électrocinétique et équation d'onde
- b) Relation de dispersion (SANZ [133])
- Relation de dispersion avec une excitation sinusoïdale
 - Vecteur d'onde complexe, propagation avec atténuation
 - Manip : Câble coaxial soumis à une impulsion, déformation et atténuation du paquet d'onde, mesure de la vitesse dans le câble

Conclusion

Au travers de cette leçon et des deux exemples traités, nous avons vu le formalisme de la dispersion. Ceci nous a permis de mettre en évidence l'intérêt de la notion de paquet d'onde dans l'étude des systèmes par rapport à l'onde plane progressive harmonique. Ce formalisme est tout à fait général, et peut être appliqué en mécanique ou encore en thermodynamique lorsqu'il y a de la propagation.

1.27 Propagation guidée des ondes.

Rapport du jury 2014 : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de vitesse de groupe et à son cadre d'utilisation.

Bibliographie :

- [142] Richard TAILLET. *Optique physique : propagation de la lumière*. De Boeck, 2015
- [147] Florence WEIL. *Optique moderne : polarisation, lasers, fibres optiques, cours et exercices corrigés*. Ellipses, 2006
- [17] Éric BELLANGER. *Physique, MP-MP*-PT-PT**, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés. Pearson, 2010
- [132] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, MP-MP**. Dunod, 2009

Niveau : L3

Prérequis :

- Optique
- Électromagnétisme de Maxwell
- Physique des ondes

Objectifs :

- Mettre en évidence que le confinement d'une onde dans un guide permet son guidage
- Étudier les impacts de ce guidage sur l'onde
- Discuter des applications d'un guidage d'une onde porteuse d'information

Plan

Introduction

Pour transmettre une information, il faut un canal de transmission. Il est donc utile de se pencher sur la construction de ceux-ci. Pour un signal électrique, ce sont souvent des câbles électriques qui sont utilisés. Si le besoin de débit d'information est plus grand, on utilise alors des câbles coaxiaux et si cela ne suffit pas comme c'est le cas pour l'internet français actuellement, on change de domaine de fréquence et on utilise les ondes lumineuses et les fibres optiques.

1. Guidage d'une onde lumineuse par une fibre optique ¹¹
 - a) Propagation, mise en évidence (TAILLET [142], WEIL [147])
 - Manip : Mise en évidence de la propagation guidée d'une onde
 - Justification de l'emploi de fibres optiques à réflexion totale
 - Modélisation de la fibre optique à saut d'indice
 - Condition de réflexion totale et ouverture numérique
 - b) Modes et comportement ondulatoire de la lumière (WEIL [147])
 - Construction des modes par superpositions des ondes dans la fibre dans le cas géométrique
 - Optique ondulatoire et interférences dans la fibre
 - Condition pour une fibre monomodale
 - c) Absorption et diffusion dans la fibre (TAILLET [142], WEIL [147])
 - Sources d'absorption et de diffusion dans la fibre et conséquences
 - Solution pour limiter l'atténuation
 - Bande passante de la fibre
 - d) Applications des fibres optiques (TAILLET [142], WEIL [147])
 - Autres types de fibres optiques
 - Applications des fibres optiques
2. Guidage d'une onde électromagnétique par des conducteurs ¹²
 - a) Conducteurs et onde électromagnétique (SANZ [132])
 - Position du problème unidimensionnel
 - Équation d'onde pour le champ électrique
 - b) Champ électrique et conditions aux limites (SANZ [132], BELLANGER [17])
 - Conditions aux limites dans le cas d'une onde entre deux plans de conducteurs
 - Expression du champ électrique
 - c) Relation de dispersion et vitesse de l'onde (SANZ [132], BELLANGER [17])
 - Relation de dispersion
 - Recherche de la fréquence de coupure basse
 - Vitesses de phase et de groupe de l'onde
 - Aspects énergétiques et vitesse de l'énergie dans le guide d'onde

11. Cette partie doit être courte pour laisser la place au formalisme de la seconde partie.

12. Peut-être serait-il opportun d'échanger les places des parties 1 et 2, pour des raisons de clarté et de rapidité. En effet, le formalisme des ondes électromagnétiques dans le vide est bien connu, et ici, on ajoute le confinement. Et ensuite, il serait possible d'introduire la fibre optique et de faire des parallèles entre les résultats de l'électromagnétisme et ceux obtenus pour la fibre optique.

- d) Guide d'onde rectangulaire et modes de l'onde électromagnétique (SANZ [132], BELLANGER [17])
 - Position du problème avec une conduite de conducteurs parfaits de section rectangulaire
 - Influence sur les modes et la fréquence de coupure
 - Visualisation des modes possibles
 - Retour sur le choix des dimensions du guide d'onde

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu deux cas de confinement d'une onde porteuse d'une information dans un guide d'onde. Cela nous a permis de voir les notions de modes dus au confinement des ondes dans le guide, et leurs conséquences sur l'onde et son déplacement dans le guide. Les applications de ce cours sont nombreuses, en particulier pour le transport d'information à haut débit et à grande distance comme c'est actuellement le cas pour la fibre optique dans les câbles téléphoniques sous-marins ou les lignes téléphoniques qui nous donnent accès à internet.

1.28 Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques.

Rapport du jury 2017 : Cette leçon ne doit pas se limiter à un cours sur les milieux diélectriques ; cela n'en est pas l'objet.

Bibliographie :

- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC**, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés. Pearson, 2010
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [137] Laurent SARTRE. *Physique des ondes, PC-PSI*. Bréal, 2004
- [114] José-Philippe PÉREZ. *Électromagnétisme : fondements et applications, avec 300 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001

Niveau : L3

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Ondes électromagnétiques dans les milieux dispersifs
- Milieux diélectriques

Objectifs :

- Étudier l'interaction entre un diélectrique et les ondes électromagnétiques
- Étudier la réponse du matériau et le modèle de Lorentz
- Vérifier la loi de Beer-Lambert au travers des aspects énergétiques de la propagation de l'onde
- Vérifier la loi empirique de Cauchy par la théorie

Plan

Introduction

Après l'étude de la propagation des ondes électromagnétiques dans le vide et dans les milieux conducteurs, on s'intéresse à la propagation des ondes électromagnétiques dans les isolants.

1. Modèle du matériau diélectrique

- a) Polarisation d'un milieu (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Cas du milieu isolant sans charges libres
 - Définition d'un vecteur polarisation et d'une densité de courant de polarisation

- Relation sur la conservation de la charge
- Aperçu sur les différents types de polarisation pouvant exister dans les solides
- Manip : Condensateur d'Aepinus et mesure de la capacité avec un capacimètre en fonction un matériau diélectrique, lien avec la structure microscopique du matériau
- b) Susceptibilité complexe (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Définition de la susceptibilité complexe
 - Cas linéaire, homogène et isotrope
- 2. Propagation d'une onde électromagnétique dans un matériau diélectrique LHI
 - a) Modèle de l'électron élastiquement lié (BELLANGER [18])
 - Présentation des hypothèses
 - Principe fondamental de la dynamique appliqué à l'électron
 - Expression du vecteur polarisation et de la susceptibilité diélectrique complexe
 - Évolution des parties réelle et imaginaire en fonction de la pulsation d'excitation
 - b) Équations de Maxwell dans un matériau diélectrique LHI (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Expression des équations de Maxwell dans ce cas
 - c) Équation de propagation et relation de dispersion (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Calcul de l'équation de propagation dans un milieu diélectrique pour le champ électrique et magnétique
 - Étude de la structure de l'onde et relation de dispersion
 - Lien avec la permittivité complexe
- 3. Applications des ondes électromagnétiques dans les matériaux diélectriques
 - a) Retour sur la loi empirique de Cauchy (PÉREZ [114])
 - Expression de l'indice optique en fonction de la permittivité complexe
 - Démonstration de la loi de Cauchy
 - Manip : Dispersion de la lumière avec un prisme
 - b) Loi de Beer-Lambert (SARTRE [137])
 - Expression du vecteur de Poynting
 - Terme traduisant l'absorption du milieu

Conclusion

L'étude des ondes dans les milieux diélectriques rend compte du cas général de la transmission des ondes par voie aérienne. Elle permet donc de comprendre la transmission des ondes dans les matériaux, comme c'est par exemple le cas dans un câble coaxial.

1.29 Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon ne doit pas se réduire à la présentation exclusive du modèle de Drude. Les métaux ne sont pas les seuls milieux conducteurs.

Rapport du jury 2017 : Les analogies et différences observées entre les différents milieux étudiés méritent d'être clairement soulignées. Il est intéressant d'évoquer les aspects énergétiques.

Bibliographie :

- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [10] Anne-Emmanuelle BADEL. *Physique, tout-en-un, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Dunod, 2008
- [114] José-Philippe PÉREZ. *Électromagnétisme : fondements et applications, avec 300 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001

- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Loi d'Ohm
- Conduction dans les solides
- Interaction entre les ondes électromagnétiques et un plasma

Objectifs :

- Utiliser le modèle de Drude pour établir la loi d'Ohm locale et faire le lien avec le champ électrique dans le conducteur
- Établir l'équation de propagation d'une onde électromagnétique dans un conducteur
- Mettre en évidence une pulsation plasma et le lien existant avec l'ARQS de l'électromagnétisme
- Étudier le phénomène d'effet de peau et ses conséquences pratiques

Plan

Introduction

Les matériaux conducteurs sont utilisés pour transporter de l'énergie électrique. Ils présentent la particularité d'avoir des charges libres dans leur volume, spécificité qui a des conséquences sur leur comportement avec les ondes électromagnétiques. C'est ce que nous nous proposons d'étudier ici.

1. Modèle du matériau conducteur
 - a) Matériau conducteur et conductivité électrique
 - Définition du matériau conducteur
 - Modèle du conducteur parfait
 - b) Modèle de Drude et conductivité électrique
 - Modèle de Drude
 - Vitesse des électrons dans le conducteur
 - Lien avec la loi d'Ohm locale
 - Conductivité, définition et ordres de grandeur
 - Discussion de la loi linéaire, passe-bas et localité
 - c) Limites du modèle
 - Limite lorsque les électrons ont du retard par rapport à l'excitation imposée
 - Limite où la conductivité n'est plus linéaire
2. Propagation d'une onde électromagnétique dans un matériau
 - a) Équation de propagation d'une onde électromagnétique
 - Équations de Maxwell
 - Établissement de l'équation de propagation
 - b) Relation de dispersion
 - Discussion de la relation de dispersion dans le métal
 - Pulsation plasma du métal et lien avec le plasma
 - Condition pour que le métal soit neutre globalement
 - Lien avec l'ARQS de l'électromagnétisme
 - c) Aspects énergétiques
 - Dissipation énergétique pour les haute et basse fréquence devant la fréquence plasma du conducteur

3. Application à l'effet de peau

- a) Profondeur de pénétration de l'onde électromagnétique
 - Modèle du conducteur semi-infini
 - Profondeur de pénétration du champ dans le conducteur
 - Expression de la profondeur de peau
 - Ordre de grandeur d'épaisseur de peau usuelle
- b) Conséquences sur la conduction électrique
 - Caractère inductif de l'effet de peau
 - Conséquence sur les courants dans le conducteur
 - Retour sur les limites du conducteur parfait avec l'effet de peau

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié l'interaction entre les ondes électromagnétiques et les milieux conducteurs. Ceci a des conséquences sur l'électronique et explique en particulier pourquoi la résistance d'une bobine en régime permanent n'est pas la même qu'à haute fréquence. Par ailleurs, l'effet de peau vu ici est généralisable dès lors qu'une fréquence de coupure apparaît dans les équations différentielles.

1.30 Rayonnement dipolaire électrique.

Rapport du jury 2015 : Le sens physique des approximations réalisées, ainsi que les propriétés de symétrie des champs électrique et magnétique rayonnés, doivent être discutés. Cette leçon peut également être l'occasion de réfléchir à la stabilité de la matière.

Rapport du jury 2017 : La leçon ne doit pas se réduire à une suite de calculs.

Bibliographie :

- [7] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP**. Lavoisier, 2014
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Ondes électromagnétiques dans le vide

Objectifs :

- Discuter les hypothèses pour le modèle du rayonnement dipolaire
- Étudier le lien entre une charge accélérée et le rayonnement produit
- Mettre en évidence des applications d'un tel effet

Plan

Introduction

Pourquoi le ciel est-il bleu ? Nous allons poser les bases du formalisme permettant de donner une première explication à cette couleur si caractéristique.

1. Modèle du dipôle oscillant

- a) Modélisation du dipôle (AUGIER [7])
 - Modèle du dipôle comme deux charges
 - Définition du moment dipolaire du système

- b) Approximation dipolaire (AUGIER [7])
 - Échelles de longueurs existantes dans le problème
 - Approximation dipolaire non relativiste
- 2. Rayonnement de dipôles
 - a) Position du problème (BELLANGER [18])
 - Ensemble de charges accélérées en interaction
 - b) Potentiels donnés par un ensemble de charges (BELLANGER [18])
 - Expression du potentiel vecteur retardé en un point d'observation
 - Simplification avec les approximations
 - c) Champs rayonnés à grande distance (BELLANGER [18], AUGIER [7])
 - Calcul du champ magnétique pour un unique dipôle
 - Simplification pour une zone lointaine
 - Dédution de l'expression du champ électrique dans une zone lointaine
 - Discussion de l'expression des champs, en particulier par rapport aux champs créés par des charges fixes ou en mouvement non accéléré
 - d) Analyse énergétique (BELLANGER [18])
 - Expression du vecteur de Poynting et puissance rayonnée
 - Discussion du sens du transfert d'énergie et de l'expression de la puissance
- 3. Applications des dipôles rayonnants
 - a) Antennes et rayonnement (BELLANGER [18], AUGIER [7])
 - Diagramme de rayonnement en puissance d'un dipôle simple et discussion des symétries
 - Lien avec une antenne linéaire
 - b) Diffusion Rayleigh et couleur du ciel (AUGIER [7], SANZ [133], HOUARD [86])
 - Approche documentaire sur la couleur du ciel
 - Modèle de l'électron élastiquement lié
 - Couleur du ciel et Soleil couchant
 - Manip : Soleil couchant

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons introduit un nouveau concept : la polarisation des ondes électromagnétiques. Cette notion fera l'objet d'une prochaine leçon.

1.31 Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat.

Rapport du jury 2014 : La leçon doit illustrer ce que le principe de Fermat apporte de plus que les lois de la réfraction et de la réflexion. Les analogies avec d'autres principes variationnels sont appréciées.

Rapport du jury 2017 : Les applications à des systèmes optiques réels sont trop souvent absentes de cette leçon.

Bibliographie :

- [61] Jean-Pierre FAROUX. *Optique : optique géométrique et optique physique, cours et 94 exercices corrigés, 1re et 2e années, MP-PC*. Dunod, 1998
- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [16] Tamer BECHERRAWY. *Optique géométrique : cours et exercices corrigés*. De Boeck, 2006

- [117] José-Philippe PÉREZ. *Optique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2004
- [81] Philippe GRILLOT. « Approche quantitative du brachistochrome ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 897 (2007)

Niveau : L2

Prérequis :

- Optique géométrique dans les milieux linéaires, homogènes et isotropes
- Lois de Snell-Descartes

Objectifs :

- Mettre en évidence le manque d'information dans la seule optique géométrique des milieux linéaires, homogènes et isotropes
- Étudier le principe de Fermat et ses apports à l'optique géométrique
- Retrouver les lois de l'optique géométrique au travers du principe de Fermat
- Appliquer le principe de Fermat aux milieux stratifiés

Plan

Introduction

L'optique géométrique a été introduite au travers des milieux linéaires, homogènes et isotropes. Ce type de milieux est souvent adéquat pour décrire les milieux dans lesquels le physicien travaille, comme l'air par exemple, mais il est réducteur. En effet, des phénomènes surprenant peuvent survenir, comme les mirages, et la théorie que nous connaissons n'est pas capable de les expliquer. Nous allons donc introduire le principe de Fermat pour apporter une réponse à ce problème.

1. Fondamentaux de l'optique géométrique
 - a) Le mirage
 - Manip : Faire un mirage avec un LASER pour montrer un rayon non rectiligne
 - Limite de l'optique géométrique dans les milieux linéaires, homogènes et isotropes (MLHI)
 - Nécessité d'une nouvelle théorie
 - b) Rayon lumineux et chemin optique (FAROUX [61], BECHERRAWY [16])
 - Définition du rayon lumineux
 - Définition du chemin optique à partir du rayon lumineux
 - c) Principe de Fermat (BECHERRAWY [16], GRILLOT [81])
 - Énoncé du principe de Fermat
 - Insister sur la stationnarité du rayon lumineux et discussion physique de la formule
 - Lien avec d'autres domaines de la physique et en particulier la mécanique avec le problème de brachistochrone
2. Retour sur les lois de l'optique géométrique
 - a) Cas d'un matériau homogène, linéaire et isotrope (PÉREZ [117], BECHERRAWY [16])
 - Caractère rectiligne de la propagation de la lumière dans un MLHI
 - Principe du retour inverse de la lumière
 - b) Lois de Snell-Descartes (PÉREZ [117], BECHERRAWY [16])
 - Démonstration de la loi de la réfraction
 - Donner la loi de la réflexion
3. Applications du principe de Fermat

- a) Équation différentielle des rayons (FAROUX [61], BECHERRAWY [16])
 - Donner l'équation des rayons lumineux
- b) Propagation de la lumière dans les milieux stratifiés (BECHERRAWY [16])
 - Problème des milieux stratifiés
 - Loi de Snell-Descartes et cas des lames infiniment minces d'indice continu
 - Retour sur le mirage et explication du phénomène
- c) Application à la fibre à gradient d'indice (BECHERRAWY [16])
 - Inconvénients de la fibre à saut d'indice lié à la perte d'énergie du signal
 - Propagation dans la fibre à gradient d'indice à l'aide du principe de Fermat

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu un nouveau formalisme pour décrire les rayons lumineux et l'optique géométrique. Celui-ci peut être généralisé à bien des domaines de la physique au travers de la définition de lagrangiens et la minimisation de fonctions sous contraintes et est utile pour décrire des variations continues d'indice optique dans les milieux.

1.32 Microscopies optiques.

Rapport du jury 2015 : Un développement rigoureux et suffisamment complet d'au moins une technique est souhaité.

Rapport du jury 2016 : Une technique récente de microscopie optique à haute résolution doit être présentée.

Rapport du jury 2017 : L'intérêt des notions introduites doit être souligné.

Bibliographie :

- [1] Lionel AIGOUY. *Les nouvelles microscopies, à la découverte du nanomonde*. Belin, 2006
- [20] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement. Tome I, optique, mécanique, fluides, transferts thermiques*. Dunod, 2012
- [117] José-Philippe PÉREZ. *Optique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2004
- [130] Francis ROUESSAC. *Analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales*. Dunod, 2016
- [45] Luc DETTWILLER. *Les instruments d'optique : étude théorique, expérimentale et pratique*. Ellipses, 2002
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011

Niveau : L2

Prérequis :

- Optiques géométrique et ondulatoire
- Fluorescence des molécules

Objectifs :

- Étudier le microscope
- Présenter un type de microscopie plus récent basé sur la fluorescence

Plan

Introduction

L'œil est un instrument qui nous est très utile, il est performant, mais il est limité pour voir le très loin et le très petit. C'est pour cela que depuis des siècles, l'homme cherche à construire

des instruments d'optique permettant de palier à ce manque. Pour cela, nous allons étudier ici les moyens à notre disposition pour voir le très petit.

1. De la loupe au microscope

- a) La loupe, un premier instrument simple (SEXTANT [141], DETTWILLER [45])
 - Schéma et principe de la loupe
 - Calcul du grossissement et de la puissance
- b) Limites de la loupe (SEXTANT [141], DETTWILLER [45])
 - Limitations de la loupe, accommodation et relativement faible puissance

2. Le microscope

- a) Description du microscope (HOUARD [86], DETTWILLER [45], BELLIER [20])
 - Présentation d'un microscope réel
 - Types d'objectifs et d'oculaires
 - Ordres de grandeur des grandeurs pour les microscopes historiques et d'aujourd'hui
 - Schéma et principe du microscope à deux lentilles
 - Manip : Construire un microscope à deux lentilles
 - Présentation de l'oculaire comme une loupe
- b) Caractéristiques de l'instrument (HOUARD [86], DETTWILLER [45], PÉREZ [117])
 - Calcul du grossissement, de la puissance et du grossissement commercial
 - Définition de l'ouverture numérique et moyens pour améliorer celle-ci
 - Latitude de mise au point et profondeur de champ
- c) Limite de résolution (PÉREZ [117], DETTWILLER [45])
 - Calcul de la limite de résolution
 - Options disponibles pour l'améliorer

3. Microscopie par fluorescence

- a) Principe de la fluorescence (ROUESSAC [130])
 - Rappel du principe de la fluorescence
 - Nécessité d'un rayonnement d'excitation
- b) Adaptation du microscope à cette technique (AIGOUY [1])
 - Principe du microscope utilisant la fluorescence
 - Rôle de chaque organe
- c) Avantages et inconvénients (AIGOUY [1])
 - Visualisation de micrographies par fluorescence
 - Application au PALM (microscopie par localisation photo-activée)

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié deux montages optiques pour distinguer des petits objets. Malgré tout, l'optique ondulatoire et la diffraction limitent la résolution des appareils et la microscopie moderne vise à trouver des voies pour aller au-delà de cette limite.

1.33 Interférences à deux ondes en optique.

Rapport du jury 2015 : L'exposé doit permettre de préciser clairement les contraintes particulières que l'optique impose aux dispositifs interférentiels par rapport à d'autres domaines.

Rapport du jury 2016 : Les approximations mises en œuvre dans les calculs de différence de marche doivent être justifiées a priori .

Bibliographie :

- [83] Eugene HECHT. *Optique*. Pearson, 2005
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Optiques géométrique et ondulatoire

Objectifs :

- Étudier l'interaction de deux ondes électromagnétiques en un point de l'espace
- Mettre en évidence la notion d'interférences et les conditions pour les obtenir
- Étudier le dispositif des trous d'Young et caractérisation de la figure obtenue
- Voir deux applications des interférences

Plan

Introduction

Dans une précédente leçon, la lumière a été présentée comme une onde au travers de l'optique ondulatoire. Ce formalisme permet d'étudier la superposition de deux ondes ou plus en un point de l'espace. C'est cette possibilité que nous allons étudier ici pour mettre en évidence le phénomène d'interférence à deux ondes.

1. Sources multiples et interférences
 - a) Optique et photorécepteurs (SEXTANT [141])
 - Comparatif des temps de cohérence des sources usuelles et des photorécepteurs
 - Sensibilité au carré de l'amplitude du champ électrique
 - b) Éclairement d'un point par deux sources (HECHT [83], BELLANGER [18])
 - Superposition de deux ondes représentées par leur champ électrique vectoriel
 - Expression du terme d'interférence
 - Passage au modèle scalaire
 - Condition d'interférence sur la fréquence des champs électriques
 - c) Phénomène d'interférence (HECHT [83], BELLANGER [18])
 - Cas de deux sources d'intensité égales
 - Interférences constructives et destructives
 - Ordre d'interférence et fonction contraste
2. Conditions d'interférence
 - a) Notion de cohérence temporelle (HECHT [83], BELLANGER [18])
 - Modèle des trains d'onde et condition d'interférence
 - Lien avec le spectre de la source, un besoin d'une source primaire unique
 - Cas du LASER
 - b) Notion de cohérence spatiale (HECHT [83], BELLANGER [18])
 - Influence de l'élargissement de la source sur la figure d'interférences
 - Condition d'interférence
 - c) Interférences et polarisation des ondes lumineuses (HECHT [83])
 - Lois de Fresnel-Arago
 - Condition d'interférence sur la polarisation
3. Systèmes interférentiels
 - a) Trous et fentes d'Young (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Manip : Fentes d'Young éclairées par une fente source fine ou un LASER

- Présentation du dispositif
- Calcul de l'éclairement pour les trous de Young sur l'écran à l'aide d'un développement limité
- Généralisation aux fentes d'Young
- b) Caractérisation de la figure d'interférence (BELLANGER [18], SANZ [133])
 - Calcul de l'interfrange
 - Position des franges sombres et brillantes
- 4. Applications des interférences et des systèmes interférentiels
 - a) Vélocimétrie LASER ¹³
 - b) Spectroscopie par interférométrie à division du front d'onde (BELLANGER [18])
 - Source ayant deux raies, cas du sodium
 - Incidence sur le spectre
 - Calcul de l'écart en longueur d'onde

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié les interférences à deux ondes au travers de l'interférométrie à division du front d'onde. Cette interférométrie nécessite une source primaire ponctuelle, chose qui limite grandement la luminosité des figures d'interférences observées. Pour améliorer cela, il faut considérer l'utilisation de sources étendues, et de l'interférométrie à division d'amplitude.

1.34 Interférométrie à division d'amplitude.

Rapport du jury 2015 : Les notions de cohérence doivent être présentées.

Rapport du jury 2016 : La distinction entre divisions du front d'onde et d'amplitude doit être précise. Le jury rappelle que l'utilisation d'une lame semi-réfléchissante ne conduit pas nécessairement à une division d'amplitude.

Rapport du jury 2017 : Le candidat doit réfléchir aux conséquences du mode d'éclairage de l'interféromètre (source étendue, faisceau parallèle ou non...). Il est judicieux de ne pas se limiter à l'exemple de l'interféromètre de Michelson.

Bibliographie :

- [142] Richard TAILLET. *Optique physique : propagation de la lumière*. De Boeck, 2015
- [29] Jean-Marie BRÉBEC. *Optique ondulatoire, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004
- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009

Niveau : L2

Prérequis :

- Optique ondulatoire et interférences
- Interférométrie à division du front d'onde

Objectifs :

13. Une application intéressante des interférences est la vélocimétrie LASER, mais aucune référence n'a été trouvée pour étayer cette sous-partie. Cette technique consiste à faire interférer un faisceau lumineux à l'endroit où se déplace un objet brillant (le plus souvent dans un fluide) et à regarder les flashes réfléchis lors de ses passages dans une frange brillante. Ainsi, les interférences agissent comme une règle lumineuse très précise, et l'accès à la mesure de vitesse est très simple.

- Présenter l'interférométrie à division d'amplitude comme une interférométrie qui résout les problèmes de cohérence spatiale de l'interférométrie à division du front d'onde
- Étudier l'interféromètre de Michelson en lame d'air et en coin d'air
- Étudier l'interféromètre de Fabry-Pérot
- Voir les applications de ces interféromètres à division d'amplitude

Plan

Introduction

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

1. Interférométrie avec des sources étendues (BRÉBEC [29])
 - Cas des sources étendues et conséquences sur les interférences
 - Rappel de la relation du non brouillage de la figure d'interférence
 - Nécessité de l'interférométrie à division d'amplitude
 - Condition de non-brouillage et localisation des interférences
2. Interféromètres à faces parallèles
 - a) L'interféromètre de Michelson (SANZ [133], BELLANGER [18], HOUARD [86])
 - Principe de l'interféromètre
 - Schéma équivalent
 - Localisation et forme de la figure d'interférence
 - Application : Lien avec les anneaux de Newton
 - b) L'interféromètre de Fabry-Pérot (TAILLET [142], BELLANGER [18], HOUARD [86])
 - Principe de l'interféromètre
 - Localisation et forme de la figure d'interférence
 - Application : Traitements antireflets
3. Interféromètre à faces non-parallèles (SANZ [133], BELLANGER [18])
 - Schéma équivalent
 - Localisation et forme de la figure d'interférence
 - Application : Explication des couleurs sur les bulles de savon

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons étudié l'interférométrie à division d'amplitude. Ce que nous avons gagné en luminosité, nous l'avons perdu sur la localisation de la figure d'interférence qui complique la visualisation de la figure. Ces interféromètres sont présents dans de nombreuses applications, dans le domaine de la spectroscopie bien sûr, mais aussi pour la détection des ondes gravitationnelles par exemple.

1.35 Diffraction de Fraunhofer.

Rapport du jury 2014 : Les conditions de l'approximation de Fraunhofer doivent être clairement énoncées. Pour autant, elles ne constituent pas le cœur de la leçon.

Rapport du jury 2017 : Les conditions de Fraunhofer et leurs conséquences doivent être présentées, ainsi que le lien entre les dimensions caractéristiques d'un objet diffractant et celles de sa figure de diffraction.

Bibliographie :

- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [110] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2009
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997

Niveau : L2

Prérequis :

- Optiques géométrique et ondulatoire
- Interférences à N ondes
- Transformée de Fourier

Objectifs :

- Mettre en évidence la diffraction et voir ce qu'elle implique sur les instruments d'optique
- Définir les conditions de la diffraction de Fraunhofer et établir son formalisme sur quelques cas simples
- Faire apparaître la diffraction de Fraunhofer comme une interférence à N ondes

Plan

Introduction

La diffraction a été étudiée pour la première fois au XVII^{ème} siècle par l'italien Grimaldi. Elle peut être facilement observée par la diffraction d'un rayon laser par une fente fine (manip introductive). On parle de diffraction lorsque les lois de l'optique géométrique ne sont pas respectées. La diffraction est un problème important en particulier dans les montages d'optique tels que les télescopes ou les microscopes. Le critère de Rayleigh nous donne, pour une ouverture circulaire : la limite de résolution est atteinte lorsque la distance angulaire séparant deux taches de diffractions pour deux sources proches est atteinte lorsque la distance angulaire qui sépare deux taches de diffraction (appelées taches d'Airy) est supérieure au rayon du disque d'Airy. C'est pourquoi la diffraction limite la résolution des instruments d'optique, il faut donc en tenir compte.

1. Diffraction à l'infini

- a) Principe de Huygens-Fresnel
 - Définition du principe de Huygens-Fresnel
 - Expression de l'onde diffractée par une pupille quelconque
- b) Diffraction à l'infini et différence de marche
 - Définition de la diffraction de Fraunhofer
 - Grandeur intéressante : différence de marche relative entre deux rayons
 - Calcul de la différence de marche
 - Expression de l'onde diffractée par la pupille
- c) Réalisation des conditions de Fraunhofer
 - Réalisation pratique des conditions de Fraunhofer

2. Applications de la diffraction à l'infini

- a) Diffraction par une ouverture rectangulaire ou circulaire
 - Calcul de l'éclairement issu de la diffraction d'une onde lumineuse par une ouverture rectangulaire
 - Discussion de la forme de la figure de diffraction : la tache centrale est l'image géométrique de l'ouverture et plus l'ouverture est fine, plus la diffraction sera importante
 - Cas limites de la fente large sans diffraction et de la fente fine
 - Résultat pour une ouverture circulaire

- Discussion de la forme de la figure de diffraction avec la tache d'Airy
- b) Transmittance complexe et théorème de Babinet¹⁴
 - Introduction de la transmittance complexe pour les systèmes simples¹⁵
 - Modification de l'expression de l'amplitude de l'onde diffractée pour introduire la transmittance complexe
 - Théorème de Babinet
 - Retour sur la fente fine et figure de diffraction pour un cheveu

Conclusion

Durant cette leçon, nous avons étudié la diffraction au sens de Fraunhofer. Bien que la notion de diffraction à l'infini semble réductrice, c'est elle qui intervient la majeure partie du temps dans les instruments d'optique.

1.36 Diffraction par des structures périodiques.

Rapport du jury 2015 : Il est important de bien mettre en évidence les différentes longueurs caractéristiques en jeu.

Rapport du jury 2017 : Il faut traiter de diffraction par des structures périodiques et pas seulement d'interférences à N ondes.

Bibliographie :

- [128] Cédric RAY. *La physique par les objets quotidiens*. Belin, 2014
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [117] José-Philippe PÉREZ. *Optique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2004
- [70] Christian GARING. *Ondes mécaniques et diffusion, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1998
- [3] Neil W. ASHCROFT. *Physique des solides*. EDP Sciences, 2002

Niveau : L3

Prérequis :

- Diffraction de Fraunhofer par une fente
- Diffraction par les fentes d'Young
- Notions de cristallographie

Objectifs :

- Mettre en évidence les paramètres importants de la diffraction des réseaux
- Généraliser l'étude de la diffraction par des réseaux en optiques à d'autres domaines de la physique

Plan

Introduction

Nous avons étudié la diffraction de Fraunhofer par une fente, on veut illustrer l'intérêt de multiplier le nombre de fentes. On s'intéresse au domaine de l'optique pour poser le cadre de l'étude, pour ensuite généraliser aux autres domaines de la physique.

1. Le réseau plan en optique

14. Il est possible d'ajouter le filtrage spatial à cette partie.

15. Attention à la définition donnée ici, elle existe sous deux formes !

- a) Caractéristiques du réseau optique (BELLANGER [18], PÉREZ [117])
 - Principe du réseau plan
 - Manip : Éclairer un réseau avec une lampe spectrale dans les conditions de Fraunhofer
 - Éclairement dans les conditions de Fraunhofer
 - Ordres de grandeur des longueurs d'onde et des réseaux employés
 - b) Clairement donné par un réseau de N fentes (BELLANGER [18], PÉREZ [117])
 - Calcul de l'éclairement donné par le réseau
 - Courbe de l'éclairement en fonction de l'angle à l'axe optique
 - Discussion de la formule
 - Formule des réseaux
 - c) Application à la spectrométrie (BELLANGER [18])
 - Utilisation du réseau en spectrométrie
 - Critère de Rayleigh et pouvoir de résolution du spectromètre
2. L'échographie
- a) Principe de l'échographie (RAY [128])
 - Principe de l'échographie, avec l'interaction entre les ultrasons et les tissus
 - Construction de l'image à partir des impulsions reçues
 - Un besoin d'un faisceau directif
 - b) Construction d'un faisceau d'ultrason (GARING [70])
 - Analogie avec le réseau en optique
 - Construction d'un « réseau » de transducteurs
 - Formule de l'intensité en fonction de l'angle à la normale
 - c) Focalisation du faisceau (GARING [70])
 - Focalisation du faisceau avec un déphasage
 - Intérêt pour fixer la profondeur de prospection
3. Diffraction des rayons X pour l'étude des cristaux
- a) Modélisation du problème (ASHCROFT [3])
 - Modélisation du cristal
 - Rayons X, définition et énergie
 - b) Formulation de Bragg et de von Laue (ASHCROFT [3])
 - Condition de Bragg pour la diffraction
 - Approche de von Laue
 - Équivalence des deux approches
 - c) Application à la caractérisation d'une maille cristalline (ASHCROFT [3])
 - Application de la diffraction des rayons X

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons montré comment obtenir des informations sur les diffractants à partir de la figure de diffraction.

1.37 Absorption et émission de la lumière.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon peut être traitée de façons très variées, mais il est bon que les candidats aient réfléchi aux propriétés des diverses formes de rayonnements émis, aux dispositifs exploitant ces propriétés et au cadre théorique permettant de les comprendre.

Rapport du jury 2017 : Cette leçon ne peut se résumer à une présentation des relations d'Einstein.

Bibliographie :

- [36] Bernard CAGNAC. *Physique atomique 1, Atomes et rayonnement : interactions électromagnétiques*. Dunod, 2005
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014
- [85] Daniel HENNEQUIN. *Les lasers, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2013

Niveau : L2

Prérequis :

- Notion d'atome et de quantification de l'énergie des niveaux électroniques
- Notion de photon et dualité onde-corpuscule pour la lumière
- Optique ondulatoire

Objectifs :

- Présenter les trois processus élémentaires d'émission et d'absorption de la lumière dont un original
- Introduire l'effet LASER

Plan

Introduction

La lumière est un objet qui est souvent manipulé par le physicien et qui peut être modélisée de multiples manières. Une des modélisations possible, le photon, fait lien avec la nature quantique de l'atome et des niveaux discrets d'énergie dû au confinement de celui-ci. Nous allons donc étudier les divers moyens d'émission de la lumière et l'absorption de celle-ci.

1. Phénomènes spontanés et stimulés

- a) Atome à deux niveaux et interaction rayonnement-matière (SANZ [134], HENNEQUIN [85])
 - Modèle de l'atome à deux niveaux et population des niveaux
 - Description corpusculaire du rayonnement
 - Énergie du photon
- b) Absorption de la lumière (SANZ [134], HENNEQUIN [85], CAGNAC [36])
 - Absorption de la lumière dans le cas monochromatique
 - Coefficient d'Einstein pour l'absorption
 - Variation de la population des niveaux par ce processus
- c) Émission spontanée (SANZ [134], HENNEQUIN [85], CAGNAC [36])
 - Émission spontanée de la lumière dans le cas monochromatique
 - Coefficient d'Einstein pour l'émission spontanée
 - Variation de la population des niveaux par ce processus
 - Propriété du rayonnement émis
 - Ordres de grandeur du coefficient d'Einstein pour diverses sources lumineuses
- d) Émission stimulée (SANZ [134], HENNEQUIN [85], CAGNAC [36])
 - Justification du besoin d'un phénomène d'émission supplémentaire
 - Émission stimulée de la lumière dans le cas monochromatique
 - Coefficient d'Einstein pour l'émission stimulée
 - Variation de la population des niveaux par ce processus
 - Propriété du rayonnement émis
- e) Évolution temporelle des populations (SANZ [134], CAGNAC [36])
 - Bilan d'occupation des niveaux d'énergie de l'atome
 - Cas monochromatique

2. LASER, principe et fonctionnement

- a) Principe de fonctionnement (HENNEQUIN [85], CAGNAC [36])
 - Principe de fonctionnement du LASER
 - Avantage d'une cavité
- b) Amplification d'un rayonnement et inversion de population (SANZ [134], HENNEQUIN [85], CAGNAC [36])
 - Amplification, lien avec l'émission stimulée
 - Bilan de population à l'équilibre thermique
 - Nécessité de l'inversion population, mais impossible pour un système à deux niveaux
- c) LASER à 3 niveaux (HENNEQUIN [85])
 - Cas du LASER à ruby
 - Hypothèse et résolution du problème
 - Inversion de population et effet LASER possibles
- d) Application du LASER au refroidissement d'atomes
 - Caractère corpusculaire de la lumière
 - Principe et intérêt de la méthode
 - Application des atomes froids

Conclusion

Nous avons présenté les trois phénomènes d'absorption et d'émission de la lumière dont un très original qu'est l'émission stimulée. La fluorescence est un phénomène aussi spectaculaire qui sera étudié dans une prochaine leçon.

1.38 Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.

Rapport du jury 2015 : Le jury apprécie des illustrations décrivant des mécanismes récents impliquant des interactions lumière-matière.

Bibliographie :

- [36] Bernard CAGNAC. *Physique atomique 1, Atomes et rayonnement : interactions électromagnétiques*. Dunod, 2005
- [57] Claude FABRE. *Introduction à la physique moderne : relativité et physique quantique, cours et exercices*. Dunod, 2015
- [108] Christian NGÔ. *Physique quantique : introduction, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2000
- [100] Jean-Marc LÉVY-LEBLOND. *Quantique : rudiments*. Dunod, 2007
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Dynamique relativiste
- Optique ondulatoire et interférences

Objectifs :

- Mettre en évidence le besoin d'un quantum d'énergie lumineuse
- Introduire la notion de photon
- Étudier les grandeurs caractéristiques de cet objet
- Faire le lien entre elles et des expériences historiques
- Étudier les conséquences sur une expérience d'interférences lumineuses

Plan

Introduction

La lumière a déjà été étudiée au travers de l'optique géométrique et ondulatoire. Cette première prévoit un trajet suivant des rayons lumineux et la seconde permet de considérer la lumière comme étant une onde. Cependant, des faits expérimentaux suggèrent que la lumière en réalité composée de grain, les photons.

1. Faits expérimentaux et notion de photon
 - a) De la mesure de la distance Terre-Lune à la notion de quanta de lumière (FABRE [57], NGÔ [108])
 - Principe de la mesure de la distance Terre-Lune
 - Nécessité de la notion de photon pour expliquer les résultats expérimentaux
 - b) Lumière, photons et détection (FABRE [57], NGÔ [108])
 - Ordres de grandeur : Lien entre le nombre de photon et les sources conventionnelles
 - Détection des photons, possibilité de détecter des photons uniques
2. Propriétés du photon
 - a) Énergie du photon (FABRE [57], LÉVY-LEBLOND [100], NGÔ [108])
 - Expérience de l'effet photoélectrique, résultats expérimentaux
 - Dédution de l'énergie d'un photon
 - Énergie du photon et relation de Planck-Einstein
 - b) Impulsion et pression de radiation (FABRE [57], CAGNAC [36], NGÔ [108])
 - Pression de radiation par un faisceau lumineux
 - Impulsion du photon et relation de De Broglie
 - Lien avec la dynamique relativiste
 - c) Moment cinétique du photon (CAGNAC [36])
 - Moment cinétique du photon
 - Lien avec la polarisation
3. Expérience d'interférences par des photons
 - a) Cas prévu par l'électromagnétisme (SANZ [133], FABRE [57])
 - Rappel de la forme de la figure dans le cas classique
 - b) Phénomène avec une source de photon unique (FABRE [57])
 - Description de la construction de la figure d'interférence avec la source de photon unique
 - Discussion du phénomène

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu le lien entre le photon vu comme une particule et l'onde électromagnétique qui le représente. Cette notion a été introduite par un besoin de compréhension que ne pouvait pas fournir l'électromagnétisme de Maxwell, et elle est utile dès lors qu'il y a un besoin d'exploiter le caractère corpusculaire de la lumière.

1.39 Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.

Rapport du jury 2015 : Les dispositifs interférométriques avec les ondes de matière ne se résument pas aux expériences du type fentes d'Young.

Rapport du jury 2017 : Un exposé sans présentation de l'équation de Schrödinger ne paraît pas raisonnable.

Bibliographie :

- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014
- [57] Claude FABRE. *Introduction à la physique moderne : relativité et physique quantique, cours et exercices*. Dunod, 2015
- [14] Jean-Louis BASDEVANT. *Mécanique quantique*. Éd. de l'École polytechnique, 2001

Niveau : L2

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Optique ondulatoire et interférences

Objectifs :

- Mettre en évidence l'aspect ondulatoire de la matière avec une expérience mettant en défaut la vision classique de la physique
- Établir la notion de fonction d'onde, son formalisme et ses propriétés
- Établir le principe d'incertitude d'Heisenberg avec le formalisme de Fourier

Plan

Introduction

La fin du XXème siècle est une période charnière pour la physique. Deux théories dites classiques se partagent la description des phénomènes observés, la mécanique de Newton et l'électromagnétisme de Maxwell. Ces lois permettent, par une bonne connaissance des conditions initiales, de déterminer l'évolution d'un système physique. Malgré tout, quelques expériences mettent en défaut ces deux théories, nous pouvons citer en particulier la non-existence de l'éther et l'effet photoélectrique. L'explication de ces expériences sera donnée par une nouvelle branche de la physique, celle de la mécanique relativiste et de la mécanique quantique.

1. Caractère ondulatoire de la matière

- a) Le rayonnement, entre onde et corpuscule (OLIVIER [111], FABRE [57])
 - Rappel du caractère corpusculaire de la matière et de la relation de De Broglie
 - Caractère ondulatoire de la matière probable
- b) Interférences atomiques (OLIVIER [111], SANZ [134], FABRE [57])
 - Expérience d'interférence de la matière avec le biprisme de Fresnel version électronique
 - Mesure de l'interfrange et calcul de la longueur d'onde via l'interfrange et la relation de De Broglie
 - Construction progressive de la figure d'interférence, caractère probabiliste de la figure
 - Visualisation avec un autre système interférentiel et un autre corps
 - Nécessité de décrire la matière via un formalisme ondulatoire

2. Notion de fonction d'onde

- a) Fonction d'onde (SANZ [134], OLIVIER [111], BASDEVANT [14])
 - Construction de la fonction d'onde par analogie avec l'électromagnétisme
 - Notion de probabilité de présence, de densité de probabilité de présence et de normalisation de la densité de probabilité de présence
 - Cas unidimensionnel
 - Principe de superposition des fonctions d'onde
- b) Interprétation probabiliste (SANZ [134], BASDEVANT [14])
 - Interprétation probabiliste de la fonction d'onde
 - Lien avec la figure d'interférence

3. Description d'une particule

- a) Descriptions de particules et notion de paquet d'onde (OLIVIER [111], SANZ [134])
 - Description d'un flux de particule sous la forme d'une onde plane progressive harmonique
 - Limite de cette représentation
 - Notion de paquet d'onde
- b) Principe d'incertitude d'Heisenberg (SANZ [134], BASDEVANT [14])
 - Présentation du paquet d'onde de manière analogue à une transformée de Fourier
 - Principe d'incertitude en espace et en temps
 - Lien avec la structure spatiale du paquet d'onde

Conclusion

Nous avons pu voir durant cette leçon le comportement ondulatoire de la matière. Grâce à une expérience mettant en défaut la physique classique. Le prochain pas dans la mécanique quantique portera sur l'étude d'une particule dans un puits de potentiel et l'évolution temporelle des systèmes quantiques. Ce nouveau formalisme ne doit pas mettre en retrait la physique classique qui reste valable pour les corps de grande dimension.

1.40 Confinement d'une particule et quantification de l'énergie.

Rapport du jury 2015 : Cette leçon peut être l'occasion de développer des arguments qualitatifs et des calculs simples permettant de donner des ordres de grandeur dans des domaines divers de la physique avant d'envisager des applications élaborées.

Rapport du jury 2016 : Le lien entre le confinement et la quantification doit être explicite.

Rapport du jury 2017 : Cette leçon est une leçon de physique et ne doit donc pas se limiter à des calculs.

Bibliographie :

- [14] Jean-Louis BASDEVANT. *Mécanique quantique*. Éd. de l'École polytechnique, 2001
- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [58] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 1, Point et systèmes de points, 1re année, MPSI-PCSI, cours et 162 exercices corrigés*. Dunod, 1996

Niveau : L2

Prérequis :

- Notions de photon et de fonction d'onde
- Principe d'incertitude d'Heisenberg
- Équation de Schrödinger stationnaire
- Étude de la corde de Melde
- Électromagnétisme de Maxwell

Objectifs :

- Mettre en évidence la notion de quantification et son incidence historique sur le modèle de l'atome
- Étudier le comportement d'une particule dans un puits de potentiel
- Voir quelques conséquences du confinement des particules

Plan

Introduction

Certaines grandeurs varient continûment en physique et d'autres de manières discrètes. C'est en quantique où la notion de quantification de certaines grandeurs physiques est la plus visible. En effet, nous allons voir que l'énergie est une grandeur quantifiée si la particule formant le système étudié est confinée.

1. Du spectre de raie à la fonction d'onde
 - a) Spectre de raie de l'hydrogène (SEXTANT [141])
 - Manip : Spectre de raie d'une lampe à hydrogène
 - Spectre de raie, rayonnement à des longueurs d'onde fixées
 - b) Le modèle atomique de Bohr (FAROUX [58])
 - Besoin d'adapter de manière empirique le modèle planétaire de l'atome
 - Modèle atomique de Bohr, les orbites sont définies
2. Confinement d'une particule
 - a) Puits de potentiel infini (SANZ [134], BASDEVANT [14])
 - i. Modélisation d'un puits de potentiel infini
 - Modélisation d'un puits de potentiel infini
 - Expression du potentiel dans l'espace
 - Cas classique, pas de quantification nécessaire
 - Cas quantique, hypothèses et résolution de l'équation d'onde stationnaire
 - ii. Solutions du puits de potentiel infini
 - Solutions qui quantifient l'énergie
 - Tracer les courbes
 - Commentaires sur la physique du phénomène, en particulier l'énergie non-nulle du niveau fondamental et les discontinuités de la fonction d'onde et de ses dérivées
 - Ordres de grandeur pour les électrons et les nucléons
 - Manip : Corde de Melde, lien avec les ondes, analogie et différences
 - b) Puits de potentiel fini (SANZ [134], BASDEVANT [14])
 - Modélisation d'un puits de potentiel infini
 - Fonctions d'onde et solutions, modification par effet tunnel
 - Niveaux d'énergie et états liés et de diffusion
 - Profondeur de pénétration de la fonction d'onde dans le puits, lien avec l'effet tunnel et l'électromagnétisme
3. Retour sur le modèle de Bohr
 - a) Modèle de Bohr et quantification
 - Condition de quantification de Bohr
 - b) Lien entre l'optique et la mécanique quantique
 - Accord du modèle de Bohr et de la formule de Balmer
 - Quantification des niveaux d'énergie

Conclusion

Le confinement d'objets physiques présente des conséquences originales. Ceci est général à toutes les branches de la physique. En effet, lors de l'étude des ondes guidées, des notions de modes et de quantification apparaissent traduisant le confinement de l'onde dans un espace restreint.

1.41 Effet tunnel.

Rapport du jury 2015 : Trop de candidats pensent que l'effet tunnel est spécifique à la physique quantique.

Rapport du jury 2017 : Encore une fois, il ne s'agit pas de se limiter à des calculs. L'exposé doit présenter l'analyse d'applications pertinentes.

Bibliographie :

- [14] Jean-Louis BASDEVANT. *Mécanique quantique*. Éd. de l'École polytechnique, 2001
- [43] Claude COHEN-TANNOUJJI. *Mécanique quantique. Tome I*. Hermann, 1977
- [100] Jean-Marc LÉVY-LEBLOND. *Quantique : rudiments*. Dunod, 2007
- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014

Niveau : L2

Prérequis :

- Équation de Schrödinger stationnaire et sa résolution
- Théorie ondulatoire, dualité onde corpuscule et équation d'onde

Objectifs :

- Étudier le comportement d'un objet au contact d'une marche et d'une barrière de potentiel
- Calculer un facteur de transmission et de réflexion
- Étudier deux applications de l'effet tunnel, le microscope à effet tunnel et la molécule d'ammoniac

Plan

Introduction

L'effet tunnel joue un rôle fondamental en physique, il permet d'expliquer le fonctionnement d'objets technologiques et de comprendre certains phénomènes physiques jusque-là inexplicables. Parmi les applications, nous pensons naturellement à la diode à effet tunnel ou le microscope à effet tunnel, mais nous pouvons aussi interpréter la liaison chimique covalente et la radioactivité alpha avec ce mécanisme.

1. L'effet tunnel

- a) Mise en évidence, le microscope à effet tunnel (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Explication du principe de fonctionnement du microscope à effet tunnel
 - En l'absence de contact physique, un courant passe
 - Effet quantique
- b) Particule face à une marche de potentiel (LÉVY-LEBLOND [100], BASDEVANT [14])
 - Expression du potentiel dans l'espace
 - Cas classique, réflexion
 - Hypothèses pour le cas quantique
 - Résolution de l'équation de Schrödinger stationnaire et coefficients en amplitude des ondes réfléchi et transmise, il y a une onde évanescence
 - Calcul du coefficient de réflexion en énergie
- c) Particule face à une barrière de potentiel (LÉVY-LEBLOND [100], BASDEVANT [14], SANZ [134])
 - Expression du potentiel dans l'espace
 - Expressions des fonctions d'onde dans les trois domaines de l'espace

- Calcul des coefficients en amplitude des ondes et du coefficient de transmission en énergie
- Ordres de grandeur du coefficient de transmission en énergie en fonction des paramètres de la particule et de la barrière de potentiel

2. Applications

- a) Retour sur le microscope à effet tunnel (SANZ [134], OLIVIER [111])
 - Lien entre la physique vu et le principe du microscope à effet tunnel
 - Applications du microscope à effet tunnel, montrer une image
- b) Étude d'un double puits de potentiel
 - i. Modèle de la molécule d'ammoniac (BASDEVANT [14], COHEN-TANNOUDJI [43], OLIVIER [111])
 - Modèle de la molécule d'ammoniac
 - Expression du potentiel dans l'espace
 - Lien entre la forme de la molécule et la forme du potentiel pour les atomes d'hydrogènes
 - ii. Fonctions d'ondes du système (BASDEVANT [14])
 - Expressions et allures des fonctions d'onde symétrique et antisymétrique dans les trois domaines de l'espace
 - iii. Niveaux d'énergie (BASDEVANT [14])
 - Niveaux d'énergie dans l'approximation d'une barrière épaisse
 - iv. Effet tunnel (BASDEVANT [14], COHEN-TANNOUDJI [43], OLIVIER [111])
 - Construction des états droite et gauche par combinaison linéaire des fonctions d'onde
 - Évolution temporelle du système, pulsation de l'oscillation et effet MASER

Conclusion

Le formalisme établi ici peut servir à expliquer d'autres phénomènes que ceux développés ici tels que la liaison covalente ou la radioactivité alpha.

1.42 Fusion, fission.

Rapport du jury 2014 : Cette leçon peut être abordée de manières diverses, mais on peut raisonnablement s'attendre à ce que les candidats aient quelques notions sur la structure et la cohésion nucléaire, les formes de radioactivité et les interactions mises en jeu, les réacteurs nucléaires, le confinement magnétique.

Rapport du jury 2017 : Un exposé purement descriptif des réactions de fusion et de fission nucléaires est insuffisant.

Bibliographie :

- [145] Luc VALENTIN. *Physique subatomique : noyaux et particules*. Hermann, 1982
- [99] Claude LE SECH. *Physique nucléaire : des quarks aux applications*. Dunod, 2014
- [41] Pierre CHARLES. *Énergie nucléaire : fission et fusion, niveau L3*. Ellipses, 2007

Niveau : L2

Prérequis :

- Approche de la radioactivité au lycée
- Physique atomique

Objectifs :

- À partir de l'étude du noyau, expliquer le principe, les avantages et les inconvénients de la fusion et de la fission

Plan

Introduction

On a présenté au lycée la vallée de stabilité des noyaux, on veut l'interpréter et ainsi montrer le lien avec la fusion et la fission. Deux réactions nucléaires qui interviennent dans les procédés de production d'énergie électrique.

1. Autour du noyau

- a) Caractérisation de l'atome
 - Caractéristiques du noyau
 - Nombre de protons et de neutrons
 - Dimensions
- b) Interactions dans le noyau
 - Forces dans le noyau
 - Cohésion et stabilité des noyaux
- c) Énergie de stabilisation et stabilité
 - Défaut de masse du noyau
 - Courbe d'Aston

2. Fission nucléaire

- a) Fission, définition
 - Noyau instable, le nombre de nucléon cherche à diminuer
 - Exemple d'une réaction de fission
- b) Les différentes formes de radioactivité
 - Formes de radioactivité par fission : alpha, bêta
- c) Aspects énergétiques d'une réaction nucléaire
 - Exemple d'une réaction de fission
 - Calcul de l'énergie libérée par une réaction de fission
 - Comparaison par rapport à une combustion parfaite
- d) La centrale nucléaire
 - Principe de fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisé
 - Aspects énergétiques et puissance d'un réacteur

3. Fusion nucléaire

- a) Fusion, définition
 - Noyau stable qui peut encore être plus stable
 - Exemple d'une réaction de fusion
- b) Réaction de fusion et confinement magnétique
 - Exemple d'une réaction de fusion
 - Calcul de l'énergie libérée par une réaction de fusion
 - Lien avec les étoiles et le Soleil
 - Température du plasma, lien avec ITER et le confinement magnétique
- c) Comparaison entre la fusion et la fission
 - Bilan par comparaison entre la fusion et la fission
 - Bilan énergétique et technologique

Conclusion

La fusion et la fission constituent deux voies pour produire de l'énergie. Les controverses économiques et technologiques liées à la fusion ralentissent son exploitation et ouvre sur d'autres possibilités pour produire de l'énergie électrique.

1.43 Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux.

Rapport du jury 2015 : Il est étonnant de voir cette leçon s'appuyer sur les états stationnaires sans aucun élément de justification. L'évolution d'un système quantique en régime forcé est trop souvent totalement négligée.

Rapport du jury 2017 : Il est intéressant que les candidats s'appuient sur un exemple de système quantique à deux niveaux d'énergie pour construire cette leçon.

Bibliographie :

- [14] Jean-Louis BASDEVANT. *Mécanique quantique*. Éd. de l'École polytechnique, 2001
- [43] Claude COHEN-TANNOUDJI. *Mécanique quantique. Tome I*. Hermann, 1977

Niveau : L3

Prérequis :

- Électromagnétisme de Maxwell
- Mécanique quantique :
 - Notion de fonction d'onde
 - Effet tunnel
 - Description de la molécule d'ammoniac avec l'effet tunnel

Objectifs :

- Modéliser un système quantique à deux niveaux
- Utiliser un formalisme matriciel pour un problème dans un espace de Hilbert à deux dimensions
- Étudier l'interaction quantique de la molécule d'ammoniac avec des champs électriques
- Mettre en évidence l'effet MASER et les oscillations de Rabi
- Application du formalisme au MASER et ses applications

Plan

Introduction

Dans cette leçon nous allons mettre en évidence l'importance du couplage entre deux états d'un système en mécanique quantique.

1. Passage de la statique à la dynamique quantique (COHEN-TANNOUDJI [43], BASDEVANT [14])
 - a) Expression de l'équation de Schrödinger
 - b) Lien entre fonction d'onde et observable
2. Molécule d'ammoniac et MASER
 - a) Modélisation de la situation (COHEN-TANNOUDJI [43], BASDEVANT [14])
 - Modélisation quantique de la molécule d'ammoniac
 - Deux positions, une droite, une gauche
 - Deux états, un symétrique, un antisymétrique
 - b) Représentation quantique du système (COHEN-TANNOUDJI [43], BASDEVANT [14])
 - Passage à un système à deux niveaux de plus basse énergie
 - Formalisme matriciel de l'hamiltonien
 - c) Interaction avec un gradient de champ électrique (COHEN-TANNOUDJI [43], BASDEVANT [14])
 - Interaction d'un dipôle avec un champ électrique statique
 - Influence d'un champ électrique statique sur la molécule
 - Influence d'un gradient de champ électrique stationnaire sur la molécule

- Forces appliquées sur la molécule en champ faible
- d) Interaction avec un champ électrique oscillant (BASDEVANT [14])
 - Interaction de la molécule avec un champ électrique oscillant
 - Effet MASER
 - Oscillations de Rabi et probabilité de passage d'un état à l'autre
 - Condition de probabilité maximale et sélectivité en fréquence
- e) Application au MASER (BASDEVANT [14])
 - Présentation du dispositif du MASER
 - Lien avec tous les résultats précédents pour la sélection des états et pour la résonance
 - Modes de fonctionnement du MASER

Conclusion

L'évolution temporelle des systèmes quantiques est utile aux chimistes en RMN, pour déterminer la structure des molécules chimiques. Cette étude fera l'objet d'une prochaine leçon avec les oscillations de Rabi.

1.44 Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques.

Rapport du jury 2015 : Le lien entre capacité thermique et fluctuations thermiques peut être développé et doit, dans tous les cas, être maîtrisé.

Rapport du jury 2017 : Le jury invite les candidats à réfléchir aux conditions d'utilisation du théorème d'équipartition de l'énergie. Des explications rigoureuses de l'évolution expérimentale des capacités thermiques en fonction de la température sont attendues.

Bibliographie :

- [46] Bernard DIU. *Éléments de physique statistique*. Hermann, 1989
- [47] Bernard DIU. *Thermodynamique*. Hermann, 2007
- [109] Christian NGÔ. *Physique statistique : introduction, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2008

Niveau : L3

Prérequis :

- Thermodynamique
- Étude des gaz parfaits classique
- Ensemble canonique

Objectifs :

- Donner la définition des capacités thermiques pour différents états de la matière

Plan

Introduction

Les capacités thermiques sont des données importantes pour les ingénieurs. En effet, celles-ci permettent de prévoir le dimensionnement de structures, et de faire un choix de matériaux ou de fluides dans les machines que nous utilisons.

1. Thermodynamique statistique et capacités thermiques

- a) Définition de la capacité thermique (DIU [47])
 - Définition de la capacité thermique à partir de la variation d'entropie et de l'énergie interne

- Vérifier l'extensivité de la capacité thermique à volume constant
- b) Relation entre les capacités thermiques (DIU [47])
 - Coefficients de dilatation et de compressibilité
 - Relation de Mayer
 - Adaptation de cette relation au gaz parfait
- c) Capacités thermiques en thermodynamique statistique (NGÔ [109])
 - Modélisation de la molécule d'oxyde d'azote comme un système à deux niveaux
 - Calcul de la fonction de partition et de l'énergie moyenne
 - Lien énergie interne et énergie moyenne
 - Expression de la capacité thermique du système
 - Mise en évidence de la possibilité de déterminer la capacité à partir d'une description microscopique
- 2. Capacités thermiques pour les gaz
 - a) Théorème de l'équipartition de l'énergie (NGÔ [109], DIU [46])
 - Énoncé du théorème d'équipartition de l'énergie
 - Lier les degrés de liberté quadratiques à l'énergie moyenne du système
 - b) Gaz parfait quantique monoatomique (DIU [46])
 - Hamiltonien quantique du gaz parfait monoatomique
 - Lien entre l'expression de l'hamiltonien et le théorème d'équipartition
 - Retour sur le résultat classique
 - c) Gaz parfait quantique diatomique (DIU [46])
 - Hamiltonien quantique du gaz parfait diatomique
 - Lien entre l'expression de l'hamiltonien et le théorème d'équipartition
 - Retour sur le résultat classique
 - d) Température et degrés de liberté (DIU [46])
 - Bilan entre degrés de liberté quadratiques et l'énergie du système
- 3. Capacités thermiques pour les solides
 - a) Capacité thermique dans les solides (DIU [46])
 - Constataion expérimentale de l'évolution de la capacité thermique en fonction de la température
 - Un premier modèle, loi de Dulong-Petit
 - b) Modèle d'Einstein (DIU [46])
 - Besoin d'un modèle plus avancé
 - Cas de l'interaction entre les atomes dans le solide
 - Fonction de partition et capacité thermique du système
 - Comparaison avec l'expérience et limites du modèle
 - Ouverture vers le modèle de Debye

Conclusion

Pour affiner le modèle présenté ici pour les capacités thermiques des solides, il faudrait prendre en compte les électrons de conduction pour le cas des conducteurs.

1.45 Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen.

Rapport du jury 2015 : Le moment magnétique, son image semi-classique et son ordre de grandeur doivent être maîtrisés. De même, le lien avec l'ordre de grandeur de l'aimantation d'un aimant doit être connu.

Bibliographie :

- [46] Bernard DIU. *Éléments de physique statistique*. Hermann, 1989
- [63] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique, cours et 136 exercices corrigés, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année MP-PSI-PC*. Dunod, 1997
- [42] Nicolas CHOIMET. *Thermodynamique, PC-PSI*. Bréal, 2001
- [114] José-Philippe PÉREZ. *Électromagnétisme : fondements et applications, avec 300 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001

Niveau : L3

Prérequis :

- Physique statistique
- Physique quantique
- Magnétostatique

Objectifs :

- Étudier l'origine microscopique des effets magnétiques
- Étudier le paramagnétisme et l'une de ces applications au travers de la physique statistique
- Étudier en prolongement le ferromagnétisme, et la transition de cet état à l'état paramagnétique

Plan

Introduction

Les corps magnétiques ont des propriétés originales. Un courant peut les mettre en mouvement ; ils sont donc particulièrement intéressants. Pour parfaire leur compréhension, nous nous proposons d'étudier la cause microscopique de ces effets, et ensuite de distinguer deux cas, le paramagnétisme et le ferromagnétisme.

1. Origine microscopique du magnétisme¹⁶
 - a) Moment magnétique d'un atome (PÉREZ [114])
 - Description classique d'un atome avec un électron orbitant autour d'un noyau
 - Introduction du rapport gyromagnétique en l'absence de champ extérieur
 - Cas d'un atome polyélectronique
 - b) Moment magnétique orbital et quantique (PÉREZ [114])
 - Passage à la limite semi-classique
 - Introduction du magnéton de Bohr et du magnéton nucléaire
 - Les aspects magnétiques sont dus aux électrons
 - c) Moment magnétique de spin et total d'un atome (PÉREZ [114])
 - Notion de spin de l'électron et moment magnétique de spin
 - Moment magnétique total de l'atome, facteur de Landé
2. Paramagnétisme
 - a) Description du problème (PÉREZ [114], FAROUX [63])
 - Origine microscopique
 - Exemples de corps paramagnétiques
 - b) Fonction de partition du système (DIU [46])

16. Cette partie est à faire rapidement, vu que le contenu physique intéressant se trouve dans la suite. Ceci étant, il est important de savoir d'où viennent ces effets !

- Écriture de l'hamiltonien du système
- Écriture de la fonction de partition canonique du système pour N particules indépendantes
- c) Contenu physique et loi de Curie (DIU [46], FAROUX [63])
 - Aimantation du système comme une dérivée de la fonction de partition
 - Discussion physique et mise en avant de la compétition désordre thermique-ordre magnétique
 - Obtention de la loi de Curie pour les basses températures
 - Ordres de grandeur de quelques susceptibilités magnétiques
- d) Désaimantation adiabatique (DIU [46], FAROUX [63])
 - Calcul de l'entropie du système avec les énergies interne et libre
 - Désaimantation adiabatique, et expliquer le phénomène une courbe illustrative (FAROUX [63])

3. Ferromagnétisme

- a) Description du problème
 - Origine microscopique
 - Exemples de corps ferromagnétiques
 - Ordres de grandeur de quelques susceptibilités magnétiques
- b) Approximation du champ moyen et fonction de partition du système
 - Écriture de l'hamiltonien du système, il est insoluble analytiquement
 - Approximation du champ moyen, et nouvel hamiltonien
- c) Contenu physique
 - Donner l'équation de l'aimantation, formule auto-cohérente avec le champ moyen effectif
 - Résolution graphique en champ nul et existence de deux solutions au-dessus d'une température critique
- d) Transition de phase para-ferromagnétique (PÉREZ [114], FAROUX [63])
 - Manip : Clou chauffé à la flamme
 - Variation de l'aimantation en fonction de la température
 - Développement de Landau au voisinage de la température critique avec l'énergie libre
 - Exposant critique et loi de Curie-Weiss

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons étudié les origines microscopiques des phénomènes magnétiques intéressants pour le physicien que sont le paramagnétisme et le ferromagnétisme. Il reste maintenant à étudier le comportement macroscopique de ces corps pour pouvoir, à terme, comprendre leur usage dans les machines électromécaniques.

1.46 Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques.

Rapport du jury 2015 : Le principe de fonctionnement du circuit électrique utilisé pour présenter un cycle d'hystérésis doit être connu.

Rapport du jury 2016 : Un bilan de puissance soigné est attendu.

Rapport du jury 2017 : L'introduction des milieux linéaires en début de leçon n'est pas judicieuse.

Bibliographie :

- [32] Pierre BRENTERS. *Electrotechnique, PSI*. Bréal, 2004
- [49] Etienne DU TRÉMOLET DE LACHEISSERIE. *Magnétisme. Tome II, Matériaux et applications*. EDP Sciences, 1999
- [106] Christophe MORE. *Physique, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014
- [88] Michel JANNIN. « Cycle d'hystérésis magnétique ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 651 (1983)
- [104] A. MEYER. « Substances et matériaux magnétiques ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 554 (1973)

Niveau : L3

Prérequis :

- Origine microscopique du magnétisme
- Électromagnétisme de Maxwell dans les milieux

Objectifs :

- Lier les propriétés magnétiques des corps aux équations de Maxwell dans les milieux
- Trouver une grandeur permettant de discriminer les différents corps magnétiques
- Étudier le cycle d'hystérésis d'un transformateur et les propriétés du noyau ferromagnétique
- Mettre en évidence deux applications du ferromagnétisme

Plan

Introduction

Les corps ferromagnétiques sont connus depuis la Grèce antique. Dès cette époque, les propriétés de ces corps sont étudiées. Aujourd'hui, nous les utilisons pour des applications technologiques diverses, mais pour pouvoir les employer au mieux, il faut les caractériser.

1. Caractéristiques du ferromagnétisme

- a) Champ magnétique, excitation magnétique et aimantation (BRENTERS [32], MORE [106])
 - Définition des grandeurs H , B et M et la relation qui les lie
 - Rappel de l'origine microscopique de l'aimantation
 - Équations de Maxwell dans la matière
 - Nécessité de modifier Maxwell-Ampère et Maxwell-Faraday
 - Décomposition de l'excitation magnétique comme une somme de deux champs magnétiques
 - Nécessité d'une relation constitutive entre H et M pour la résolution des équations
- b) Comportement magnétique de la matière (BRENTERS [32], MEYER [104])
 - Cas des milieux linéaires et isotropes, diamagnétisme et paramagnétisme
 - Relation constitutive pour ces matériaux
 - Ordres de grandeurs pour leur susceptibilité magnétique
 - Cas des milieux non linéaires et isotropes, ferromagnétisme
 - Propriétés, température de Curie, bloc de Weiss

2. Aimantation d'un corps ferromagnétique

- a) Cycle d'hystérésis d'un transformateur (BRENTERS [32], MORE [106], JANNIN [88])
 - Hypothèses de travail
 - Dispositif expérimental pour le cycle d'hystérésis
 - Formules pour remonter à H et B

- Tracé de la courbe, phénomène d'hystérésis et irréversibilité
- b) Étude du ferromagnétique (BRENDERS [32], MORE [106])
 - Saturation magnétique du fer
 - Aimantation rémanente et aimants permanents
 - Champ coercitif
 - Caractérisation de ferromagnétique doux ou dur
 - Désaimantation du noyau de fer et courbe de première aimantation
- c) Étude énergétique et pertes fer (BRENDERS [32], MORE [106])
 - Bilan de puissance instantanée et moyenne dans le primaire du transformateur
 - Aire dans le cycle d'hystérésis liée aux pertes fer
 - Origines des pertes fer

3. Applications du ferromagnétisme

- a) Modèle du transformateur parfait (BRENDERS [32])
 - Présentation du modèle
 - Rapport de transformation et intérêt pour le physicien
 - Écarts à la réalité et limites du modèle
- b) Paléomagnétisme (DU TRÉMOLET DE LACHEISSERIE [49])
 - Interaction magnétisme terrestre et objets ferromagnétiques
 - Moyen d'investigation pour faire de l'archéologie

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié les caractéristiques des corps ferromagnétiques. Nous avons aussi détaillé un exemple qui est très important pour les hommes modernes, le transformateur. Tout aussi important, les moteurs électriques ont aussi besoin de ces matériaux pour canaliser au mieux les lignes de champ magnétique qui permettent à ces machines de fonctionner.

1.47 Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.

Rapport du jury 2014 : Dans la présentation du modèle de Drude, les candidats doivent être attentifs à discuter des hypothèses du modèle, en particulier celle des électrons indépendants. Le jury se permet par ailleurs de rappeler aux candidats que les solides ne sont pas tous métalliques.

Rapport du jury 2017 : Cette leçon ne concerne pas que la conduction dans les métaux.

Bibliographie :

- [3] Neil W. ASHCROFT. *Physique des solides*. EDP Sciences, 2002
- [91] Charles KITTEL. *Physique de l'état solide, cours et problèmes*. Dunod, 2007
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009
- [114] José-Philippe PÉREZ. *Électromagnétisme : fondements et applications, avec 300 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001

Niveau : L2

Prérequis :

- Électrostatique et magnétostatique
- Électricité
- Mécanique
- Théorie cinétique des gaz

Objectifs :

- Construire un modèle classique pour expliquer la conduction électrique dans les solides
- Faire le lien entre le domaine microscopique et la loi d'Ohm
- Mettre en évidence les différences entre semi-conducteurs et métaux du point de vue électrique
- Définir les limites des modèles développés

Plan

Introduction

Les phénomènes électriques sont très importants pour le physicien. En effet, pour effectuer une mesure à partir d'un capteur, nous nous ramenons très souvent à un signal électrique. Ce signal électrique est porté par des solides conducteurs qui possèdent des propriétés remarquables de conduction électrique que nous pouvons étudier.

1. Modèle classique de la conduction électrique

- a) Origine de la conduction dans les solides (ASHCROFT [3], KITTEL [91])
 - Bilan des types de solides existants
 - Conduction liée à la présence de charges mobiles dans le volume
 - Cas du métal avec des électrons
- b) Hypothèses du modèle de Drude (ASHCROFT [3])
 - Construction schématique du schéma
 - Calcul de la densité du gaz d'électrons de valence
 - Hypothèses du modèle de Drude
- c) Bilan de force sur un électron (SANZ [133], KITTEL [91], ASHCROFT [3], PÉREZ [114])
 - Définition du système
 - Application du principe fondamental de la dynamique
 - Définition de la vitesse limite et de la conductivité statique
 - Ordres de grandeur pour un métal
 - Analyse de la conductivité statique en lien avec les caractéristiques microscopiques du solide
- d) Loi d'Ohm (SANZ [133])
 - Lien avec la loi d'Ohm locale et globale
 - Calcul d'une résistance déduite du modèle de Drude

2. Conduction dans les solides

- a) Le cas des métaux (KITTEL [91])
 - Principales caractéristiques des métaux
 - Ordres de grandeur des grandeurs précédemment définies
- b) Le cas des semi-conducteurs (KITTEL [91], SANZ [133], ASHCROFT [3])
 - Principales caractéristiques des semi-conducteurs
 - Ordres de grandeur des grandeurs précédemment définies
 - Application de la faible conductivité des semi-conducteurs à l'effet Hall
 - Calcul de la résistance et de la tension de Hall
 - Lien avec le capteur de champ magnétique
- c) Limites du modèle classique (PÉREZ [114])
 - Étude des limites de la loi d'Ohm et du modèle de Drude
 - Lien avec les caractéristiques microscopiques du solide

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons étudié le phénomène de conduction électrique dans les solides. Ces phénomènes de conduction sont très utiles pour la transmission de données, mais aussi pour effectuer des mesures. En effet, les semi-conducteurs sont présents dans bien des capteurs comme les photodiodes ou en électronique pour effectuer des opérations logiques

1.48 Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique.

Rapport du jury 2015 : Présenter l'exemple célèbre du pont de Tacoma n'est pas pertinent, sauf s'il s'agit d'effectuer une critique d'une interprétation erronée très répandue.

Bibliographie :

- [113] Jérôme PÉREZ. *Physique, MPSI-PCSI-PTSI, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2009
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [60] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique des fluides et des ondes mécaniques, cours et 105 exercices corrigés, 2e année, PC*. Dunod, 1999
- [85] Daniel HENNEQUIN. *Les lasers, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2013
- [142] Richard TAILLET. *Optique physique : propagation de la lumière*. De Boeck, 2015
- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014

Niveau : L3

Prérequis :

- Oscillateur mécanique à un degré de liberté
- Circuits RLC et régime transitoire
- Notions d'interférence

Objectifs :

- Montrer les similitudes et les différences du phénomène de résonance en électricité, en mécanique et en optique

Plan

Introduction

Dans une précédente leçon nous avons étudié les oscillations libres d'un circuit RLC série caractérisé par une fréquence propre d'oscillation. Nous allons voir ce qui se passe lorsque nous excitons le système à cette fréquence, et étendre l'étude à d'autres domaines de la physique.

1. Étude d'un système à un degré de liberté, le RLC série
 - a) Modélisation du système (PÉREZ [113])
 - Présentation du système
 - Régime forcé et réponse aux bornes du condensateur
 - b) Réponses du système (PÉREZ [113])
 - i. Réponse en intensité
 - Manip : RLC et montrer la réponse en intensité
 - Réponse en intensité du système, diagramme de Bode en amplitude et en phase
 - ii. Réponse en tension

- Réponse en intensité du système, diagramme de Bode en amplitude et en phase
- iii. Réponse en puissance
 - Réponse en intensité du système, diagramme de Bode en amplitude et en phase
- c) Résonance et facteur de qualité (PÉREZ [113])
 - Facteur de qualité, définition et impact sur la résonance
- 2. Oscillateurs couplés en mécanique
 - a) Cas de deux oscillateurs couplé (FAROUX [60], PÉREZ [116])
 - Étude de deux masses couplées, cas des oscillateurs identiques
 - Résonances et antirésonance des oscillateurs
 - Étude du couplage sur la réponse du système
 - b) Corde de Melde (BELLANGER [18])
 - Manip : Corde de Melde à la résonance
 - Structure continue d'oscillateurs
 - Formation d'une onde stationnaire, résonante si la fréquence d'excitation est bien choisie
 - Interférences entre les ondes présentes dans la corde
- 3. Application à l'optique
 - a) Cavité de Fabry-Pérot (BELLANGER [18], TAILLET [142])
 - Interférences de l'interféromètre de Fabry-Pérot et résonance
 - b) Application au LASER (HENNEQUIN [85])
 - Lien entre la finesse et la résonance
 - Application à la largeur spectrale du LASER

Conclusion

Les systèmes d'ordre 2 ou supérieurs ont un grand nombre d'application, du fait du caractère résonant qu'ils peuvent présenter. Celui-ci permet en particulier de générer des filtres très sélectifs en électronique. Mais parfois, ce phénomène n'est pas désiré, et il faut alors travailler à l'atténuation de celle-ci, le plus souvent en ajoutant un élément fortement dissipatif au système.

1.49 Oscillateurs. Portraits de phase et non-linéarités.

Rapport du jury 2015 : L'intérêt de l'utilisation des portraits de phase doit ressortir de la leçon.

Rapport du jury 2017 : Les définitions d'un oscillateur et d'un portrait de phase sont attendues. La leçon doit présenter des systèmes comportant des non-linéarités.

Bibliographie :

- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014
- [58] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 1, Point et systèmes de points, 1re année, MPSI-PCSI, cours et 162 exercices corrigés*. Dunod, 1996
- [38] Stéphane CARDINI. *Physique, tout-en-un, PCSI*. Dunod, 2016
- [143] UDPPC-RÉDACTION. « Agrégation concours externe - Section : sciences physiques - Option A : physique - Composition de physique ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 925 (2010)¹⁷

17. C'est une annale du concours qui est facilement accessible via le Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie.

- [136] Laurent SARTRE. « De l'oscillateur harmonique à Van der Pol ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 804 (1998)

Niveau : L3

Prérequis :

- Mécanique du point en référentiel galiléen et non galiléen
- Oscillateur harmonique

Objectifs :

- Introduire le portrait de phase comme une solution visuelle semi-quantitative
- Présenter les systèmes chaotiques comme des systèmes déterministes et imprédictibles

Plan

Introduction

Nous introduisons de nouvelles notions qui permettent d'élargir notre manière de décrire les systèmes oscillants.

1. Pendule simple, introduction du non-linéaire
 - a) Oscillateur harmonique
 - Équation d'oscillation d'un pendule simple dans l'approximation des petits angles
 - Isochronisme des oscillations
 - b) Portraits de phase
 - Définition d'un portrait de phase
 - Définition des grandeurs d'intérêt
 - Portrait de phase associé au pendule simple harmonique
 - c) Vérification expérimentale
 - Manip : Pendule simple aux petits et aux grands angles
 - Étude de la période en fonction de l'angle, perte de l'isochronisme
 - d) Pendule simple aux grands angles
 - Retour sur le formalisme du pendule simple
 - Développement limité pour avoir une meilleure précision sur les grands angles, formule de Bordas
 - Portrait de phase de ce nouvel oscillateur
2. Effets des non-linéarités
 - a) Perte de l'isochronisme
 - Perte de l'isochronisme pour les oscillateurs non-linéaires
 - Visualisation sur le portrait de phase
 - b) Enrichissement spectral
 - Ajout d'harmoniques par les termes non-linéaires
 - c) Non-linéarités et principe de superposition
3. Étude des bifurcations
 - a) Cas d'une bille sur un cerceau tournant
 - Position du problème et mise en équation
 - b) Paramètre de bifurcation
 - Étude de l'énergie potentielle en fonction de la vitesse de rotation
 - Bifurcation et paramètre qui détermine la bifurcation
 - c) Portrait de phase de l'oscillateur
 - Portrait de phase et visualisation de la bifurcation

Conclusion

Les portraits de phase sont des outils très utiles pour décrire les oscillateurs. Par un simple regard, les données essentielles, comme les régimes, les dissipations énergétiques sont accessibles.

Chapitre 2

Leçons de Chimie

2.1 Chimie et couleur. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier. Certaines leçons ne doivent pas être des « leçons de choses » ou des catalogues mais demandent à être développées à un niveau scientifique suffisant montrant les qualités de synthèse et de rigueur des candidats.

Bibliographie :

- [40] Thierry CARIAT. *Chimie, 1re S.* Bordas, 2011
- [54] André DURUPHTY. *Physique chimie, 1re S.* Hachette éducation, 2011
- [11] Romain BARBE. *La chimie expérimentale. Tome II, Chimie organique et minérale, CAPES et agrégation de sciences physiques.* Dunod, 2007

Niveau : 1S

Prérequis :

- Spectrophotomètre UV-Visible et loi de Beer-Lambert
- Techniques de synthèses de chimie organique
- Chromatographie sur couche mince

Objectifs :

- Synthétiser un pigment bleu et l'utiliser pour colorer un tissu
- Déterminer le colorant utilisé dans un aliment, le M&M's bleu
- Influence des paramètres physico-chimiques sur la couleur

Plan

Introduction

Nous avons la chance d'être sensible à la longueur d'onde des radiations lumineuses que nous observons. Le lien entre la chimie et cette couleur est fort. Nous nous proposons alors de l'étudier au travers de la synthèse d'un pigment et de l'étude du colorant utilisé dans un aliment. Nous verrons ensuite comment certains paramètres agissent sur la couleur, et comment utiliser en tant qu'indicateur coloré une molécule colorée.

1. Étude d'un colorant alimentaire

- a) Colorant et couleur (DURUPHTY [54], CARIAT [40])
 - Définition d'un colorant
 - Mettre en évidence le lien entre sa structure chimique et sa couleur
- b) Colorant du M&M's bleu

- Extraire le colorant bleu de la couche externe du M&M's
 - Faire une chromatographie sur couche mince pour comparer aux colorants bleus habituels : le bleu patenté, bleu brillant et bleu de méthylène
 - c) Dosage du colorant d'une boisson, le Powerade (CARIAT [40])
 - Étalonnage par spectrophotométrie d'une échelle de solutions contenant du bleu brillant
 - Dosage de la quantité de bleu brillant contenue dans le Powerade
2. Synthèse d'un pigment
- a) Pigment et couleur (DURUPHTY [54], CARIAT [40])
 - Définition d'un pigment et lien avec la couleur
 - b) Synthèse de l'indigo (BARBE [11], DURUPHTY [54])
 - Synthèse du pigment indigo
 - c) Application à la coloration d'un tissu (BARBE [11], DURUPHTY [54])
 - Coloration d'un tissu
3. Influence de paramètres physico-chimiques sur la couleur, le pH
- a) Influence du pH sur les formes du colorant (CARIAT [40])
 - Mise en évidence du changement de couleur d'une solution de chou rouge par une échelle de pH
 - b) Lien avec les indicateurs colorés (CARIAT [40])
 - Lien avec les indicateurs de pH en papier

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons mis en évidence le lien entre chimie et couleur par la synthèse, la caractérisation de colorants et en étudiant le lien entre la couleur et les conditions de la solution.

2.2 Séparations, purifications, contrôle de pureté. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [24] Mireille BLANCHARD-DESCE. *Chimie organique expérimentale*. Hermann, 1987
- [22] Anne-Sophie BERNARD. *Techniques expérimentales en chimie*. Dunod, 2014
- [78] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978

Niveau : 1 et T STL SPCL

Prérequis :

- Réactions acide-base
- Réactions redox
- Techniques expérimentales de chimie organique

Objectifs :

- Effectuer le traitement d'un brut réactionnel
- Pratiquer une extraction liquide-liquide et utiliser l'évaporateur rotatif
- Effectuer la récupération d'un produit par modification du pH et une recristallisation
- Contrôler la pureté des produits obtenus

Plan

Introduction

À l'issue d'une réaction de chimie organique, le produit voulu est rarement le seul produit présent dans le brut réactionnel. Il est donc souvent pertinent de séparer le produit des autres entités formant le brut. C'est ce que nous allons faire sur la réaction de Cannizzaro.

1. Brut réactionnel de la réaction de Cannizzaro
 - a) Présentation de la réaction de Cannizzaro (BERNARD [22], BLANCHARD-DESCE [24])
 - Équation de la réaction et intérêt des produits synthétisés
 - Présentation du montage et du principe de la réaction
 - b) Composition du brut réactionnel (LIDE [101], BLANCHARD-DESCE [24])
 - Détail des espèces en présence dans le brut réactionnel et leurs propriétés physico-chimiques
2. Traitement de l'alcool benzylique
 - a) Extraction liquide-liquide (BERNARD [22], BLANCHARD-DESCE [24])
 - Présentation du principe de l'extraction liquide-liquide et de la constante de partage
 - Réalisation de l'extraction de l'alcool benzylique à l'éther diéthylique
 - b) Élimination du solvant (BERNARD [22], BLANCHARD-DESCE [24])
 - Élimination du solvant avec l'évaporateur rotatif
3. Traitement de l'acide benzoïque
 - a) Récupération de l'acide benzoïque (BERNARD [22], BLANCHARD-DESCE [24])
 - Précipitation de l'acide benzoïque par acidification de la phase aqueuse
 - Filtrage et obtention de l'acide benzoïque
 - b) Purification de l'acide benzoïque (BERNARD [22], BLANCHARD-DESCE [24])
 - Recristallisation à l'eau
 - Séchage du produit à l'étuve
4. Pureté des produits obtenus
 - a) Vérification des propriétés physico-chimiques des produits (BERNARD [22], LIDE [101])
 - Mesure de l'indice de réfraction de l'alcool benzylique
 - Mesure de la température de fusion de l'acide benzoïque au banc Kofler
 - b) Analyses spectrales des produits (BERNARD [22], LIDE [101])
 - Analyses IR de l'acide benzoïque et de l'alcool benzylique
 - Conclusion quant à la pureté des produits

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons mis en œuvre des techniques de séparation et purification variées. À l'issue de ces étapes, nous avons pu vérifier la pureté des produits, et le cas échéant proposer des voies d'amélioration du procédé de purification.

2.3 Polymères. (L)

Bibliographie :

- [105] Raphaële MILLOT-LANGET. *Physique-chimie, 1re STI2D-1re STL*. Nathan technique, 2010
- [78] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014
- [11] Romain BARBE. *La chimie expérimentale. Tome II, Chimie organique et minérale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2007

Niveau : 1 STL

Prérequis :

- Fonctions chimiques
- Réactions d'amidification, d'estérification et radicalaire
- Liaisons chimiques et de Van der Waals

Objectifs :

- Définir ce qu'est un polymère et définir le degré de polymérisation
- Effectuer une synthèse par addition et une autre par condensation
- Mettre en évidence les liens entre propriétés microscopiques et thermiques

Plan

Introduction

Les matériaux peuvent être d'origine naturelle ou d'origine synthétique. Le besoin de matériaux synthétiques peut être dû à un besoin de propriétés originales lors de l'utilisation ou dû à une raréfaction des ressources pour un remplacement des matériaux d'origine naturelle. Les polymères sont des matériaux très utilisés dans l'industrie, tant pour les vêtements que les revêtements, et présentent des caractéristiques très intéressantes.

1. Caractéristiques des polymères
 - a) Polymères, définition (GRÉCIAS [78], MILLOT-LANGET [105])
 - Définition d'un polymère comme étant une macromolécule faite de motifs et produite à partir de monomères
 - Exemple d'un polymère
 - b) Degré de polymérisation d'un polymère (GRÉCIAS [78], MILLOT-LANGET [105])
 - Définition du degré de polymérisation
 - Indiquer en quoi il est caractéristique
2. Du monomère au polymère
 - a) Polymérisation par addition (MILLOT-LANGET [105], GRÉCIAS [78])
 - Définition de la polyaddition
 - Donner un exemple
 - b) Polymérisation par condensation (BARBE [11], MILLOT-LANGET [105], GRÉCIAS [78])
 - Définition de la polycondensation
 - Synthèse du nylon-6,10
3. Lien entre le microscopique et le macroscopique
 - a) Propriétés chimiques et mécaniques (MILLOT-LANGET [105])
 - Lien entre le caractère cristallin ou amorphe et les propriétés mécaniques
 - b) Propriétés chimiques et thermiques (MILLOT-LANGET [105])

- Lien entre les liaisons présentes entre les chaînes et les propriétés thermiques
- Cas du slime à faire avec le borax

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons mis en évidence les caractéristiques des polymères et de leur réaction de formation. Nous avons aussi mis en évidence le lien entre les propriétés macroscopiques et la structure microscopique des polymères.

2.4 Chimie durable. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier. Certaines leçons ne doivent pas être des « leçons de choses » ou des catalogues mais demandent à être développées à un niveau scientifique suffisant montrant les qualités de synthèse et de rigueur des candidats.

Bibliographie :

- [11] Romain BARBE. *La chimie expérimentale. Tome II, Chimie organique et minérale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2007
- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012

Niveau : T S

Prérequis :

- Techniques de chimie organique
- Réaction de transestérification
- Techniques de caractérisation des produits organiques

Objectifs :

- Introduire le lien entre le développement durable et la chimie
- Mettre en avant l'économie d'atome sur un exemple choisi
- Synthétiser un carburant avec des agro-ressources

Plan

Introduction

La chimie est une activité très consommatrice de ressources et d'énergie, mais elle nous est néanmoins nécessaire, au moins pour la production de médicaments nécessaires à la lutte contre les maladies. Dans un contexte toujours plus exigeant pour la protection de l'environnement et d'économie d'énergie, il nous faut imaginer des stratégies d'économies et de protection de l'environnement.

1. Les principes de la chimie verte (BARDE [12])
 - Introduire la notion de développement durable et ses objectifs
 - Présentation des douze principes de la chimie verte
2. Synthèse en chimie organique et économie d'atome
 - a) Économie d'atome (BARDE [12])
 - Définir l'économie d'atome et son lien avec les principes de la chimie verte
 - b) Présentation du phénol (BARDE [12])
 - Phénol, un intermédiaire dans de nombreuses réactions de chimie organique
 - c) Comparaison de procédés de fabrication et économie d'atomes (BARDE [12])
 - Comparer les procédés BASF, Hock et Dow pour la synthèse du phénol

- Calculer l'économie d'atomes et conclure quant au procédé le plus efficace pour ce point, c'est alors un compromis avec la consommation énergétique
3. Synthèse à base de ressources renouvelables
- a) Problématique du biodiesel et des agro-ressources (BARDE [12])
 - Présentation du biodiesel et des cultures qui permettent de le produire
 - Intérêt du biodiesel par rapport au diesel d'origine fossile
 - b) Synthèse d'un biodiesel (BARDE [12], BARBE [11])
 - Synthèse du biodiesel par transestérification d'une huile à l'aide de méthanol
 - Calcul du rendement et présentation du spectre RMN

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons vu le lien entre chimie et développement durable. Nous avons vu deux exemples mettant en œuvre les principes de la chimie durable. Il faut tout de même noter que bien des réactions sont améliorables pour suivre les principes de la chimie verte, mais ceci se fait souvent au prix d'une plus grande complexité de chaque étape.

2.5 Synthèses inorganiques. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [98] Jean-François LE MARÉCHAL. *La chimie expérimentale. Tome I, Chimie générale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2004
- [9] *Autour des complexes de cuivre (II)*. URL : http://www.cndp.fr/portails-disciplinaires/fileadmin/user_upload/Physique- chimie/Ressources_RNSTL/activite_exp_synthese_complexe.pdf¹
- [103] Hélène MESTDAGH. « Chimie et lumière : Quelques manipulations ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 764 (1994)
- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013

Niveau : T STL SPCL

Prérequis :

- Complexes
- Analyses spectrophotométriques

Objectifs :

- Synthétiser des complexes de métaux de transition
- Mettre en évidence leurs applications
- Caractériser les complexes

Plan

Introduction

La chimie inorganique a, tout comme la chimie organique, des applications de grande importance. C'est ce que nous allons voir dans cette leçon, avec la synthèse de complexes de métaux de transitions qui présentent des caractéristiques remarquables.

1. Synthèse des complexes du cuivre

1. Un tel document devrait pouvoir être demandé aux techniciens, considérant que c'est un document public produit par le réseau Canopé, branche de l'éducation nationale.

- a) Synthèse des complexes (LE MARÉCHAL [98], GRÉCIAS [76])
 - Présentation du métal et des ligands
 - Synthèse des complexes avec de l'acide chlorhydrique et de l'ammoniac
 - Écrire les équations de complexation
 - b) Caractérisation par spectrophotométrie (LE MARÉCHAL [98])
 - Caractérisation des complexes par spectrophotométrie UV-visible
 - Lier le domaine d'absorption à la couleur du complexe
2. Synthèse et santé
- a) Utilisation du cis-bis-glycinato-cuivre II monohydraté dans le domaine de la santé ([9])
 - Utilisation du complexe comme un médicament
 - b) Synthèse du complexe ([9], GRÉCIAS [76])
 - Synthèse du complexe
 - Tableau d'avancement et calcul du rendement
 - c) Caractérisation du complexe ([9], GRÉCIAS [76])
 - Caractérisation du complexe par spectroscopie IR
3. Complexe et température²
- a) Applications des complexes et de leurs changements de couleur
 - Rappeler lien entre le changement de couleur dans les poêles à frire et les complexes
 - b) Synthèse des complexes de chlorure de cobalt (MESTDAGH [103])
 - Synthèse du complexe en solution eau-alcool
 - Lien changement de couleur et changement de température
 - Montrer la réversibilité du processus

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons mis en évidence la possibilité de synthétiser des complexes et leurs applications. Nous n'avons qu'esquissé les possibilités offertes par cette branche de la chimie. En effet, toutes les techniques de métallurgie relèvent aussi des synthèses inorganiques.

2.6 Stratégies en synthèse organique. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [11] Romain BARBE. *La chimie expérimentale. Tome II, Chimie organique et minérale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2007

Niveau : T S

Prérequis :

- Réaction d'estérification
- Techniques expérimentales de chimie organique

2. Une alternative peut être l'étude d'un complexe sensible à l'humidité à base de cobalt. Un protocole décrit l'expérience dans l'ouvrage de LE MARÉCHAL [98].

- Spectroscopie IR

Objectifs :

- Comparer des protocoles expérimentaux pour déterminer les paramètres sur lesquels le chimiste peut influencer
- Faire ressortir les notions de compromis, de coût et de dangerosité des produits
- Présenter un montage améliorant le rendement d'une estérification et le justifier via un calcul du rendement
- Séparer le produit du brut réactionnel et le caractériser

Plan

Introduction

Les synthèses organiques sont souvent complexes et comprennent un grand nombre d'étapes. Celles-ci nécessitent souvent un apport d'énergie, consomment des solvants et des réactifs. Ils sont coûteux, parfois polluants et dangereux pour l'environnement et les êtres humains, et dans une optique de développement éthique et durable, il faut songer à rendre cette chimie plus durable. Pour cela, il faut établir une stratégie de synthèse pour optimiser les paramètres jugés importants.

1. Stratégie de conception d'une synthèse organique
 - a) Comparaison de conditions opératoires (BARDE [12])
 - Comparaison de conditions opératoires pour une estérification
 - Faire apparaître les notions de compromis, de coût d'une synthèse et de dangerosité des produits
 - b) Stratégie de synthèse avec des composés polyfonctionnels (BARDE [12])
 - Cas d'une synthèse avec les acides aminés polyfonctionnels
 - Protection des fonctions pour obtenir le seul produit désiré parmi toutes les possibilités
2. Stratégie d'optimisation d'une synthèse organique
 - a) Synthèse d'un arôme (BARBE [11], BARDE [12])
 - Synthèse de l'acétate d'isoamyle, présentation de la réaction d'estérification
 - b) Optimisation du montage de chimie organique (BARBE [11], BARDE [12])
 - Deux montages possibles, un à reflux, l'autre avec le Dean-Stark
 - Principes, avantages et inconvénients
3. Stratégie de séparation d'un brut réactionnel
 - a) Séparation du brut réactionnel (BARBE [11], BARDE [12])
 - Séparation du brut réactionnel et purification du produit
 - Expliquer l'intérêt de chaque étape et le choix de chaque produit et méthode
 - b) Caractérisation et rendement de la synthèse (BARBE [11])
 - Caractérisation du liquide par spectroscopie IR
 - Calcul du rendement des deux synthèses

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons mis en évidence les choix à faire lorsqu'un chimiste doit faire une synthèse organique. Ces choix sont complexes car ils font le plus souvent l'objet d'un compromis. « Ce qu'on gagne d'un côté, on le perd de l'autre ».

2.7 Dosages. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [40] Thierry CARIAT. *Chimie, 1re S*. Bordas, 2011
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011
- [34] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie*. De Boeck, 2009

Niveau : 1 STL SPCL

Prérequis :

- Réactions acide-base et redox
- Principe de la spectrophotométrie UV-visible, la pH-métrie et de la conductimétrie

Objectifs :

- Utiliser les techniques de chimie des solutions pour réaliser des dosages quantitatifs
- Effectuer un dosage par étalonnage d'une substance colorée
- Effectuer un dosage direct et un dosage indirect et mettre en évidence la différence entre eux

Plan

Introduction

Le contrôle qualité a une grande importance pour les industriels. En effet, comment imaginer que des produits puissent sortir de l'usine et être vendus alors qu'ils n'ont pas les propriétés promises par les informations de l'emballage. Les diverses techniques de dosage permettent d'analyser et de quantifier les substances contenues dans un produit.

1. Dosage par étalonnage du Powerade

- a) Présentation du dosage par étalonnage par spectrophotométrie (BARDE [12])
 - Présentation du principe du dosage par étalonnage
 - Lien avec la spectrophotométrie et la loi de Beer-Lambert
 - Intérêt de la droite d'étalonnage
- b) Dosage du bleu brillant du Powerade (CARIAT [40])
 - Droite d'étalonnage pour le bleu brillant
 - Dosage du bleu brillant du Powerade
 - Faire le lien avec la dose journalière admissible
- c) Autres technologies disponibles pour les dosages par étalonnage (BARDE [12])
 - Présentation des autres techniques existant : réfractométrie, conductimétrie

2. Dosage par titrage direct

- a) Présentation du dosage par titrage direct (BARDE [12])
 - Présentation du principe du dosage par titrage direct
- b) Titrage du taux d'acidité dans un vinaigre (CACHAU-HERREILLAT [34])
 - Présentation du titrage du taux d'acidité dans un vinaigre
 - Suivi par conductimétrie et par pH-métrie
 - Conclusion sur le taux d'acidité du vinaigre

3. Dosage par titrage indirect

- a) Présentation du dosage par titrage indirect (BARDE [12])
 - Présentation du principe du dosage par titrage direct
 - Intérêt du dosage indirect quand le dosage direct n'est pas réalisable
- b) Détermination du taux de chlore actif dans une eau de Javel (CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Titrage en retour des ions hypochlorites dans l'eau de Javel
 - Méthode redox suivie par colorimétrie

Conclusion

Dans cette leçon, nous avons présenté trois dosages qui font partie intégrante du dosage qualité des produits choisis.

2.8 Cinétique et catalyse. (L)

Rapport du jury 2015 : Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés.

Bibliographie :

- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [15] Xavier BATAILLE. *Chimie, Term S*. Belin, 2012
- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [98] Jean-François LE MARÉCHAL. *La chimie expérimentale. Tome I, Chimie générale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2004

Niveau : 1 STL SPCL

Prérequis :

- Réactions redox
- Spectrophotométrie et loi de Beer-Lambert

Objectifs :

- Mettre en évidence les facteurs cinétiques
- Interpréter à l'échelle microscopique l'influence des facteurs cinétiques
- Étudier les différents types de catalyse et voir leurs applications

Plan

Introduction

Des réactions peuvent être lentes ou rapides. Un exemple de réaction lente étudiée est l'estérification qu'il faut laisser longtemps à reflux pour avoir un rendement acceptable, et les réactions rapides sont utilisées surtout au cours des dosages par titrage. Il est donc intéressant de se pencher sur les facteurs influençant la vitesse de réaction pour ainsi rendre les réactions les plus rapides possibles.

1. Facteurs cinétiques

- a) La température (BARDE [12])
 - Influence de la température sur la vitesse de réaction
 - Manip : Expérience du soleil couchant sur le rétroprojecteur pour des températures de réactifs différentes
 - Conclure sur l'influence de la température
- b) La concentration en réactifs (BARDE [12], LE MARÉCHAL [98])

- Influence de la concentration des réactifs sur la vitesse de réaction
 - Manip : Suivi de la réaction redox entre le peroxyde d'hydrogène et l'iodure de potassium par spectrophotométrie UV-visible pour deux concentrations différentes
 - Calcul du temps de demi-réaction
 - Conclure sur l'influence de la concentration
 - c) Les autres facteurs (BARDE [12])
 - Citer la pression, le solvant, la lumière
2. Interprétation microscopique
- a) Réaction et collisions intermoléculaires (GRÉCIAS [76])
 - Exemple simple d'une réaction en phase gazeuse
 - Collision efficace pour faire la réaction
 - b) Influence des facteurs cinétiques sur la collision (GRÉCIAS [76])
 - Mettre en avant les effets de la concentration et de la température
 - Notion d'énergie d'activation et de chemin réactionnel
3. Catalyse
- a) Caractéristiques d'un catalyseur (BARDE [12])
 - Influence d'un catalyseur sur l'énergie d'activation
 - Caractéristiques d'un catalyseur
 - Manip : Dismutation de l'eau oxygénée au contact du platine massif, du perchlorure de fer et du navet
 - b) Catalyse dans l'industrie (BARDE [12], BATAILLE [15])
 - Catalyse sélective pour augmenter la sélectivité d'une réaction
 - Catalyse en dépollution automobile

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu les facteurs cinétiques capables d'accélérer ou de freiner une réaction. Ceux-ci sont fréquemment utilisés en chimie organique, en particulier le chauffage des milieux réactionnels lors des montages à reflux.

2.9 Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique. (L)

Bibliographie :

- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978
- [34] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie*. De Boeck, 2009
- [44] *Florilège de chimie pratique : 59 expériences commentées*

Niveau : T S

Prérequis :

- Spectrophotométrie UV-visible et loi de Beer-Lambert
- Techniques expérimentales de chimie organique
- Fonctions chimiques

Objectifs :

- Étudier les trois techniques de spectroscopie disponibles pour le chimiste
- Voir les avantages de chacune et la complémentarité de celles-ci
- Construire le lien entre les fonctions chimiques et les éléments du spectre

Plan

Introduction

Une fois une synthèse de chimie organique achevée, le chimiste se pose la question de savoir si les produits qu'il a obtenus sont bien ceux qu'ils prévoyaient. Pour cela, il y a un besoin de caractérisation des molécules de manière sûre. C'est ce que se propose d'étudier les diverses techniques de spectroscopie disponibles dans les laboratoires.

1. Spectroscopie UV-visible

- a) Principe de mesure (BARDE [12])
 - Rappeler le fonctionnement du spectrophotomètre
 - Rappeler la loi de Beer-Lambert
- b) Spectre du bleu de bromothymol et origine de la couleur (BARDE [12], CACHAU-HERREILLAT [34], LIDE [101])
 - Spectre du BBT sous sa forme acide
 - Lien entre la couleur et la formule topologique du composé
 - Possibilités offertes par cette méthode

2. Spectroscopie infrarouge

- a) Principe de mesure (GRÉCIAS [76], BARDE [12])
 - Fonctionnement du spectrophotomètre
 - Présentation des spectres obtenus
 - Définition du nombre d'onde
- b) Synthèse de l'aspirine (DAUMARIE [44])
 - Présentation de la synthèse de l'aspirine
 - Recristallisation du produit
- c) Spectre de l'aspirine et origine de l'absorption dans l'IR (GRÉCIAS [76], BARDE [12])
 - Spectre de l'aspirine
 - Contrôle de pureté de l'aspirine
 - Lien entre la molécule et l'absorption IR avec un modèle moléculaire
 - Modèle de Hooke
 - Possibilités offertes par cette méthode

3. Spectroscopie RMN

- a) Principe de mesure (GRÉCIAS [76], BARDE [12])
 - Fonctionnement du spectrophotomètre
 - Présentation des spectres obtenus
 - Définition du déplacement chimique
- b) Spectre de l'aspirine (GRÉCIAS [76], BARDE [12])
 - Spectre de l'aspirine
 - Lien entre la molécule et les déplacements chimiques
 - Possibilités offertes par cette méthode

Conclusion

Nous avons pu voir trois manières d'analyser une molécule. Chaque spectroscopie possède ses avantages et ses inconvénients, c'est à prendre en compte dans le choix d'une technique. C'est pourquoi ces techniques d'analyse sont souvent utilisées ensemble.

2.10 Du macro au micro dans les synthèses organiques. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [105] Raphaële MILLOT-LANGET. *Physique-chimie, 1re STI2D-1re STL*. Nathan technique, 2010
- [56] Marine ESCAFFRE. « Étude comparée de l'oxydation ménagée des trois classes d'alcools par le permanganate de potassium ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 865 (2004)
- [84] Laurent HEINRICH. « Exemple de TP d'investigation de chimie organique : synthèse de la dibenzalacétone ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 951 (2013)

Niveau : 1 STL SPCL

Prérequis :

- Fonction chimique et nomenclature
- Techniques expérimentales

Objectifs :

- Introduire la notion de mécanisme réactionnel
- Étudier la réactivité de fonctions chimiques en fonction de leur environnement

Plan

Introduction

La chimie est la science de la construction de nouvelles molécules. Pour cela, il est important d'étudier la construction des molécules, pour établir des stratégies de synthèses.

1. Fonctions chimiques et réactivité
 - a) Fonctions chimiques (GRÉCIAS [76], MILLOT-LANGET [105])
 - Présentation des fonctions chimiques
 - b) Nucléophilie et électrophilie des fonctions (GRÉCIAS [76], MILLOT-LANGET [105])
 - Retour sur les fonctions chimiques
 - Classement selon le caractère nucléophile ou électrophile de la fonction
 - c) Réactions chimiques et choix de fonctions (GRÉCIAS [76], MILLOT-LANGET [105])
 - Étude des fonctions et des réactions chimiques étudiées dans la suite de la leçon
2. Test des alcools et réactivité
 - a) Oxydation des alcools par le permanganate de potassium (MILLOT-LANGET [105], ESCAFFRE [56])
 - Description de l'oxydation des alcools
 - b) Test des alcools (ESCAFFRE [56])
 - Manip : Test sur les alcools primaire, secondaire et tertiaire
 - Caractérisation des produits obtenus
3. Aldolisation et crotonisation
 - a) Réaction d'aldolisation (GRÉCIAS [76], HEINRICH [84])
 - Description de la réaction d'aldolisation
 - Conditions pour faire une aldolisation et une crotonisation
 - b) Synthèse de la benzalacétone (HEINRICH [84])

- Manip : Synthèse et purification de la benzalacétone
- Tableau d'avancement, notion de réactif limitant et lien avec le rendement
- Lien la structure des réactifs et la réaction chimique

Conclusion

La construction de nouvelles molécules nécessite une bonne connaissance des molécules et des fonctions chimiques. Ces propriétés microscopiques permettent donc de construire les molécules voulues.

2.11 Capteurs électrochimiques. (L)

Rapport du jury 2016 : Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés.

Bibliographie :

- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011
- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [78] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014

Niveau : T STL SPCL

Prérequis :

- Oxydoréduction
- Dosage par étalonnage

Objectifs :

- Notion de potentiel et relation de Nernst
- Présentation d'une électrode
- Application des capteurs électrochimiques : au laboratoire et dans la vie quotidienne

Plan

Introduction

Les capteurs sont utilisés pour prendre des informations sur les solutions du laboratoire de chimie. Comme les grandeurs chimiques ne sont pas directement accessibles, les capteurs sont des transducteurs, qui permettent d'accéder à des grandeurs aisément accessibles.

1. Capteur électrochimique et potentiel d'électrode
 - a) Électrode de première espèce (GRÉCIAS [76])
 - Spécificité de l'électrode à une espèce
 - Potentiel d'électrode relative à l'espèce
 - b) Électrode de deuxième espèce (GRÉCIAS [76])
 - Cas de l'ECS
 - Potentiel d'électrode
 - Justification de la prise de l'ECS comme référence
 - c) Électrode de troisième espèce (GRÉCIAS [76])
 - Usage de l'électrode pour le potentiel d'une solution complexe
2. Mesure de potentiels et applications
 - a) Mesure des potentiels standards (GRÉCIAS [78])
 - Mesure d'un potentiel standard

- b) Dosage par étalonnage de la teneur en cuivre de la bouillie bordelaise (GRÉCIAS [78], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Construction d'une droite d'étalonnage de l'échelle de potentiel de solutions d'ions cuivre II
 - Mesure du potentiel de la solution

Conclusion

Ces capteurs permettent d'étudier efficacement les propriétés des solutions chimiques via une mesure d'une propriété physique.

2.12 Molécules de la santé. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier. Certaines leçons ne doivent pas être des « leçons de choses » ou des catalogues mais demandent à être développées à un niveau scientifique suffisant montrant les qualités de synthèse et de rigueur des candidats.

Bibliographie :

- [37] Julien CALAFELL. *Physique-chimie, 2de*. Hachette éducation, 2014
- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [44] Florence DAUMARIE. *Florilège de chimie pratique : 59 expériences commentées*. Hermann, 2002
- [34] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie*. De Boeck, 2009
- [11] Romain BARBE. *La chimie expérimentale. Tome II, Chimie organique et minérale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2007

Niveau : 2 et T S

Prérequis :

- Réaction d'estérification
- Fonctions chimiques
- Caractérisation par spectroscopie IR et RMN

Objectifs :

- Synthétiser une molécule de la santé et purifier celle-ci
- Contrôler la qualité à l'issue de la synthèse par mesure de la température de fusion
- Doser le produit obtenu
- Caractérisation de la molécule par analyse des spectres RMN et IR

Plan

Introduction

Les médicaments existent depuis que l'homme cherche à limiter les symptômes des maladies et à guérir celles-ci. Dans la Rome antique, les romains utilisaient de l'écorce de saule comme antidouleur et antifièvre. Aujourd'hui, nous utilisons des molécules variées pour cet usage. La première étape va être la présentation de quelques molécules de la santé, la seconde, la synthèse de l'aspirine et la troisième, le contrôle qualité et la caractérisation de la molécule à l'issue de la synthèse.

1. Les molécules de la santé (CALAFELL [37], BARDE [12])
 - Présentation de molécules de la santé avec leurs fonctions caractéristiques
 - Présentation de l'aspirine et les chiffres liés à sa production

2. Synthèse d'une molécule de la santé

- a) Synthèse de l'aspirine (DAUMARIE [44], BARDE [12])
 - Synthèse de l'aspirine par estérification avec l'anhydride acétique
- b) Purification par recristallisation (DAUMARIE [44], BARDE [12])
 - Purification par recristallisation dans un mélange de solvants
 - Calcul du rendement et conclusion

3. Contrôle qualité

- a) Contrôle de pureté (DAUMARIE [44])
 - Contrôle de pureté par mesure du point de fusion du solide
- b) Dosage de l'aspirine (BARDE [12], BARBE [11])
 - Dosage pH-métrique de l'aspirine avec de la soude
 - Conclure quant à la teneur en aspirine du produit
- c) Caractérisation de la molécularité par spectroscopie
 - Spectre IR de la molécule, vérifier que les bons groupements sont bien présents

Conclusion

Cette leçon a permis de voir certaines molécules de la santé, et d'en synthétiser et en caractériser une en particulier, l'aspirine.

2.13 Stéréochimie et molécules du vivant. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier. Certaines leçons ne doivent pas être des « leçons de choses » ou des catalogues mais demandent à être développées à un niveau scientifique suffisant montrant les qualités de synthèse et de rigueur des candidats.

Bibliographie :

- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [15] Xavier BATAILLE. *Chimie, Term S*. Belin, 2012
- [138] Maurice SCHWINGS. « Avoir du nez... » In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 746 (1992)
- [123] Alain RABIER. « Quelques expériences illustrant la notion d'isomérisation Z - E ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 777 (1995)
- [120] Valéry PRÉVOST. « L'aspartame : un édulcorant intense ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 847 (2002)

Niveau : T S

Prérequis :

- Chiralité et carbone asymétrique
- Chimie organique
- Dosages acide-base

Objectifs :

- Étudier les différentes relations de stéréochimie existant entre les molécules
- Comprendre l'impact de ces configurations spatiales sur les propriétés des molécules

Plan

Introduction

Les molécules du vivant ont des structures spatiales bien définies. Cette représentation spatiale est l'objet de la stéréochimie, et nous allons voir que partie de la chimie est une discipline très importante, en particulier pour la fabrication de médicaments où des molécules de formules brutes identiques peuvent avoir des effets bien différents

1. Introductions aux molécules du vivant, l'aspartame
 - a) Hydrolyse de l'aspartame (BARDE [12], PRÉVOST [120])
 - Présentation de l'aspartame et des produits suspectés d'être produits par l'hydrolyse
 - Manip : Hydrolyse de l'aspartame
 - Caractérisation des produits de l'aspartame par chromatographie sur couche mince
 - b) Fonctions chimiques des molécules du vivant (BARDE [12], BATAILLE [15])
 - Fonctions présentes sur les produits de l'hydrolyse
 - Caractéristiques des produits de l'hydrolyse, ce sont des acides aminés
 - Projection de Fisher, chiralité et configurations D et L
2. Stéréoisomérisation
 - a) Stéréoisomérisation (BATAILLE [15], GRÉCIAS [76])
 - Définition de la stéréoisomérisation
 - Discrétiser deux cas, un avec des stéréoisomères de conformation, l'autre avec des stéréoisomères de configuration
 - b) Discussion sur la stabilité des conformations (GRÉCIAS [76])
 - Prendre un modèle moléculaire et discuter de la stabilité des conformations
 - Écrire les formules planes, noter qu'elles sont identiques
3. Stéréoisomérisation de conformation, l'énantiomérisation
 - a) Relation d'énantiomérisation entre molécules chirales (BARDE [12], GRÉCIAS [76])
 - Modèle moléculaire avec une molécule avec un miroir, obtention d'un énantiomère
 - Relation existant entre deux stéréoisomères de configuration images l'un de l'autre dans un miroir plan
 - Cas du mélange racémique
 - b) Propriétés physico-chimiques des énantiomères (SCHWINGS [138])
 - Exemple avec le limonène, mêmes propriétés physico-chimiques
 - c) Application à des molécules de la santé (SCHWINGS [138], BATAILLE [15])
 - Exemple avec le limonène, senteurs différentes
 - Exemple avec l'ibuprofène et son énantiomère inactif
4. Stéréoisomérisation de conformation, la diastéréoisomérisation
 - a) Diastéréoisomères (BARDE [12], GRÉCIAS [76])
 - Diastéréoisomères avec deux carbones asymétriques
 - Diastéréoisomères Z/E avec une double liaison

- b) Propriétés physico-chimiques des diastéréoisomères (BARDE [12], GRÉCIAS [76], RABIER [123])
 - Propriétés physico-chimiques différentes
 - Exemple avec les acides fumarique et maléique
 - pKa et points de fusion différents
 - Manip : Dosage des acides fumarique et maléique
 - Manip : Point de fusion au banc Kofler les fumarique et maléique
- c) Application à des molécules de la santé (BATAILLE [15])
 - Acides gras cis et trans et leurs effets sur la santé
- d) L'arbre de détermination de relation de stéréoisométrie entre deux molécules (BARDE [12], GRÉCIAS [76])
 - Donner l'arbre qui permet de déterminer la relation de stéréoisométrie en guise de conclusion

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu que la configuration spatiale d'une molécule pouvait avoir une grande incidence sur ses propriétés. C'est pour cela que la chimie organique essaye de répondre à la question : comment faire des synthèses pures en une configuration de molécule, et le cas échéant, comment séparer les différents produits

2.14 Acides et bases. (L)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012
- [34] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie*. De Boeck, 2009

Niveau : T S

Prérequis :

- Réaction chimique
- Notion de pH

Objectifs :

- Définir un acide et une base au sens de Brønsted
- Définir le pH
- Introduire le K_a : constante d'équilibre, et le pKa caractéristique d'un couple acide/base

Plan

Introduction

Les réactions acido-basiques sont très importantes en chimie, elles permettent d'effectuer des opérations très intéressantes en chimie organique et en chimie minérale. Ces réactions sont régies par une constante de réaction que nous mettrons en évidence lors de cette leçon.

1. Mesure de pH dans l'eau

- a) Mesure de pH pour différentes solutions (BARDE [12], CACHAU-HERREILLAT [34])
 - Présentation du pH-mètre et de son utilisation

- Manip : Mesure de pH de quelques solutions d'acides et bases fortes et faibles
- b) Définition du pH (GRÉCIAS [76])
 - Définition du pH et lien avec la concentration en ions oxoniums
- 2. Les acides et les bases
 - a) Acides et bases au sens de Brønsted (GRÉCIAS [76])
 - Théorie de Brønsted
 - Couple acide-base
 - b) Acides et bases fortes et faibles (GRÉCIAS [76])
 - Définition acide fort, base forte
 - Réaction totale pour les espèces fortes
 - Aspect thermique de la réaction et risque domestique
 - Définition acide faible, base faible
 - Réactions équilibrées pour les espèces faibles
 - Lien avec les pH mesurés précédemment
 - c) L'eau, une espèce ampholyte (GRÉCIAS [76])
 - L'eau comme un acide et une base
- 3. Constante d'acidité
 - a) Définition de la constante d'acidité (GRÉCIAS [76], CACHAU-HERREILLAT [34])
 - Définition de la constante
 - Cas d'une acide faible
 - Retour sur le cas de l'eau
 - Manip : Mesure avec un pH-mètre pour différentes concentrations un acide faible
 - b) Diagramme de prédominance (GRÉCIAS [76])
 - Définition du diagramme de prédominance
 - Application aux acides et bases faibles

Conclusion

Les acides et les bases sont des espèces très courantes en chimie. Elles sont utiles en chimie organique ou en chimie générale pour les synthèses ou aussi effectuer des dosages qualité.

2.15 Solvants (CP)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Polarité et moment dipolaire dans les molécules
- Valeurs de la chimie verte
- Liaisons chimiques (Van der Waals et liaisons hydrogène)

Objectifs :

- Notion de solvant
- Interactions intermoléculaires microscopiques
- Utilisation des solvants au laboratoire et en industrie

Plan

Introduction

Si nous voulons dissoudre un composé, nous allons choisir un liquide capable de faire cette opération. Ainsi, si nous souhaitons dissoudre du sucre, nous allons privilégier l'eau à l'huile, le sucre n'étant pas soluble dans l'huile. Dans le cas d'un industriel, nous voyons qu'il peut être intéressant de privilégier certains solvants, pour des raisons de coûts, de toxicité ou encore d'efficacité pour la solvation des espèces réactives pour une réaction chimique.

1. Notion de solvant

- a) Solvant : définition (GRÉCIAS [76])
 - Définition de dispersion et solvation
 - « Les semblables dissolvent leurs semblables »
- b) Classification des solvants (GRÉCIAS [76], FOSSET [67])
 - i. Polarité
 - Moment dipolaire, le solvant est ionisant
 - Exemples de solvants et de dissolutions possibles
 - Manip : Déviation d'un filet d'eau à l'aide d'une barre plastique chargée
 - ii. Pouvoir dispersant
 - Définition et ordres de grandeur
 - Tableau comparatif³
 - iii. Protocité
 - Définition et exemples
 - iv. Organigramme récapitulatif (GRÉCIAS [76])
 - Organigramme, le lier à des exemples avec leurs formules de Lewis
- c) Cas de la solvation en milieu aqueux (FOSSET [67])
 - Exemple de la dissolution d'HCl
 - Définir les étapes de la dissolution

2. Utilisation des solvants

- a) L'extraction liquide-liquide (GRÉCIAS [76], FOSSET [67])
 - Principe de l'extraction et définition du coefficient de partage
 - Justification des extractions multiples
 - Manip : Extraction du diiode aqueux par le cyclohexane
- b) La chromatographie sur couche mince (FOSSET [67])
 - Principe de la CCM, caractéristiques des deux phases
 - Phénomènes entraînant les composés
- c) Les solvants et la chimie verte (GRÉCIAS [76], FOSSET [67])
 - Principes de la chimie verte et utilisations de composés dangereux en chimie organique
 - Alternatives possibles, phases super critiques ou solvants organiques peu dangereux

3. Il faut agréger ceux des deux sources.

Conclusion

Le choix d'un solvant relève des caractéristiques des produits que nous voulons y dissoudre. D'autres paramètres entrent en ligne de compte, comme le coût ou les principes de la chimie verte. Ce choix est capital, car il permet les réactions chimiques par la mise en contact des réactifs. D'autres techniques expérimentales mettent en avant les caractéristiques des solvants, comme la recristallisation par exemple.

2.16 Classification périodique. (CP)

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [112] Roger PARISOT. « Comparaison du pouvoir oxydant du dichlore, du dibrome et du diiode ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 684 (1986)

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Nombres quantiques n , l , m_l et m_s
- Règles de placement des électrons
- Configuration électronique des atomes

Objectifs :

- Voir le lien entre la position d'un élément dans le tableau périodique et sa configuration électronique
- Mise en évidence de quelques familles d'éléments
- Évolution de l'électronégativité dans la classification

Plan

Introduction

Au début du XIX^{ème} siècle, les chimistes connaissaient une soixantaine d'éléments chimiques. Il avait déjà été remarqué que certains d'entre eux possèdent des caractéristiques semblables, mais n'étaient pas classés. Aujourd'hui, nous avons une classification périodique des éléments, et elle nous est bien utile pour rechercher des informations sur la configuration électronique et pour prévoir la réactivité des éléments.

1. La classification périodique

- a) Un historique (GRÉCIAS [76])
 - Mendeleïev, 1869, classement des éléments chimiques en fonction de leurs caractéristiques comparables
 - Prédiction de futures découvertes : gaz rares, physique atomique...
- b) La classification actuelle à 18 colonnes (GRÉCIAS [76])
 - Description de la classification périodique
- c) Lecture de la classification périodique (GRÉCIAS [76])
 - Lecture selon les lignes et les colonnes, lien avec les nombres quantiques
 - Lecture d'une configuration électronique

2. Les familles d'éléments dans la classification

- a) Les métaux (GRÉCIAS [76], FOSSET [67])
 - Grande partie du tableau périodique

- Formation d'oxydes
- Bloc d, formation de cations paramagnétiques
- Manip : Montrer des éléments purs
- b) Les alcalins (FOSSET [67])
 - Bloc s, propriétés réductrices
- c) Les halogènes (FOSSET [67])
 - Bloc p, caractère oxydant, fortement électronégatif
- d) Les gaz nobles (FOSSET [67])
 - Dernière colonne, inertie chimique et couche de valence pleine

3. Évolution de l'électronégativité dans la classification

- a) L'échelle de Pauling (FOSSET [67])
 - Présentation de l'échelle de Pauling
- b) Évolution du caractère oxydant des halogènes (PARISOT [112])
 - Manip : Comparaison des caractères oxydants
- c) Évolution du caractère réducteur des alcalins (GRÉCIAS [76])
 - Manip : Action de l'eau le potassium et le sodium solides
- d) Évolution de l'électronégativité dans la classification (GRÉCIAS [76], FOSSET [67])
 - Au bilan, variation de l'électronégativité dans la classification périodique

Conclusion

Nous avons vu durant cette leçon comment était construite la classification périodique. Elle est basée sur la répétition des caractéristiques physico-chimiques des éléments, ce qui donne des familles d'éléments remarquables tels que les halogènes ou les alcalins. La classification nous permet d'obtenir rapidement la configuration électronique des éléments et l'électronégativité est une propriété dont nous avons pu constater l'évolution dans le tableau périodique.

2.17 Solides cristallins. (CP)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Classification périodique des éléments
- Notion d'électronégativité, de moment dipolaire, de polarité et de polarisabilité
- Forces intermoléculaires

Objectifs :

- Établir le modèle du cristal parfait
- Définir la population, la coordinence et la compacité d'une structure cristalline
- Voir la maille cubique faces centrées
- Relier les caractéristiques d'une liaison aux propriétés macroscopiques du cristal
- Confronter les prédictions d'un modèle à des résultats expérimentaux et mettre en évidence les limites d'un modèle

Plan

Introduction

Il existe trois états de la matière, l'état gazeux, liquide et solide. Et la majeure partie des éléments solides se présente sous une forme dite cristallisée. Dans une salle de classe, les matériaux cristallisés sont, par exemple, les métaux formant le cadre des tables et des chaises. Il est donc primordial de comprendre la structure de ce type de matériaux et ainsi prévoir leur comportement.

1. Le modèle du cristal parfait

- a) Définition (FOSSET [67], GRÉCIAS [76])
 - Modèle, état d'ordre absolu
 - Définitions de motif, réseau, maille simple, nœud et définition du cristal
- b) Description d'une maille compacte, la maille cubique à faces centrées (FOSSET [67], GRÉCIAS [76])
 - Description de la maille cubique à faces centrées comme un assemblage compact
 - Manip : Montrer cette maille et ces caractéristiques sur un logiciel de simulation
 - Exemple d'un métal
- c) Caractéristiques d'une maille (FOSSET [67])
 - Définition de coordinence, de compacité, de population et de masse volumique
 - Exemples sur la maille cubique à faces centrées

2. Les différents types de cristaux

- a) Le cristal métallique (FOSSET [67], GRÉCIAS [76])
 - Justification de l'étude de la maille compacte cubique à faces centrées
 - Lien liaison métallique propriétés des corps métalliques
 - Sites interstitiels caractéristiques de la maille
 - Les limites du modèle du cristal parfait : alliages et défauts (possibilité d'une activité documentaire, FOSSET [67])
- b) Le cristal covalent (FOSSET [67], GRÉCIAS [76])
 - Cas du diamant
 - Cas du graphite
 - Lien entre la liaison chimique et les propriétés des corps

Conclusion

Une grande variété de cristaux existe. Nous avons ici pu voir que deux types de cristaux, les cristaux métalliques en empilement compacts et les cristaux covalents. Il en existe d'autre, comme les cristaux covalents ou moléculaires qui font apparaître d'autres forces qui stabilisent tout de même un ensemble de corps chimiques.

2.18 Corps purs et mélanges binaires. (CP)

Bibliographie :

- [79] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014
- [68] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, PSI*. Dunod, 2014

Niveau : PSI

Prérequis :

- Fonctions d'état

- États de la matière et changements de phase

Objectifs :

- Calculer la variance d'un corps pur ou d'un mélange binaire à l'équilibre
- Prévoir le sens d'évolution d'un corps pur diphasé hors équilibre
- Utiliser le diagramme isobare d'un mélange binaire prévoir l'allure d'une courbe d'analyse thermique
- Lier les mélanges binaires aux alliages métalliques

Plan**Introduction**

Une fois les premier et deuxième principes étudiés, nous pouvons nous tourner vers une grandeur très importante dans l'étude des systèmes avec des réactions chimiques et des échanges de matière, le potentiel chimique. Nous allons l'établir et l'étudier pour les corps purs. En chimie, les constituants des systèmes sont rarement seuls, et nous allons étudier le cas de multiples constituants au travers des mélanges binaires métalliques, source des alliages métalliques bien utiles pour les applications technologiques d'aujourd'hui.

1. Changements d'état d'un corps pur
 - a) Corps pur et potentiel chimique (GRÉCIAS [79])
 - Définition d'un corps pur
 - Potentiel chimique du corps pur comme différentielle et pour les phases condensées et gazeuses
 - b) Évolution d'un système diphasé (GRÉCIAS [79])
 - Diagramme PT d'un corps pur
 - Condition d'évolution d'un corps pur sous plusieurs phases
 - c) Corps pur sous plusieurs phases et variance (FOSSET [68], GRÉCIAS [79])
 - Condition d'équilibre d'un corps pur
 - Variance : définition et exemples pour différents points du diagramme
2. Transitions de phases pour les mélanges binaires métalliques
 - a) Miscibilité totale à l'état solide (FOSSET [68], GRÉCIAS [79])
 - Variance d'un binaire
 - Diagramme isobare, liquidus et solidus
 - Tracer une courbe d'analyse thermique
 - Théorème des moments (FOSSET [68])
 - Appliquer tout cela à un exemple
 - b) Miscibilité nulle à l'état solide et composés définis (FOSSET [68], GRÉCIAS [79])⁴
 - Existence de systèmes non-idéaux
 - Eutectique et composés définis
 - Courbes d'analyse thermique
 - Intérêt des alliages métalliques hétérogènes

Conclusion

Nous avons vu ici comment se comporte le potentiel chimique pour des corps purs et des mélanges. Ceci entraîne non-idéalités dans les diagrammes de phase.

4. Pour cette partie, il faut choisir des exemples pour avoir des micrographies et des diagrammes binaires d'alliages métalliques.

2.19 Oxydoréduction. (CP)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [77] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2014
- [66] Bruno FOSSET. *Chimie tout-en-un : MP-PT*. Dunod, 2014
- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [135] Jean SARRAZIN. *L'oxydoréduction : concepts et expériences...* Ellipses, 1991

Niveau : MPSI - MP⁵

Prérequis :

- Équilibres acide-base
- Équations d'état thermodynamiques

Objectifs :

- Étudier le formalisme des réactions d'oxydoréduction
- Voir les potentiels standard et de Nernst
- Étudier une pile moderne

Plan

Introduction

La chimie des espèces oxydantes et réductrices est l'un des domaines de la chimie qui est en pleine ébullition vu les défis environnementaux qui s'offrent actuellement à nous. Il est donc important de comprendre les transformations mises en jeu et la thermodynamique qui leur est associée.

1. Réactions d'oxydoréduction

a) Couples redox (GRÉCIAS [75])

- Notion de couple redox et de demi-réaction
- Équation redox
- Nombre d'oxydation et application
- Manip : Arbre de Diane, appliquer les notions vues à l'exemple

b) Potentiel de Nernst (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])

- Potentiels standard, de Nernst et diagramme de prédominance
- Règle du gamma
- Électrodes pour la potentiométrie et calcul du potentiel
- Lien avec l'arbre de Diane pour suivre la réaction

2. Thermodynamique des réactions redox

a) Étude d'une pile (GRÉCIAS [77], FOSSET [66], SARRAZIN [135])

- Description d'une pile et des réactions aux électrodes
- Calcul de la force électromotrice d'une pile
- Lien avec le travail électrique et la différence d'enthalpie libre
- Condition d'équilibre pour la pile usée et calcul de la constante de réaction redox
- Manip : Étude thermodynamique d'une pile (GRÉCIAS [77])

5. Cette leçon peut être traitée sur les deux niveaux, la première partie relève ici de la première année de CPGE, la seconde de la deuxième année.

- b) Systèmes réels et applications (GRÉCIAS [77])
 - Irréversibilité des systèmes électrochimiques
 - Applications

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons étudié le formalisme lié à l'oxydoréduction, puis la thermodynamique de cette partie de la chimie. Ceci étant, il reste à voir la cinétique de ces réactions qui ont souvent un grand rôle à jouer dans les systèmes étudiés.

2.20 Détermination de constantes d'équilibre. (CP)

Bibliographie :

- [79] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014
- [135] Jean SARRAZIN. *L'oxydoréduction : concepts et expériences...* Ellipses, 1991
- [34] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie*. De Boeck, 2009

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Équilibres redox
- Équilibres acide-base et indicateurs colorés
- Précipitation
- Dosages

Objectifs :

- Retrouver des constantes d'équilibre expérimentalement
- Mettre en œuvre le calcul d'incertitude

Plan

Introduction

La chimie étant la science des transformations de la matière, il est important de savoir comment ces transformations sont pilotées. Deux phénomènes entrent en ligne de compte : la cinétique et la thermodynamique. Lors de cette leçon, nous allons nous concentrer sur la seconde composante, la thermodynamique via la détermination de constantes d'équilibres

1. Constantes d'équilibres et moyens d'investigation

- a) Rappel sur les constantes d'équilibres (GRÉCIAS [79])
 - Équation de réaction
 - Constante thermodynamique de réaction associée
- b) Familles de réactions et méthodes de mesure (GRÉCIAS [79])
 - Exemples de réactions et constantes associées
 - Moyens d'investigation

2. Détermination expérimentale de constantes

- a) Détermination d'une constante d'acidité (CACHAU-HERREILLAT [34], GRÉCIAS [79])
 - Principe de l'expérience
 - Manip : Mesure de la constante d'acidité de l'acide éthanoïque
- b) Détermination d'un point isobestique d'un indicateur coloré (CACHAU-HERREILLAT [34], GRÉCIAS [79])

- Définition du point isobestique comme une constante d'acidité et principe
- Manip : Mesure du point isobestique du BBT par spectrophotométrie
- c) Détermination d'un produit de solubilité (SARRAZIN [135], GRÉCIAS [79])
 - Explication du fonctionnement d'une pile de concentration
 - Manip : Pile de concentration avec le précipité de chlorure d'argent ⁶

Conclusion

Nous avons vu lors de cette leçon des moyens variés d'investigation pour le chimiste. Ils nous ont permis de remonter aux constantes relatives à ces équilibres.

2.21 Analyse chimique quantitative. (CP)

Rapport du jury 2016 : D'autres leçons « très ouvertes » nécessitent de faire des choix et de les justifier.

Bibliographie :

- [135] Jean SARRAZIN. *L'oxydoréduction : concepts et expériences...* Ellipses, 1991
- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011

Niveau : MP

Prérequis :

- Étudier la potentiométrie au travers de deux dosages
- Calculer les concentrations et les titres des solutions dosées
- Déterminer les potentiels standards des couples redox et les constantes des réactions en jeu

Objectifs :

- Oxydoréduction
- Complexation
- Précipitation

Plan ⁷

Introduction

Les dosages potentiométriques ont une grande importance dans notre vie de tous les jours, car sans que nous nous en apercevions, la composition de bien des produits que nous consommons a été contrôlée par un dosage de ce type. Le contrôle qualité est bien souvent réalisé par un dosage, qu'il soit effectué par une machine ou par un opérateur, le principe reste le même.

1. Dosage des ions fer II par les ions cérium IV

- a) Contrôle de la teneur en fer II d'un antimousse de jardin (CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Présentation du produit à doser
- b) Mode opératoire (CACHAU-HERREILLAT [35], GRÉCIAS [76])

6. Il serait pertinent de changer l'argent par un autre ion, compte tenu du prix de ces solutions et des remarques du jury à ce sujet.

7. Compte-tenu du récent changement de titre de cette leçon, il serait sans doute pertinent de modifier une des parties présentes ici pour présenter d'autres techniques d'analyse quantitative. Il serait pertinent d'introduire une technique de spectrophotométrie ou de spectroscopie IR, une méthode de dosage par étalonnage, de la polarimétrie, de la réfractométrie, etc. Mais bien sûr, il faudra faire des choix et les expliquer au jury.

- Réaction chimique
 - Présentation des électrodes
 - c) Exploitation des résultats (CACHAU-HERREILLAT [35], SARRAZIN [135])
 - i. Pourcentage de fer II dans le solide
 - Calcul du pourcentage de fer II
 - ii. Potentiels mixtes à l'électrode
 - Exploitation de la courbe de dosage
 - Potentiels mixtes
2. Dosage direct des ions chlorures
- a) Le sérum physiologique, une composition proche du sang (CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Présentation du produit à doser
 - b) Mode opératoire (CACHAU-HERREILLAT [35], GRÉCIAS [76])
 - Réaction chimique
 - Présentation des électrodes
 - c) Exploitation des résultats (CACHAU-HERREILLAT [35])
 - i. Concentration en ions chlorures
 - Calcul de la concentration en ions chlorures
 - ii. Description théorique de la courbe de dosage
 - Calculs des expressions décrivant la courbe de dosage
 - iii. Potentiel standard du couple Argent et produit de solubilité d'AgCl
 - Calculs des constantes d'équilibre liées à ce dosage

Conclusion

Durant cette leçon, nous avons pu voir différents dosages potentiométriques utilisant les électrodes les plus courantes. Cependant, cette technique présente quelques limitations. En effet, dans le cas d'une solution avec des espèces redox multiples, il faut que les potentiels de Nernst soit suffisamment écartés si on veut doser les espèces unes-à-unes. Il faut donc étudier avec soin le système à doser avant de sélectionner une méthode de dosage.

2.22 Cinétique homogène. (CP)

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011
- [44] Florence DAUMARIE. *Florilège de chimie pratique : 59 expériences commentées*. Hermann, 2002

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Notions de cinétique (lycée)
- Notions d'absorbance et de conductivité
- Équilibres redox et acide-base

Objectifs :

- Déterminer la vitesse des réactions
- Déterminer les ordres de réaction, globaux et partiels
- Mettre en évidence l'influence d'un paramètre, la température

Plan

Introduction

La cinétique est une composante importante de la chimie. La thermodynamique permet effectivement de déterminer si une réaction est possible ou non, mais seule la cinétique est capable de dire si oui ou non une réaction possible thermodynamiquement aura lieu ou non, et dans quelles conditions.

1. Évolution temporelle d'un système fermé
 - a) Position du problème (GRÉCIAS [75])
 - Hypothèses de travail
 - b) Vitesses et ordres (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Vitesses d'apparition et de disparition
 - Vitesse de réaction
 - Ordres de réaction
 - c) Loi de vitesse (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Méthode intégrale
 - Application aux ordres courants, 0, 1 et 2
 - Temps de demi-réaction
2. Détermination expérimentale d'une loi de vitesse
 - a) Méthodes de suivi cinétique (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Rappel des différentes méthodes de suivi cinétique
 - b) Suivi cinétique par absorbance (CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Manip : Suivi cinétique de la réaction entre les ions iodure et le peroxyde d'hydrogène
 - c) Exploitation de l'expérience (CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Méthode de la dégénérescence de l'ordre
 - Détermination du temps de demi-réaction
3. Influence de la température
 - a) Suivi conductimétrique (DAUMARIE [44])
 - Manip : Hydrolyse de tBuCl à différentes températures, suivi cinétique assuré par conductimétrie
 - b) Calcul d'une énergie d'activation (GRÉCIAS [75], FOSSET [67], DAUMARIE [44])
 - Loi d'Arrhénius
 - Calcul de l'énergie d'activation de l'hydrolyse

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons vu les notions liées à la cinétique chimie et un échantillon des méthodes d'analyses disponibles pour faire des suivis cinétiques. Il faut donc garder à l'esprit que la thermodynamique seule ne suffit pas à prévoir la réalisation d'une réaction, la cinétique intervient aussi et peut aider à abaisser le temps de réaction.

2.23 Évolution et équilibre chimique. (CP)

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [77] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2014
- [66] Bruno FOSSET. *Chimie tout-en-un : MP-PT*. Dunod, 2014

Niveau : MPSI - MP⁸

Prérequis :

- Équilibres chimiques
- Thermodynamique chimique

Objectifs :

- Définir l'activité chimique, en déduire le quotient réactionnel et la constante de réaction
- Comprendre la construction de l'enthalpie libre de réaction et son intérêt pour le second principe de la thermodynamique
- Établir le lien entre ces deux visions de l'évolution des systèmes et prévoir l'évolution des systèmes

Plan

Introduction

Lorsque nous souhaitons faire une réaction, il est intéressant de savoir comment celle-ci va se faire, en particulier pour prévoir son rendement. C'est ce que nous nous proposons de faire ici, d'étudier l'évolution des systèmes chimiques et de prévoir leurs équilibres.

1. Constantes et évolution de systèmes chimiques
 - a) Activité chimique (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Définition
 - Exemples pour les gaz, les mélanges liquides et les solutions aqueuses
 - b) Quotient et constante de réaction (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Définition du quotient de réaction
 - Définition de la constante d'équilibre comme un quotient de réaction à l'équilibre
 - c) Critère d'évolution spontanée (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Comparaison du quotient réactionnel et de la constante d'équilibre
2. Thermodynamique de l'évolution des systèmes chimiques et de la prédiction des équilibres
 - a) Entropie et enthalpie de réaction (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Construction de l'entropie standard de réaction à partir des entropies molaires standard
 - De même avec l'enthalpie de réaction
 - b) Construction de l'enthalpie libre de réaction (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Définition de l'enthalpie libre de réaction
 - Approximation d'Ellingham pour voir calculer les enthalpies libres de réaction
 - c) Entropie et évolution des systèmes (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])

8. Cette leçon peut être traitée sur les deux niveaux, la première partie relève ici de la première année de CPGE, la seconde et la troisième de la deuxième année.

- Lien entre l'enthalpie libre de réaction et création d'entropie
 - Équivalence avec le second principe, critère d'évolution spontanée
3. Condition d'évolution et d'équilibre des systèmes chimiques
- a) Lien entre quotient réactionnel et enthalpie libre de réaction (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Lien entre quotient réactionnel et enthalpie libre de réaction
 - b) Lien entre constante de réaction et enthalpie libre de réaction (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - De même avec la constante de réaction
 - c) Critère d'évolution spontanée (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Calcul de l'enthalpie libre de réaction pour un système hors équilibre
 - Critère d'évolution spontanée
 - Graphique pour déterminer l'évolution d'un système en fonction de l'avancement de la réaction⁹

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu les moyens pour prévoir l'évolution des systèmes chimiques et leurs états d'équilibres. À partir des conditions initiales et des caractéristiques de la réaction, nous pourrions alors déterminer analytiquement l'équilibre de cette réaction. L'étape suivante est de mettre cet outil au service des synthèses industrielles pour les optimiser, tant du point de vue thermodynamique avec l'amélioration du rendement, que du point de vue cinétique pour diminuer au maximum le temps de réaction.

2.24 Optimisation de synthèses industrielles. (CP)

Rapport du jury 2016 : Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés.

Bibliographie :

- [77] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2014
- [66] Bruno FOSSET. *Chimie tout-en-un : MP-PT*. Dunod, 2014
- [89] Johann JÉZÉQUEL. « Étude de l'équilibre entre $\text{NO}_2(\text{g})$ et $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 879 (2005)

Niveau : MP

Prérequis :

- Thermochimie
- Cinétique et catalyse
- Notion de variance
- Constante de réaction et quotient réactionnel

Objectifs :

- Comprendre l'intérêt et les enjeux liés à l'optimisation des procédés chimiques industriels
- Étudier l'influence de la température et de la pression sur les équilibres chimiques
- Examiner un exemple de déplacement d'équilibre

9. Il pourrait être intéressant de voir l'effet en fonction de la température.

Plan

Introduction

La production de produits chimique est aujourd'hui très importante. Il est donc intéressant de se pencher sur la production de ceux-ci, pour pouvoir maximiser le rendement de production des procédés chimiques ainsi que leurs coûts.

1. Intérêt de la modification des états d'équilibres pour l'industriel
 - a) Problématique de l'industriel (FOSSET [66], GRÉCIAS [77])
 - Exemple de l'acide nitrique et de l'ammoniac
 - Considérations énergétiques et de coût
 - Il y a donc un besoin d'améliorer les performances des procédés
 - b) Variance et rupture d'équilibre (GRÉCIAS [77])
 - Équilibre d'un système diphasé, diagramme PT
 - Étude d'une variation de la pression ou de la température, rupture d'équilibre
 - Comparaison du quotient réactionnel et de la constante d'équilibre, évolution du système
2. Influence de la température et de la pression
 - a) Influence de la température (GRÉCIAS [77])
 - Exemple du rendement de la synthèse de l'ammoniac en fonction de la température
 - Notion de compromis entre thermodynamique et cinétique
 - Accélération de la réaction par catalyse
 - b) Loi de Van't Hoff (FOSSET [66], JÉZÉQUEL [89])
 - Loi de Van't Hoff
 - Effet de la température selon le signe de l'enthalpie standard de réaction
 - Manip : Influence de la température sur l'équilibre dioxyde d'azote, tétraoxyde de diazote gazeux
 - c) Influence de la pression (GRÉCIAS [77])
 - Exemple du rendement de la synthèse de l'ammoniac en fonction de la pression
 - Conclusion sur la réalisation industrielle de la synthèse de l'ammoniac
 - d) Loi de Le Chatelier (FOSSET [66], JÉZÉQUEL [89])
 - Loi de Le Chatelier
 - Manip : Influence de la pression sur l'équilibre dioxyde d'azote, tétraoxyde de diazote gazeux
3. Modification de la composition du système
 - a) Optimisation de la synthèse de l'ammoniac (FOSSET [66])
 - Optimisation de la fraction molaire en ammoniac
 - Optimisation de l'avancement en ammoniac
 - Conclusion sur la réalisation industrielle de la synthèse de l'ammoniac
 - b) Retour sur les conditions opératoires pour la dimérisation du dioxyde d'azote (FOSSET [66], JÉZÉQUEL [89])
 - Conditions en température et pression

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons présenté les moyens que le chimiste a à sa disposition pour influencer sur les équilibres chimiques. Ces considérations sont très importantes pour l'industriel, lorsqu'il s'agit d'économiser des matières premières et de l'énergie, pour arriver au résultat attendu.

2.25 Diagrammes potentiel-pH (construction exclue). (CP)

Rapport du jury 2016 : Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés.

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Équilibres redox et acide-base
- Thermodynamique redox
- Potentiométrie
- Nombres d'oxydation

Objectifs :

- Interpréter les diagrammes potentiel-pH
- Les utiliser pour prévoir les réactions thermodynamiquement possibles
- Les utiliser pour adapter des protocoles expérimentaux

Plan

Introduction

Dans les leçons précédentes, nous avons étudié les possibilités offertes par l'oxydoréduction. Cependant, les espèces redox ont des comportements différents selon le pH auxquelles elles sont confrontées. En effet, si nous prenons une solution d'ions fer III avec un pH acide ou un pH basique, nous voyons que nous avons un comportement différent pour cette espèce oxydée. Cet aspect thermodynamique de l'oxydoréduction est représenté sous la forme de diagrammes bidimensionnels, les diagrammes potentiel-pH.

1. Présentation des diagrammes potentiel-pH
 - a) Hypothèses de travail (FOSSET [67])
 - Conventions et hypothèses
 - b) Diagramme de l'eau (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Présentation du diagramme de l'eau
 - Lien avec l'électrolyse de l'eau
2. Lecture des diagrammes potentiel-pH
 - a) Diagramme du fer (GRÉCIAS [75])
 - Attribution des domaines d'existence et de prédominance en fonction des nombres d'oxydation
 - Signification des lignes verticale et horizontale

- Discussion de la stabilité du fer (état natif)
 - Discussion de la stabilité de l'ion fer II en fonction du pH
 - b) Diagramme du chlore (GRÉCIAS [75])
 - Dismutation dans le cas du chlore
 - Blocage cinétique de la dégradation de l'eau de Javel
3. Application des diagrammes potentiel-pH¹⁰
- a) Présentation du dosage de Winckler (GRÉCIAS [75], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Superposition des diagrammes de l'eau, du manganèse et de l'iode
 - Principe du cheminement dans le diagramme au cours de la manipulation
 - b) Demande chimique en oxygène (GRÉCIAS [75], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Manip : Dosage de Winckler

Conclusion

Ces diagrammes sont très utiles pour étudier des réactions redox complexes. Il faut cependant garder à l'esprit que seules les considérations thermodynamiques sont prises en compte et que la cinétique a aussi son mot à dire pour déclarer possible une réaction.

2.26 Corrosion humide des métaux. (CP)

Rapport du jury 2016 : Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés.

Bibliographie :

- [79] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014
- [68] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, PSI*. Dunod, 2014, Florence VACANDIO. « Illustration d'un cours de protection contre la corrosion des matériaux ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 851 (2003)
- [144] Florence VACANDIO. « Illustration d'un cours de protection contre la corrosion des matériaux ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 851 (2003)
- [135] Jean SARRAZIN. *L'oxydoréduction : concepts et expériences...* Ellipses, 1991

Niveau : PSI

Prérequis :

- Équilibres redox et acide-base
- Thermodynamique et cinétique redox

Objectifs :

- Définir le phénomène de corrosion humide des métaux
- Mettre en évidence les facteurs influençant celle-ci
- Étudier les différents cas de corrosion
- En déduire différentes protections possibles

Plan

Introduction

La corrosion est un phénomène auquel nous sommes habitués. En effet, les métaux à l'état naturel sont présents sous leur forme oxydée et donc s'oxydent spontanément au contact d'agents

¹⁰. Ce dosage pourrait être remplacé par celui de l'eau de Javel qui présente un principe similaire en raison de la crainte de formation de dichlore.

oxydants. Certains résistent particulièrement bien, c'est le cas du zinc ou de l'aluminium, mais d'autres comme le fer se corrodent à grande vitesse et les objets rouillés perdent leur solidité et deviennent donc inutilisables. Nous avons tous en tête les vieux bateaux abandonnés sur les rivages qui rouillent très rapidement. Ce phénomène est rarement désiré, il faut donc l'étudier pour chercher à limiter son impact.

1. Phénomène de corrosion

- a) La corrosion humide (FOSSET [68], GRÉCIAS [79])
 - Corrosion à cause de l'eau, confirmé par les diagrammes E-pH sur un exemple avec le fer
 - Facteurs aggravants de la corrosion
- b) La corrosion uniforme (FOSSET [68], GRÉCIAS [79], SARRAZIN [135])
 - Principe de la corrosion uniforme et conditions pour avoir celle-ci
 - Détail des zones du diagramme E-pH pour la passivation, l'immunité et la corrosion : aspect thermodynamique
 - Détail des courbes intensité potentiel avec les zones mêmes zones que sur le diagramme E-pH à différents pH : aspect cinétique
- c) La corrosion due à une hétérogénéité
 - i. Variation de la concentration de l'espèce oxydante (FOSSET [68], GRÉCIAS [79], SARRAZIN [135])
 - Cas de l'aération différentielle : couples mis en jeu
 - Manip : Clou en fer dans l'agar-agar en tube à essai avec gradient de concentration en oxygène¹¹
 - Courbe intensité potentiel qui justifie le phénomène
 - ii. Cas de deux métaux différents en contact (FOSSET [68], GRÉCIAS [79], SARRAZIN [135])
 - Cas de la corrosion galvanique : couples mis en jeu
 - Manip : Clou en fer dans l'agar-agar en tube à essai en contact avec du zinc
 - Courbe intensité potentiel qui justifie le phénomène

2. Protection contre la corrosion

- a) Protection par revêtement (FOSSET [68], GRÉCIAS [79], VACANDIO [144])
 - Protection physique
 - Protection par passivation
 - Manip : Passivation de l'aluminium et obstruction des pores, montrer les micrographies faites au microscope électronique à balayage
- b) Protection par anode sacrificielle (FOSSET [68], GRÉCIAS [79], SARRAZIN [135])
 - Protection chimique en formant une micropile comme montré précédemment

Conclusion

Au cours de cette leçon, nous avons vu le phénomène de corrosion humide, un cas uniforme idéal et un autre cas plus réel différentiel. De chaque type de corrosion nous avons pu tirer une idée pour protéger les métaux de la corrosion. À l'heure actuelle, les métaux sont utilisés dans un très grand nombre de domaines, il est donc primordial de savoir les protéger. C'est en particulier le cas du fer qui est un candidat de choix en termes de propriétés mécaniques et de coût, mais il est très sensible à la corrosion.

11. Pour cette expérience, il faut la lancer tôt et remplacer la phénolphthaléine par du rouge de Crésol. En effet, la phénolphthaléine est classée CMR désormais.

2.27 Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique. (CP)

Rapport du jury 2016 : Certaines leçons traitent des applications de concepts. Ceux-ci doivent être mis dans les prérequis et ne doivent pas être développés.

Bibliographie :

- [77] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2014
- [66] Bruno FOSSET. *Chimie tout-en-un : MP-PT*. Dunod, 2014
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011

Niveau : MP

Prérequis :

- Équilibres redox
- Cinétique et thermodynamique redox
- Mesures de fem et sens d'évolution des réactions

Objectifs :

- Lier le travail électrique à la différence d'enthalpie libre de réaction
- Lier la différence d'enthalpie libre à la fem
- Déterminer la capacité
- Prévoir une fem et la comparer à celle obtenue expérimentalement
- Utiliser les courbes intensité-potential pour déterminer les paramètres d'une bonne pile et pour réaliser une recharge d'accumulateur

Plan

Introduction

À l'heure des défis énergétiques dans les domaines de la mobilité, l'étude des piles et des accumulateurs est importante. En effet, en remplacement des énergies carbonées, l'électricité est un acteur de premier ordre. Il est donc important de comprendre le fonctionnement des piles et autres accumulateurs.

1. Conversion de l'énergie chimique en énergie électrique - la pile
 - a) Les piles d'aujourd'hui et pile d'étude (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Utilisation et technologies actuelles
 - Pile Daniell pour l'étude
 - b) Aspect thermodynamique (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - i. Évolution thermodynamique de la pile
 - Cas réversible isotherme et isobare
 - Inégalité entre la variation d'enthalpie libre et le travail
 - ii. Expression de la fem et condition d'équilibre
 - Lien entre la tension à vide d'une pile et la variation d'enthalpie libre de réaction
 - Potentiel de la pile usagée
 - iii. Capacité d'une pile
 - Expression de la capacité d'une pile
 - c) Aspect cinétique (GRÉCIAS [77], CACHAU-HERREILLAT [35])

- i. La pile Daniell
 - Courbes intensité potentiel : force électromotrice avec la pile en fonctionnement
 - Manip : Tracé de la courbe intensité-potentiel pour une pile Daniell
 - ii. Exploitation des courbes intensité-potentiel
 - Discussions sur l'influence des surtensions et pour retrouver la résistance interne
 - iii. Optimisation des paramètres
 - Paramètres pour avoir un bon générateur
2. Conversion de l'énergie électrique en énergie chimique - l'accumulateur
- a) Les accus, définition et exemples (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Définition
 - Exemples d'accus modernes
 - Accu NiCd pour l'étude
 - b) Décharge d'un accu (GRÉCIAS [77])
 - Fonctionnement similaire à une pile
 - c) Charge d'un accu (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - i. Aspect thermodynamique
 - Condition de tension minimale à appliquer
 - ii. Aspect cinétique
 - Condition de tension minimale à appliquer
 - Condition pour ne pas faire réagir l'eau
 - d) Comparatif des accus actuels (GRÉCIAS [77], FOSSET [66])
 - Tableau comparatif des accus actuels

Conclusion

Lors de cette leçon, nous avons détaillé le fonctionnement des accus et des piles. Les aspects thermodynamiques rendent compte de la possibilité des réactions et les aspects cinétiques nous donnent des informations sur le système en fonctionnement.

2.28 Solubilité. (CP)

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011

Niveau : MPSI

Prérequis :

- Équilibres acide-base, redox et de complexation
- Notions de constante et de quotient réactionnel
- Dosage suivi par pH-métrie

Objectifs :

- Mettre en évidence la faible solubilité d'un sel ionique et définir sa condition de précipitation
- Définir et calculer une solubilité et une constante de solubilité
- Analyser quelques facteurs influençant la solubilité

Plan

Introduction

Après avoir étudié les réactions acide-base, d'oxydoréduction et de complexation, nous pouvons nous intéresser à la dernière brique du puzzle pour traiter tous les dosages qu'il est possible de faire dans le cadre du contrôle qualité. Nous allons étudier le comportement des solides peu soluble dans un solvant.

1. Solubilité et produit de solubilité¹²

- a) Mise en évidence (GRÉCIAS [75])
 - Manip : Ajouter goutte à goutte une solution d'ions argent I dans du sérum physiologique
 - Constatation de l'apparition d'un solide blanc
- b) Constantes et solubilité (GRÉCIAS [75])
 - Mise en solution d'un sel, constante de solubilité
 - Définition de la solubilité
- c) Condition de précipitation et domaine d'existence (FOSSET [67])
 - Condition de précipitation, quotient réactionnel
 - Domaine d'existence, lien avec l'expérience

2. Facteurs influençant la solubilité

- a) Température (GRÉCIAS [75], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Solubilité qui varie avec la température
 - Manip : Pluie d'or
- b) Effet d'ion commun (GRÉCIAS [75])
 - Solubilité qui diminue par effet d'ion commun
 - Exemple
- c) Effet du pH (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Cas d'un sel acide ou basique
 - Loi de modération

3. Application de la précipitation

- a) Dosage des ions aluminium (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Principe avec l'effet du pH sur une espèce solide amphotère
 - Manip : Dosage d'une solution d'ion aluminium III par de la soude
- b) Calcul des constantes (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Calcul de la solubilité du précipité
 - Calcul de la constante de solubilité et éventuellement celle de complexation

Conclusion

Nous avons vu dans cette leçon que les solides ioniques ont une limite de solubilité dépendant de leur nature et des conditions opératoires.

12. Une alternative aux deux premières parties de cette leçon pourrait être envisagée, pour une meilleure contextualisation, avec ce document http://www.fndae.fr/documentation/PDF/Fndae29_a.pdf

2.29 Cinétique électrochimique. (CP)

Bibliographie :

- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011

Niveau : MP

Prérequis :

- Équilibre redox
- Diagramme potentiel-pH

Objectifs :

- Comprendre la construction des courbes intensité-potentiel
- Caractériser les couples redox et étudier l'influence de la diffusion

Plan

Introduction

Une fois la thermodynamique de l'oxydoréduction étudié et après avoir vu que certaines espèces chimiques prévues comme instable dans l'eau existent malgré tout, il est utile d'étudier la cinétique dans le cas de l'oxydoréduction.

1. Convention et courbes intensité-potentiel
 - a) Conventions pour la construction des courbes intensité-potentiel (GRÉCIAS [75])
 - Conventions pour l'intensité
 - b) Montage à trois électrodes (GRÉCIAS [75], FOSSET [67], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Présentation de montage à trois électrodes
 - Manip : Tracé de la courbe intensité-potentiel du solvant, l'eau
2. Interprétation de l'allure des courbes intensité-potentiel
 - a) Caractérisation des couples (GRÉCIAS [75])
 - Critères de description des couples rapides dans le cas d'un transfert de charge limitant
 - Critères de description des couples lent et surtensions
 - Influence de l'électrode de travail
 - b) Diffusion de particules (GRÉCIAS [75], FOSSET [67])
 - Justification de l'existence d'un courant limite
 - Description de la loi de Fick et lien avec l'intensité
 - Description des plateaux sur les courbes intensité-potentiel
 - c) Description complète d'une courbe (GRÉCIAS [75], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Récapitulatif avec la diffusion et le mur du solvant
 - Manip : Tracé de la courbe intensité-potentiel d'un couple redox en solution avec un potentiostat
 - d) Réaction spontanée et potentiel mixte (GRÉCIAS [75], FOSSET [67], CACHAU-HERREILLAT [35])
 - Position du problème
 - Manip : Blocage cinétique de l'oxydation du plomb par un acide, déblocage avec une électrode de platine au contact

— Lien avec l'oxydation et les courants

Conclusion

Cette leçon nous a permis de mettre en évidence les aspects cinétiques des réactions d'oxydo-réduction.

Chapitre 3

Montages de Physique

3.1 Dynamique newtonienne.

Rapport du jury 2016 : Contrairement à une idée apparemment répandue chez les candidats, les mesures précises en mécanique ne sont pas nécessairement hors d'atteinte, et il est possible de discuter quantitativement une loi de conservation en prenant en compte les incertitudes expérimentales. Par ailleurs, le jury constate que les mobiles autoporteurs donnent le plus souvent lieu à des expériences trop simples, mal exploitées quantitativement et coûteuses en temps, au détriment d'expériences plus en accord avec le niveau attendu à l'agrégation ; une informatisation de ces expériences serait profitable pour éviter des erreurs de mesures et limiter leurs durées.

Rapport du jury 2017 : L'énoncé du titre de ce montage ouvre vers un large champ d'expérimentation. Si la mécanique des systèmes ponctuels, dans un référentiel galiléen, se déplaçant à une dimension est évidemment au programme, l'étude de la dynamique des systèmes complexes, des objets en rotation, ou de la dynamique dans un référentiel non galiléen est autorisée.

Bibliographie :

- [20] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement. Tome I, optique, mécanique, fluides, transferts thermiques*. Dunod, 2012
- [51] Roger DUFFAIT. *Expériences de physique : CAPES de sciences physiques, concours de recrutement de l'enseignement secondaire : CAPES, CAPLP2, agrégations*. Bréal, 2008
- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pieron, 1992
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978

Objectifs :

- Étude de deux mécanismes de conservation de l'énergie
- Étude dynamique d'un corps tournant
- Chute d'une bille dans différents milieux, notion de frottements

Plan

Introduction

La mécanique est une des disciplines de la physique accessible au quotidien, dont nous constatons tous les jours les effets. Nous nous proposons ici de mettre en évidence des expériences montrant la conservation de grandeurs mécaniques, et de voir une limite qui nous est souvent imposée, les frottements.

1. Conservation de la quantité de mouvement (BELLIER [20])

- Deux mobiles de masses différentes, l'un à l'arrêt, l'autre en translation
 - Choc élastique
 - Mesure de la quantité de mouvement avant et après le choc¹, de la conservation de l'énergie cinétique et du caractère rectiligne des trajectoires
 - Discussion sur l'élasticité du choc
2. Solide en rotation, conservation du moment cinétique (DUFFAIT [51], BELLIER [20])
- Solide en rotation avec mesure de l'angle du solide au cours du temps
 - Variation de m , la masse des masselottes et de r , la distance de celles-ci à l'axe
 - Détermination par deux méthodes du moment d'inertie de la barre sans les masselottes
 - Comparaison des résultats par rapport à un calcul
3. Énergétique de la chute de la bille (BELLIER [20], QUARANTA [121])
- Chute de la bille dans l'air avec rebonds et dans un milieu dissipatif
 - Chute dans l'air, peu de frottements tant qu'il n'y a pas rebond, énergie mécanique constante, calcul du coefficient de restitution
 - Chute dans du glycérol, loi de Stokes et vitesse limite, retour sur la viscosité dynamique du glycérol

Conclusion

Lors de ce montage, nous avons pu mettre en évidence la conservation de bien des grandeurs mécaniques au cours du montage, mais cette conservation est souvent mise en défaut par les frottements dont nous avons vu un exemple ici.

3.2 Surfaces et interfaces.

Rapport du jury 2016 : Le principe de certaines mesures est mal maîtrisé. Par exemple, la mesure de la tension de surface par la balance d'arrachement nécessite d'avoir compris avec précision la nature des forces en jeu lors de la rupture du ménisque pour pouvoir justifier la formule qui est utilisée. Plus généralement, il convient de préciser clairement l'interface étudiée lorsqu'une expérience fait intervenir plus de deux phases. Enfin, il faut veiller à nettoyer le mieux possible les surfaces étudiées plutôt que de justifier de mauvais résultats par une « saleté » sensée excuser des écarts parfois excessifs aux valeurs tabulées. Une alternative à laquelle les candidats pourraient penser serait d'utiliser des fluides de plus basse tension superficielle que l'eau et donc moins sensibles aux pollutions.

Rapport du jury 2017 : Le jury a vu de bons montages dans ce domaine. La notion d'hystérèse de l'angle de contact pour améliorer la mesure de la tension de surface par l'étude de la loi de Jurin a été appréciée.

Bibliographie :

- [71] Pierre-Gilles de GENNES. *Gouttes, bulles, perles et ondes*. Belin, 2005
- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990
- [95] Christophe LAGOUTTE. « À propos des ondes de la cuve à ondes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 852 (2003)

Objectifs :

- Déterminer des grandeurs physiques comme le coefficient de frottement entre deux solides ou la tension superficielle d'un liquide

1. Il y a un fort intérêt à informatiser la mesure, car c'est long à faire.

Plan

Introduction

Un ingénieur matériaux souhaite associer des matériaux entre eux. Il s'intéresse donc à l'adhérence (frottement solide) entre eux et aussi à l'interaction entre le matériau et le milieu extérieur.

1. Frottement solide (QUARANTA [122])
 - Détermination du coefficient de frottement statique entre deux matériaux
 - Détermination du coefficient de frottement dynamique entre deux matériaux
2. Mesure de la tension superficielle de l'eau (QUARANTA [122], GENNES [71], LAGOUTTE [95])
 - Cuve à ondes, pour différentes valeurs de fréquence mesure de la longueur d'onde et détermination de la vitesse
 - Détermination de la tension superficielle dans l'approximation eau profonde
3. Interface solide liquide gaz (QUARANTA [122], GENNES [71])
 - Projection sur le mur via un montage optique de l'image de la goutte
 - Détermination de la tension superficielle (mesure statistique sur une série de mesures)
 - Comparaison avec la valeur obtenue avec la cuve à ondes

Conclusion

Quelles sont les conséquences des phénomènes vu ici sur un véhicule automobile ? Sur route sèche, le frottement de la roue sur le bitume doit être maximal, ce qui explique le choix du caoutchouc comme matériau de construction des pneumatiques. Ensuite, pour une visibilité maximale en temps de pluie, les pare-brises peuvent être rendu hydrophobe pour que les gouttes de pluie ne s'accrochent pas à lui.

3.3 Dynamique des fluides.

Rapport du jury 2016 : Comme recommandé par les précédents rapports, les candidats pensent à évaluer le nombre de Reynolds mais les conclusions qu'ils en tirent sont souvent incomplètes ou erronées. D'autres limitations des modèles (Stokes et Poiseuille en particulier) sont ignorées. Les viscosités mesurées doivent être comparées aux valeurs tabulées aux températures des expériences réalisées.

Rapport du jury 2017 : Si l'évaluation du nombre de Reynolds est faite régulièrement, il est regrettable qu'un nombre de Reynolds grand devant 1 soit systématiquement associé à un écoulement turbulent. L'étude des corrections des effets de tailles finies sur certains écoulements peut être menée pour peu que ces dernières aient un sens par rapport aux erreurs expérimentales associées aux mesures. Une mesure de vitesse constante peut être effectuée très simplement, sans nécessairement faire appel à des moyens d'acquisition informatiques complexes.

Bibliographie :

- [20] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement. Tome I, optique, mécanique, fluides, transferts thermiques*. Dunod, 2012
- [51] Roger DUFFAIT. *Expériences de physique : CAPES de sciences physiques, concours de recrutement de l'enseignement secondaire : CAPES, CAPLP2, agrégations*. Bréal, 2008
- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pieron, 1992
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978

Objectifs :

- Déterminer la viscosité dynamique d'un fluide et utiliser le nombre de Reynolds

- Appliquer la formule de Torricelli, ainsi que la relation de Bernoulli
- Mettre en évidence et interpréter l'effet Venturi
- Étudier le vol d'un profil d'aile dans un flux d'air

Plan

Introduction

Les fluides en mouvements sont partout dans notre quotidien. Dans ce montage, je vous propose d'étudier un écoulement visqueux et des écoulements parfaits. Nous calculerons le nombre de Reynolds pour définir dans quel domaine nous nous trouverons.

1. Écoulement visqueux (BELLIER [20], QUARANTA [121])
 - Chute d'une bille dans le glycérol
 - Régime de Stokes, calcul de la force de traînée et existence d'une vitesse limite
 - Mesure de cette vitesse limite, vérification des hypothèses
 - Calcul de diffusion de quantité de mouvement pour justifier du choix du diamètre du tube
2. Écoulement parfait (BELLIER [20], QUARANTA [121])
 - Effet Venturi et tube de Pitot, mesure de vitesse d'un fluide
 - Mesure de la vitesse de l'écoulement par un anémomètre et par un tube de Pitot
 - Comparaison à celle obtenue par l'effet Venturi
 - Calcul du nombre de Reynolds pour confirmer l'hypothèse
3. Étude du profil d'une aile d'avion (QUARANTA [121])
 - Étude du profil d'une aile dans un écoulement parfait
 - Mesure des forces de portance et de traînée en fonction de l'angle d'attaque pour une vitesse de fluide donnée, et calcul du nombre de Reynolds
 - Tracé des coefficients aérodynamiques et de la finesse en fonction de l'angle d'attaque
 - Faire le lien avec une aile réelle et la limite de décrochage

Conclusion

Ce montage nous a permis d'étudier les fluides dans différents régimes. De cela, nous en déduisons plusieurs possibilités d'application industrielle en s'appuyant sur les lois physiques de ce domaine.

3.4 Capteurs de grandeurs mécaniques.

Rapport du jury 2016 : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse... Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, certaines grandeurs mécaniques varient dans le temps et il n'est pas obligatoire de se limiter aux grandeurs stationnaires.

Rapport du jury 2017 : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse... Le mot capteur dans ce montage signifie que les caractéristiques des capteurs : linéarité, finesse, gamme, sensibilité... doivent être étudiés.

Bibliographie :

- [2] Georges ASCH. *Les capteurs en instrumentation industrielle*. Dunod, 2010

- [20] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement. Tome I, optique, mécanique, fluides, transferts thermiques*. Dunod, 2012

Objectifs :

- Étudier les caractéristiques de capteurs de grandeurs mécaniques
- Construire deux capteurs de vitesse et discuter de leur pertinence

Plan

Introduction

Les capteurs de grandeurs mécaniques sont divers. En effet, une grande variété de grandeurs mécaniques existent, et plusieurs méthodes permettent d'accéder à chacune d'entre elles. Malgré tout, toutes les méthodes n'offrent pas le même niveau de précision ou de facilité de mise en œuvre pour une mesure fiable et aisée.

1. Capteur de déformation (BELLIER [20], ASCH [2])
 - Étude d'une jauge de contrainte
 - Gamme de linéarité
 - Sensibilité
 - Résolution
 - Fidélité
2. Capteur de vitesse : effet Venturi (BELLIER [20])
 - Mesure de la vitesse de l'écoulement par un anémomètre et par un manomètre
 - Calcul du nombre de Reynolds pour confirmer l'hypothèse
3. Capteur de fréquence : effet Doppler (BELLIER [20])
 - Construction d'un radar
 - Mesure d'une vitesse par une mesure de fréquence

Conclusion

Le choix de la méthode de mesure va se faire en fonction de la grandeur mécanique à mesurer, de la précision souhaitée, de l'amplitude du signal à mesurer et de la facilité de mise en œuvre globale pour effectuer cette mesure.

3.5 Mesure de température.

Rapport du jury 2016 : De nombreux candidats utilisent à bon escient les échelles secondaires de température (résistance de platine) et ont compris que la notion de point fixe est essentielle pour l'établissement d'une échelle thermométrique. En revanche, certains ignorent encore les mécanismes physiques mis en jeu dans les différents capteurs qu'ils utilisent et ne réfléchissent pas suffisamment à la précision requise lors de l'utilisation d'un thermomètre « de référence ». Enfin, il serait intéressant de faire intervenir des capteurs de température plus modernes, comme des caméras infrarouges.

Rapport du jury 2017 : Les caméras infrarouges entrent parfaitement dans le cadre de ce montage. Certains candidats font une erreur sur la mesure de la résistance par la méthode 4 fils à cause d'une copie non réfléchi de certains ouvrages. La question de la référence de température dans un thermomètre à thermocouple commercial ne doit pas surprendre les candidats.

Bibliographie :

- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978

Objectifs :

- Construire un thermomètre absolu
- Construire des thermomètres pour des domaines de température différents

Plan

Introduction

La mesure de température est un véritable enjeu. Outre la grande diversité des endroits où la connaissance de cette grandeur est importante, c'est surtout la plage de température qui rend la mesure difficile. Le bon thermomètre est à l'image de ces paramètres, choisi en fonction du domaine de température à étudier, de la précision et des références et des données qui sont à la disposition de l'expérimentateur.

1. Un thermomètre de référence (QUARANTA [122])
 - Thermomètre à gaz, rempli d'air
 - Construction d'un thermomètre absolu
 - Mesure de pression avec un manomètre étalonné ou un manomètre avec un tube en U²
2. Mesures relatives à moyenne température, le thermomètre à fil de platine (QUARANTA [122])
 - Construction d'un thermomètre à fil de platine
 - Mesure de température
 - Discussion des avantages, des inconvénients et du domaine de température mesurable
3. Mesures à hautes températures, thermopile et thermocouple³ (QUARANTA [122])
 - Mesure de la température d'un four par une thermopile et par un thermocouple
 - Discussion des avantages, des inconvénients et du domaine de température mesurable

Conclusion

Pour mesurer une température, il s'agit donc de choisir le thermomètre le plus adapté à la mesure à faire. Choisir un thermomètre absolu n'est pas nécessairement le meilleur choix vu la complexité de mise en œuvre, mais un thermomètre relatif peut être un bon choix, pour peu qu'il soit fait attention au domaine de température souhaité et à la précision requise.

3.6 Transitions de phase.

Rapport du jury 2016 : Ce montage doit être quantitatif et il ne faut donc pas se limiter à une série d'expériences qualitatives mettant en évidence des transitions de phases dans différents systèmes. Il faut, lors des mesures, avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés. Enfin, il faut rappeler aux candidats que le diazote n'est pas le seul liquide dont il est possible de mesurer la chaleur latente de vaporisation et que plonger un corps solide dans un liquide conduit à l'existence d'une force appelée poussée d'Archimède.

Bibliographie :

2. Il faut alors demander la valeur de la pression atmosphérique au technicien pour qu'il aille la chercher sur le site de météo-france. Celle-ci doit être celle à Saint Maur-des-Fossés le jour de l'oral.

3. Une alternative peut être la mesure d'un corps chaud par une caméra thermique ou un pyromètre commercial. Il reste tout de même à déterminer si le corps chauffé est un corps noir ou non.

- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978

Objectifs :

- Étudier la transition liquide-gaz d'un corps pur
- Étudier deux transitions que nous pouvons avoir dans un solide
- Mesurer une chaleur latente de vaporisation et une température de Curie

Plan

Introduction

Nous utilisons tous les jours les transitions de phase. En effet, dans certaines machines diathermes comme les réfrigérateurs, les transitions de phase sont utilisées pour transmettre de la chaleur ou exercer un travail. Il est donc important de comprendre les transitions de phase.

1. Transition liquide-gaz (QUARANTA [122])

a) Tracé d'une portion de courbe dans le diagramme PT

- Système ballon avec eau et pierre ponce dont on peut contrôler la température et la pression
- Faire le vide, chauffer, puis prendre le point une fois l'équilibre atteint
- Attention à la notion d'équilibre thermodynamique et de système supposé fermé. Dans cette expérience, la pompe doit être éteinte
- Poursuivre la prise de point en montant doucement la température et la pression
- Tracé du diagramme PT de l'eau, et le comparer aux valeurs tabulées

b) Loi de Clapeyron

- Mesure de la chaleur latente de vaporisation de l'eau avec la formule de Clapeyron
- Ajustement linéaire des points pris précédemment
- Comparaison avec une valeur tabulée
- Discussion de la valeur trouvée et de la qualification de bon fluide caloporteur de l'eau

2. Transitions de phase dans les solides (QUARANTA [122])

a) Transition allotropique du fer⁴

- Expérience du fil de fer chauffé à rouge par effet Joule, et refroidit brutalement
- Transition de phase visible en refroidissement.
- Si le fil est bien du fer pur, c'est une transition de phase entre deux phases solides qui est observée, si c'est un acier bas carbone, c'est une transition entre trois phases solides. Ainsi, celle-ci se fera à plus basse température.

b) Transition para-ferromagnétique

- Expérience du clou attiré par un aimant, chauffé par une flamme
- Permet de mettre en évidence la transition paramagnétique-ferromagnétique du fer
- Acquisition à l'aide d'un thermocouple fixé au clou pour une meilleure précision
- Attention à ne pas chauffer l'aimant !

4. Cette partie n'est pas quantitative, il faudrait donc songer à une amélioration de celle-ci ou son remplacement. La mesure du point triple de l'azote est envisageable. Il est possible de construire un modèle basique pour expliquer la dilatation du métal avec les données cristallographiques de la transition de phase.

- Analyse statistique du résultat, et comparaison à la valeur tabulée

Conclusion

Dans ce montage, nous avons vu différentes transitions de phases, d'ordre 1 et 2. Cette étude est très riche du fait de la diversité des transitions qui n'a été qu'esquissée ici.

3.7 Instruments d'optique.

Rapport du jury 2017 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. L'étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. Les candidats doivent comprendre quelles sont les conditions pour que la mesure du grossissement puisse se ramener à la mesure d'un grandissement lorsqu'ils présentent des dispositifs afocaux. Enfin, les candidats peuvent envisager l'utilisation de lunettes de visée afin d'améliorer leurs mesures de distances.

Bibliographie :

- [20] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement. Tome I, optique, mécanique, fluides, transferts thermiques*. Dunod, 2012
- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997

Objectifs :

- Construire une loupe
- Construire un microscope simplifié
- Déterminer la puissance et le grossissement de microscopes
- Mesurer la position du cercle oculaire
- Visualiser les effets des diaphragmes de champ et d'ouverture
- Déterminer la résolution du microscope

Plan

Introduction

Nous sommes tous équipés d'instruments d'optique : nos yeux. Malgré tout, ils ne sont pas infaillibles. En effet, lorsqu'il s'agit d'observer de fins détails comme les étoiles doubles ou les détails d'une cellule végétale, ils sont limités : ils n'ont pas une résolution suffisante. Il nous faut donc améliorer les caractéristiques de nos capteurs, et pour faire cela, nous utilisons des instruments d'optique : lunettes et télescopes pour agrandir les images vues de loin et microscopes et loupes pour grossir les détails de petits objets étudiés. Lors de ce montage, nous allons nous concentrer sur la construction et la caractérisation des outils pour voir les petits corps.

1. De la loupe au microscope
 - a) Loupe, avantages et inconvénients (SEXTANT [141])
 - Construction d'une loupe, avec une simple lentille convergente
 - Calcul de la puissance
 - Discussion des avantages et des inconvénients
 - b) Construction d'un microscope simplifié (BELLIER [20], HOUARD [86])
 - Justifier l'usage d'un microscope de table simplifié
 - Construction d'un œil et du microscope à étudier à l'aide de lentille dont la focale a été précisément mesurée par autocollimation
2. Étude du microscope simplifié

- a) Grandissement, puissance et grossissement (BELLIER [20])
 - Mesure du grandissement, de la puissance et du grossissement en faisant varier la distance objet-objectif
 - Vérification que la puissance et le grossissement varient bien linéairement en fonction de l'intervalle optique
- b) Position du cercle oculaire (BELLIER [20])
 - Mesure de la position du cercle oculaire et la comparer à la position calculée
 - Revenir sur son importance par rapport à la vision avec un œil réel
- c) Diaphragmes pour contrôler l'image (BELLIER [20])
 - Repérer les rôles des diaphragmes de champ et d'ouverture
 - Donner leurs rôles pour l'amélioration de l'image perçue par l'observateur
- d) Pouvoir de résolution (HOUARD [86])
 - Mettre en évidence la limite de résolution de l'appareil à l'aide d'un filtre interférentiel et d'un ensemble de bifente de Young
 - Connaissant la puissance du microscope, remonter à la taille de la bifente
- e) Profondeur de champ (BELLIER [20])
 - Mettre l'œil au cercle oculaire et le faire accommoder
 - En déduire la faible latitude de mise au point du microscope et discuter ses avantages et inconvénients

Conclusion

Durant ce montage, nous avons étudié la problématique de grossissement des objets que notre œil ne peut pas voir sans aide. Dans un premier lieu, nous avons étudié la loupe qui, tout en étant simple, ne présente pas des performances optimales. En effet, elle ne projette pas d'image à l'infini et possède une puissance assez faible. Nous nous sommes donc tourné vers le microscope, ici dans sa version simplifiée à l'extrême, pour gagner en performance.

3.8 Interférences lumineuses.

Rapport du jury 2016 : Il n'est pas raisonnable d'envisager d'apprendre à régler un interféromètre de Michelson devant le jury. Par ailleurs, les connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle doivent être reliées aux observations expérimentales. Enfin, il est judicieux de réaliser des expériences simples avant de se lancer dans des expériences sur les notions de cohérence.

Bibliographie :

- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997

Objectifs :

- Utiliser les deux méthodes d'interférométrie, la division de front d'onde et d'amplitude
- Les utiliser pour les extraire des informations contenues dans les sources utilisées
- Déterminer la température d'un corps par des seuls moyens optiques

Plan

Introduction

Toutes les ondes interfèrent. Cependant, nous ne nous en rendons pas compte à cause de la granularité de nos capteurs, tant en temps qu'en espace. Dans ce montage, nous allons utiliser

des interféromètres pour générer des interférences qui vont nous renseigner sur les propriétés de la lumière et de certains corps choisis.

1. Interférences par division du front d'onde (SEXTANT [141], HOUARD [86])
 - Dispositif des bifentes Young éclairées par une lampe Hg et un filtre interférentiel vert via une fente de largeur réglable, bien alignée
 - Acquisition de la figure d'interférence, attention au bruit
 - Mesure de l'interfrange et on remonte à l'écart entre les deux fentes
 - Rapprocher la fente source, le contraste se détériore par superposition d'un ensemble de figures d'interférences, on a donc besoin de la division d'amplitude pour les sources larges et on estime l'angle de cohérence de la source
2. Interférences par division d'amplitude (SEXTANT [141], DUFFAIT [53])
 - Réglage de l'interféromètre de Michelson, au choix avec un LASER ou une lampe spectrale accompagnée d'un filtre interférentiel
 - Mesure de la longueur de cohérence d'une source temporelle de la raie verte d'une lampe au mercure entre deux brouillages successifs
 - Spectrométrie interférentielle, battement du doublet jaune du mercure par transformée de Fourier ou par mesure des brouillages successifs
 - Mesure de la température d'un corps chaud par déformation de la figure d'interférence en conformation coin d'air⁵
3. Interférences et polarisation⁶ (SEXTANT [141])
 - Expérience de Fresnel-Arago avec un faisceau LASER élargi
 - Donner la condition d'interférence pour une lumière polarisée

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons employé deux interféromètres largement employés, l'un dans un cadre éducatif, le second dans un cadre industriel. En effet, celui-ci, couplé à la transformée de Fourier est un outil d'analyse très puissant et rapide pour effectuer des analyses poussées, dans l'infrarouge notamment.

3.9 Diffraction des ondes lumineuses.

Rapport du jury 2015 : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire.

Rapport du jury 2017 : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire. Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'ondes de lasers !

Bibliographie :

5. Cette mesure est placée en dernier, car elle nécessite un interféromètre de Michelson en coin d'air ! Mais ce n'est pas la plus compliquée des trois.

6. Une alternative peut être d'illustrer à la place de cette partie l'effet Zeeman à l'aide d'un interféromètre de Fabry-Pérot, mais cette partie est facultative.

- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997

Objectifs :

- Mettre en évidence les deux modes limites de diffraction
- Mesurer une distance à l'aide de la lumière
- Utiliser le théorème de Babinet pour effectuer un filtrage spatial

Plan

Introduction

La diffraction est un des aspects qui rend la théorie ondulatoire de la lumière irréfutable. Deux aspects de la diffraction coexistent, la diffraction de Fresnel et celle de Fraunhofer. Nous allons donc mettre en évidence ces deux régimes et employer la diffraction comme outil de mesure et d'action sur la lumière.

1. Diffractions de Fresnel et de Fraunhofer (DUFFAIT [53], SEXTANT [141])
 - a) Mise en évidence des deux régimes
 - Mise en évidence des différents régimes avec un LASER et une fente, le tout visualisé sur une caméra Caliens
 - Stabilisation de la figure d'interférence au-delà d'une certaine distance
 - b) Détermination du nombre de Fresnel
 - Calcul du nombre de Fresnel pour le montage
 - Lien avec les régimes observés
2. Détermination de la taille d'un cheveu (SEXTANT [141])
 - a) Paramètres d'influence sur la figure de diffraction
 - En régime de Fraunhofer, influence de la longueur d'onde
 - Influence de la distance fente écran
 - Influence de la largeur de la fente
 - b) Courbe d'étalonnage
 - Tracé de l'évolution de la taille de la tache en fonction de la largeur de la fente
 - c) Mesure de la taille d'un fil⁷
 - Théorème de Babinet
 - Déduction de la taille du fil par diffraction
 - Comparaison à l'information donnée par le fabricant
3. Optique de Fourier et filtrage spatial (HOUARD [86], SEXTANT [141])
 - a) Expérience d'Abbe
 - Montage pour l'optique de Fourier
 - Explication du rôle de chaque élément
 - b) Mesure du pas d'un réseau
 - Mesure du pas d'un réseau à l'aide de l'optique de Fourier
 - Comparaison à l'indication portée sur celui-ci

Conclusion

Dans ce montage, nous avons étudié la diffraction. Ici, nous avons mis en évidence les paramètres influençant la diffraction et ces applications. Cependant, la diffraction peut aussi être un inconvénient de poids. En effet, ce sont les phénomènes de diffraction qui limitent la résolution des appareils d'optique.

⁷ On pourrait remplacer cette partie par la mesure de spores de lycopodes qui est peut-être plus spectaculaire (SEXTANT [141])

3.10 Spectrométrie optique.

Rapport du jury 2017 : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. S'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

Bibliographie :

- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997

Objectifs :

- Utiliser des interférences pour discuter de la nature de la lumière
- Caractériser des sources lumineuses
- Discuter des avantages des diverses méthodes

Plan

Introduction

L'étude de la lumière est intéressante à bien des titres. Du chimiste qui veut connaître quel est le produit qu'il a synthétisé au physicien qui souhaite caractériser une source lumineuse, l'étude des spectres de la lumière est porteuse d'informations. Il existe deux types d'interféromètres capables de faire cela : ceux qui fonctionnent par division du front d'onde et ceux qui divisent l'amplitude des ondes lumineuses.

1. Spectrométrie à réseau (HOUARD [86], SEXTANT [141], DUFFAIT [53])
 - a) Paramètres influençant la spectrométrie à réseau
 - Paramètres pertinents pour la spectrométrie à réseau
 - Influence de la largeur de la fente d'entrée, du pas du réseau et du nombre de traits éclairés
 - b) Étalonnage d'un spectromètre à réseau
 - Étalonnage avec une source connue, comme Hg-Cd
 - Relation linéaire entre l'abscisse de la raie et la longueur d'onde
 - c) Utilisation d'un spectromètre à réseau commercial
 - Caractérisation d'une source spectrale à hydrogène à l'aide d'un spectromètre USB
 - Déduction de la constante de Rydberg
2. Spectrométrie interférentielle (HOUARD [86], SEXTANT [141], DUFFAIT [53])
 - a) Étude spectrale de la lampe à vapeur de sodium
 - Rappel de l'existence du doublet du sodium
 - Montage de l'interféromètre de Michelson en lame d'air
 - Mise en évidence des brouillages comme une conséquence du doublet
 - b) Spectrométrie par transformée de Fourier
 - Effectuer l'acquisition de l'évolution temporelle de l'éclairement au centre de la figure d'interférence à l'aide de la Caliens et du moteur de l'interféromètre de Michelson
 - Par transformée de Fourier inverse, retour sur la longueur d'onde moyenne du doublet de l'écart entre les deux raies

Conclusion

Lors de ce montage, nous avons vu deux méthodes qui nous permettent d'étudier le spectre de la lumière. Ceci est particulièrement important pour les raisons évoquées en introduction. De ces deux méthodes, nous garderons à l'esprit leur mise en œuvre plus ou moins complexe et la résolution qui est bien meilleure pour le spectromètre interférentiel dès lors que le temps d'acquisition est suffisamment long.

3.11 Émission et absorption de la lumière.

Rapport du jury 2017 : Ce montage ne devrait pas être confondu avec le montage « Spectrométrie optique ». Des expériences quantitatives sur l'absorption sont attendues. En outre, les propriétés d'émission du laser ne sont pas hors sujet.

Bibliographie :

- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990
- [91] Charles KITTEL. *Physique de l'état solide, cours et problèmes*. Dunod, 2007
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997
- [58] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 1, Point et systèmes de points, 1re année, MPSI-PCSI, cours et 162 exercices corrigés*. Dunod, 1996
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997

Objectifs :

- Étudier les modes d'émission et d'absorption de la lumière

Plan

Introduction

L'émission de la lumière, et son absorption ont longtemps été un problème pour les physiciens, en particulier avec les questions autour du corps noir. Cette lumière est donc un objet très intéressant pour le physicien, et qui est un vecteur d'un grand nombre d'informations.

1. Absorption de la lumière

- a) Vérification expérimentale de la loi de Beer-Lambert (DUFFAIT [53])
 - Montage à faire en lumière blanche, avec un filtre coloré, en utilisant du permanganate de potassium et un spectroscope USB
 - Mesure de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde et justification du filtre choisi
 - Montrer l'influence sur l'absorbance de la concentration et de la longueur de la cuve
 - Variation de la longueur de la cuve, et retour sur la loi exponentielle
 - Ouverture sur les dosages en chimie
- b) Calcul de l'énergie de gap d'un semi-conducteur (KITTEL [91])
 - Étude l'un semi-conducteur transparent en lumière blanche et coloré
 - Mesure de l'absorbance du semi-conducteur par spectrophotométrie
 - Mesure de la longueur d'onde correspondant à l'énergie de gap

2. Émission de la lumière

- a) Détermination de la constante de Rydberg (FAROUX [58])
 - Mesure du spectre d'émission en longueur d'onde d'une lampe spectrale à hydrogène avec un spectroscope USB
 - Détermination de la constante de Rydberg

- b) Rayonnement du corps noir (SEXTANT [141], QUARANTA [122])
 - Mesure de la température d'un four avec une thermopile et un thermocouple
 - Acquisition en montée de température et en descente de la tension de la thermopile
 - Vérifier la dépendance en puissance quatrième de la température dans la tension aux bornes de la thermopile

Conclusion

La lumière est un objet aujourd'hui bien connu, qui contient un grand nombre d'informations sur la source qui lui a donné naissance. Ces informations peuvent alors être utilisées pour caractériser cette source, comme c'est par exemple le cas pour les étoiles.

3.12 Photorécepteurs.

Rapport du jury 2016 : Dans ce montage, les questions classiques de métrologie peuvent être abordées : sensibilité, bande-passante et temps de réponse. Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. Plus généralement, il faut connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs. Remarquons pour finir que la notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.

Rapport du jury 2017 : Il ne faut pas perdre de vue les aspects de métrologie dans ce montage. Il faut aussi connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs.

Bibliographie :

- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [2] Georges ASCH. *Les capteurs en instrumentation industrielle*. Dunod, 2010
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997

Objectifs :

- Étudier des capteurs en fonction de leur mode de fonctionnement
- Étudier la performance de chaque capteur

Plan

Introduction

La lumière est un objet qui est aujourd'hui bien connu. Celui-ci est au centre d'un grand nombre d'expériences de physique et de chimie. Pour cela, il faut donc choisir le bon capteur, qui satisfera les contraintes expérimentales.

1. Photorécepteurs photoniques

- a) La photodiode (DUFFAIT [53], BELLIER [19], ASCH [2])
 - Présentation comme un détecteur photonique actif
 - Montage en inverse d'une photodiode avec une résistance

- Tracé de la caractéristique en utilisant la loi de Malus⁸
 - Visualisation de la sensibilité à la polarisation en faisant tourner un polariseur. Effet normalement léger qui justifie l'emploi d'un polariseur et d'un analyseur pour la loi de Malus
 - Linéarité du photorécepteur par la loi de Malus, limites de la linéarité
 - Mesure du temps de réponse du circuit par modification de la tension d'alimentation
- b) La photorésistance (DUFFAIT [53], BELLIER [19], ASCH [2])
- Présentation comme un détecteur photonique passif
 - Tracé de la caractéristique
 - Visualisation de la sensibilité à la polarisation en faisant tourner un polariseur. Effet normalement léger qui justifie l'emploi d'un polariseur et d'un analyseur pour la loi de Malus
 - Non-linéarité du photorécepteur par la loi de Malus, variation comme une loi de puissance de l'intensité lumineuse
 - Mesure du temps de réponse de la photorésistance avec un stroboscope
 - Comparatif des deux photorécepteurs photoniques
2. Un photorécepteur thermique, la thermopile (SEXTANT [141])
- Présentation comme un détecteur thermique actif en raison des thermocouples et de la sensibilité en température
 - Tracé de la caractéristique en utilisant la loi de Stefan et un four
 - Non-linéarité du photorécepteur
 - Mesure du temps de réponse

Conclusion

La grande variété des capteurs permet de choisir le capteur le plus adapté du point de vue de la facilité de mise en œuvre de la mesure et des contraintes imposées par l'expérience.

3.13 Biréfringence, pouvoir rotatoire.

Rapport du jury 2016 : Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées. Une connaissance minimale des milieux anisotropes est indispensable.

Bibliographie :

- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997

Objectifs :

- Étudier les propriétés optiques de matériaux
- Étendre le domaine d'étude à une technique de caractérisation en chimie

Plan

Introduction

La biréfringence est un phénomène original survenant avec une lumière dont la polarisation est contrôlée.

8. En mode X-Y sur l'oscilloscope, il peut être intéressant d'inverser la voie 2 dans les paramètres de celle-ci pour avoir la caractéristique prévue par la théorie au lieu du symétrique de celle-ci.

1. Étude d'une lame cristalline (DUFFAIT [53], SEXTANT [141])
 - Montage pour effectuer un spectre cannelé à partir d'un prisme à vision directe et d'une lame mince
 - Explication à partir d'un phénomène d'interférences
 - Acquisition du spectre avec spectroscopie à réseau USB
 - Calcul de la différence d'indice optique et comparaison avec la littérature
2. Propriétés optiques d'un barreau de plexiglas (SEXTANT [141])
 - Mise en évidence de la diffusion de la lumière par un barreau de plexiglas avec un LASER non polarisé
 - Mise en évidence des axes neutres du matériau et placer l'axe de polarisation du polariseur à 45° des axes
 - Caractérisation de la polarisation elliptique en sortie du barreau de plexiglas
 - Mesure à l'aide d'une caméra de la distance entre deux minima d'intensité lumineuse⁹
 - Calcul de la différence d'indice optique entre les deux axes
 - Application à la visualisation des contraintes dans les matériaux
3. Application à la loi de Biot (SEXTANT [141], HOUARD [86])
 - Construction d'un polarimètre avec une lampe à vapeur de sodium et une solution de glucose de concentration connue
 - Loi de Biot, dépendance en fonction de la concentration et de la longueur de cuve
 - Mesure de l'angle pour diverses longueurs de cuve¹⁰
 - Dépendance linéaire en fonction de la longueur de cuve et calcul du pouvoir rotatoire spécifique pour le glucose
 - Lien avec les deux expériences précédentes

Conclusion

Les propriétés de polarisation de la lumière peuvent être utilisées pour caractériser des matériaux ou des solutions en chimie organique.

3.14 Polarisation des ondes électromagnétiques.

Rapport du jury 2016 : Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que la loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée ; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Enfin, il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques.

Rapport du jury 2017 : Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que la loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée ; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Enfin, il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques. Par ailleurs, l'analyse d'une lumière polarisée quelconque par utilisation d'une lame quart d'onde dans un cas quelconque, sans comparaison avec rien de connu présente peu d'intérêt.

9. Attention aux problèmes de parallaxe lors d'une mesure de grandes distances avec une caméra. Ceux-ci peuvent engendrer une erreur non négligeable, tout comme les effets de vignettage de l'image qui sera exploitée par la suite.

10. Il est important de vérifier que la polarisation ne fasse plus d'un quart de tour en sortie de la cuve, car sinon il va y avoir des incertitudes sur les valeurs des angles mesurés.

Bibliographie :

- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997

Objectifs :

- Montrer divers moyens de polarisation de la lumière
- Vérifier la loi de Malus et caractériser une polarisation elliptique
- Étudier la réflexion vitreuse

Plan

Introduction

La polarisation des ondes électromagnétiques est un phénomène remarquable. C'est une caractéristique de la lumière, et une de ces applications majeure est l'affichage sur les écrans à cristaux liquides. Par défaut, la lumière n'est pas polarisée, comme celles du Soleil ou d'une lampe à incandescence par exemple. Il faut donc trouver des moyens de la polariser puis de l'analyser pour pouvoir la caractériser.

1. Polarisation, production et analyse (DUFFAIT [53], SEXTANT [141])
 - Vérification de la loi de Malus par régression linéaire
 - Choix d'une lampe spectrale non polarisée avec un filtre interférentiel et des polariseurs dichroïques
 - Utilisation d'une photodiode comme photorécepteur
2. Caractérisation d'une polarisation elliptique (SEXTANT [141])
 - Étude d'une polarisation elliptique créée par une lame biréfringente
 - Source LASER polarisée
 - Utilisation d'une photodiode comme photorécepteur
 - Mesure du taux d'ellipticité
3. Étude de la réflexion vitreuse
 - a) Mesure de l'angle de Brewster (DUFFAIT [53], SEXTANT [141])
 - Mesure de l'angle de Brewster avec un goniomètre et un LASER polarisé
 - Mesure de l'indice optique du matériau étudié
 - b) Mesure du coefficient en réflexion dans le plan d'incidence (DUFFAIT [53], SEXTANT [141])
 - Mesure du coefficient en réflexion pour le même matériau
 - Comparaison courbe calculée et mesurée

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons vu la production et l'analyse de lumière polarisée. Une application remarquable de celle-ci étant le cinéma en 3D.

3.15 Production et mesure de champs magnétiques.

Rapport du jury 2016 : La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électroaimant.

Rapport du jury 2017 : La mesure de champs de différents ordres de grandeur peut être intéressante. L'utilisation d'un électroaimant nécessite de savoir justifier le choix des pièces polaires, les non-linéarités champ-courant.

Bibliographie :

- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [4] Daniel AUBERT. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome III, L'électronique*. Pierron, 1992
- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité*. Pierron, 1996
- [109] Christian NGÔ. *Physique statistique : introduction, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2008

Objectifs :

- Étudier les moyens de production et de mesure des champs magnétiques
- Appliquer la mesure à la mesure du champ magnétique terrestre

Plan

Introduction

Les champs magnétiques sont produits par une circulation de charges électriques. Ce phénomène est original et possède un grand nombre d'applications.

1. Production de champs magnétiques (BELLIER [19])
 - a) Mise en évidence des champs magnétiques issus d'un aimant permanent
 - Mise en évidence des lignes de champ par saupoudrage de limaille de fer sur une plaque de verre placée au-dessus d'un aimant permanent, le tout sur un rétroprojecteur
 - b) Caractérisation du champ magnétique créé par des bobines de Helmholtz
 - Présentation de la sonde à effet Hall commerciale
 - Mesure du champ dans des bobines de Helmholtz
 - Comparaison du champ mesuré à la modélisation du champ issue de la théorie
 - Application aux endroits où il faut s'opposer au champ magnétique terrestre, comme lorsqu'il faut annuler tout champ magnétique lors d'une expérience de biologie par exemple
2. Construction d'une sonde à effet Hall (DONNINI [48], AUBERT [4], BELLIER [19], NGÔ [109])
 - Étalonnage d'un entrefer à l'aide d'une sonde à effet Hall commerciale
 - Tracé de la courbe donnant le champ magnétique en fonction de l'intensité appliquée
 - Placer la sonde à effet Hall sans changer la géométrie de l'entrefer
 - Tracé de la tension de Hall en fonction du champ dans l'entrefer à courant constant dans le semi-conducteur
 - Calcul de la résistance de Hall, donne le type de semi-conducteur
 - Calcul de la densité de porteurs de charge dans le semi-conducteur
 - Retour sur le lien entre les propriétés du semi-conducteur et des paramètres physique du système et la mesure du champ magnétique
3. Mesure de la composante horizontale du champ magnétique terrestre (BELLIER [19])
 - Mesure de la composante horizontale du champ magnétique terrestre et ajoutant un champ orthogonal contrôlé, par la méthode des tangentes
 - Mise en évidence de la composante horizontale et de la composante verticale du champ magnétique
 - Lien entre la déviation de l'aiguille de la boussole et le champ magnétique terrestre
 - Calcul de la norme du champ magnétique horizontal terrestre

Conclusion

Les applications des champs magnétiques pourront être développées dans d'autres montages. Ces méthodes de mesure et de production pourront alors servir à la quantification et à la production de champs magnétiques contrôlés.

3.16 Milieux magnétiques.

Rapport du jury 2016 : Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. L'étude du transformateur est marginale dans ce montage.

Rapport du jury 2017 : Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. Dans l'expérience de mesure de la susceptibilité paramagnétique du chlorure de fer III, le mécanisme de montée, ainsi que la position du ménisque dans l'entrefer de l'électroaimant doivent pouvoir être justifiés par les candidats.

Bibliographie :

- [32] Pierre BRENDERS. *Electrotechnique, PSI*. Bréal, 2004
- [69] Christian GARING. *Magnétisme : statique, induction et milieux, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1999
- [88] Michel JANNIN. « Cycle d'hystérésis magnétique ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 651 (1983)
- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990

Objectifs :

- Mettre en évidence et étudier les propriétés des matériaux avec le magnétisme
- Étudier la transition de phase du second ordre para-ferromagnétique

Plan

Introduction

Les milieux matériels réagissent pour partie à un champ magnétique. Ces réactions peuvent avoir des applications très utiles aujourd'hui.

1. Matériaux magnétiques et champs magnétiques
 - a) Diversité des milieux magnétiques (BRENDERS [32], GARING [69])
 - Étalonnage d'un entrefer à l'aide d'une sonde à effet Hall pour avoir une valeur du champ magnétique dans l'entrefer
 - Ne plus changer la géométrie du système
 - Mise au contact du champ magnétique un corps diamagnétique, paramagnétique et ferromagnétique
 - Discussion des divers comportements
 - b) Mesure de la susceptibilité paramagnétique du perchlorure de fer (GARING [69])
 - Mesure de la susceptibilité magnétique d'une substance paramagnétique en solution aqueuse
 - Mesure de la hauteur de déplacement en fonction du champ magnétique appliqué
 - Déduction de la susceptibilité magnétique
2. Transition para-ferromagnétique (QUARANTA [122])
 - Expérience du clou attiré par un aimant, chauffé par une flamme

- Permet de mettre en évidence la transition paramagnétique-ferromagnétique du fer
 - Acquisition à l'aide d'un thermocouple fixé au clou pour une meilleure précision
 - Attention à ne pas chauffer l'aimant !
 - Analyse statistique du résultat, et comparaison à la valeur tabulée
3. Étude d'un noyau de fer doux
- a) Cycle d'hystérésis et pertes fer (BRENDERS [32], JANNIN [88])
 - Mise en évidence des pertes fer dans un transformateur
 - Mesure des champs de saturation, rémanents
 - Discussion sur la dureté du matériau ferromagnétique
 - b) Courbe de première aimantation (BRENDERS [32], JANNIN [88])
 - Désaimantation du milieu magnétique
 - Courbe de première aimantation et saturation du milieu
 - Lien avec l'échelle microscopique et les domaines de Weiss

Conclusion

Une des applications majeure du magnétisme et des matériaux ferromagnétiques est le transformateur. Ce dispositif nous est aujourd'hui indispensable pour le transport et la transformation des courants électriques.

3.17 Métaux.

Rapport du jury 2016 : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. L'étude de caractéristiques mécaniques, par exemple, nécessite une mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux. Notons que pour les mesures de résistance, le principe et l'intérêt d'un montage quatre fils doivent être connus.

Rapport du jury 2017 : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. L'étude de caractéristiques mécaniques, par exemple, nécessite une mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux. Notons que pour les mesures de résistance, le principe et l'intérêt d'un montage quatre fils doivent être connus : il subsiste une confusion chez de nombreux candidats entre ce montage à quatre fils et la distinction entre courte et longue dérivation. Un montage à quatre points n'a pas pour but de seulement s'affranchir de la résistance des fils, contrairement à ce que pensent de nombreux candidats.

Bibliographie :

- [2] Georges ASCH. *Les capteurs en instrumentation industrielle*. Dunod, 2010
- [47] Bernard DIU. *Thermodynamique*. Hermann, 2007
- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990

Objectifs :

- Étudier les propriétés caractéristiques des métaux
- Comparer ces caractéristiques aux autres familles de matériaux

Plan

Introduction

Les métaux sont couramment utilisés aujourd'hui pour leurs caractéristiques originales. Ils sont d'une part ductiles, ce qui est un grand avantage dans la construction de véhicules, et ils ont aussi de grandes conductivités électrique et thermique. Cela en fait une catégorie de matériau très utile pour nos sociétés contemporaines.

1. Transition allotropique du fer (QUARANTA [122])
 - Transition allotropique du fer lors du refroidissement de celui-ci
 - Mise en évidence de la structure cristalline du métal
2. Métaux et résistivité électrique (ASCH [2])
 - Montage à quatre fils et principe de mesure des faibles résistances
 - Mesure de résistances de longs fils de métaux
 - Calcul de la conductivité de différents métaux
 - Comparaison aux valeurs tabulées
 - Discussion de la précision de la mesure
3. Conductivité thermique des métaux (DIU [47])
 - Présentation du principe de mesure par choc thermique dans des barres métalliques calorifugées
 - Mesure de la température en un point de la barre en fonction du temps
 - Calcul de la conductivité dans différents métaux
 - Comparaison aux valeurs tabulées
4. Propriétés mécaniques des métaux
 - Vitesse du son dans une barre métallique
 - Calcul du module d'Young
 - Comparaison aux valeurs tabulées et aux autres types de matériaux

Conclusion

La grande diversité des métaux et leurs propriétés leur permettent aujourd'hui une grande variété d'applications.

3.18 Matériaux semi-conducteurs.

Rapport du jury 2017 : La variété des matériaux semi-conducteurs fait qu'il est parfois difficile de savoir quel est le matériau utilisé dans un composant commercial, ou quel est le dopage dans certaines plaquettes. Les candidats mesurent alors des propriétés sans pouvoir les comparer à quoi que ce soit. Il vaut donc mieux utiliser des composants de caractéristiques connues. Par ailleurs, il est essentiel de connaître quelques ordres de grandeur, en particulier celui de l'énergie de gap et de la densité de porteurs.

Bibliographie :

- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité*. Pierron, 1996
- [4] Daniel AUBERT. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome III, L'électronique*. Pierron, 1992
- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [107] Christian NGÔ. *Physique des semi-conducteurs*. Dunod, 2007
- [91] Charles KITTEL. *Physique de l'état solide, cours et problèmes*. Dunod, 2007

Objectifs :

- Mesurer les caractéristiques des corps semi-conducteurs
- Étudier les interactions entre les semi-conducteurs et des grandeurs physiques

Plan

Introduction

Les semi-conducteurs ont des applications très variées, mais ils ont une importance toute particulière dans notre quotidien via l'électronique que nous utilisons. Ces matériaux, grâce à une résistivité comprise entre celles des métaux et des isolants, ont une énergie de gap qui leur est caractéristique. C'est une grandeur que nous chercherons à mesurer dans ce montage. Nous allons aussi mettre en évidence un effet très riche, l'effet Hall qui nous sert en tant que physiciens à quantifier les champs magnétiques.

1. Caractéristiques d'un capteur de température (BELLIER [19], DONNINI [48], AUBERT [4])
 - Mesure de la résistance d'une thermistance CTN en montée et en descente de température
 - Détermination du facteur k par régression linéaire, comparer aux valeurs de la fiche du composant
 - Calcul de l'énergie de gap dans le semi-conducteur
2. Construction d'une sonde à effet Hall (BELLIER [19], DONNINI [48], AUBERT [4], NGÔ [107])
 - Étalonnage d'un entrefer à l'aide d'une soude à effet Hall commercial
 - Tracé de la courbe donnant le champ magnétique en fonction de l'intensité appliquée
 - Placer la sonde à effet Hall sans changer la géométrie de l'entrefer
 - Tracé de la tension de Hall en fonction du champ dans l'entrefer à courant constant dans le semi-conducteur
 - Calcul de la résistance de Hall, donne le type de semi-conducteur
 - Calcul de la densité de porteurs de charge dans le semi-conducteur
3. Interaction semi-conducteur avec la lumière
 - a) Dépendance en longueur d'onde (KITTEL [91])
 - Étude l'un semi-conducteur transparent en lumière blanche et coloré
 - Mesure de l'absorbance du semi-conducteur par spectrophotométrie
 - Mesure de la longueur d'onde correspondant à l'énergie de gap
 - b) Dépendance en éclairement (DONNINI [48])
 - Tracé de la caractéristique d'une photodiode sous divers éclaircements via une loi de Malus
 - Mise en évidence des divers régimes de fonctionnement de la photodiode
 - Mesure de la tension de seuil de la jonction PN et linéarité du courant lors du montage en inverse en fonction de l'intensité lumineuse

Conclusion

Nous avons lors de ce montage la mesure de caractéristiques des semi-conducteurs étudiés ici. Ces semi-conducteurs étudiés ici peuvent avoir de multiples intérêt pour le physicien. Ici, nous pouvons nous servir des propriétés remarquables de ces matériaux comme capteur de température, de champ magnétique ou encore comme photorécepteurs.

3.19 Effets capacitifs.

Rapport du jury 2016 : Le montage ne se résume pas à l'étude du circuit RC. Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Le jury constate que l'étude de la propagation d'une impulsion dans un câble coaxial est, à juste titre, souvent proposée dans ce montage, mais que les propriétés physiques de ce phénomène sont souvent mal maîtrisées.

Rapport du jury 2017 : La connaissance du principe d'un RLC mètre est essentielle dans ce montage.

Bibliographie :

- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité.* Pierron, 1996
- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique.* Dunod, 2012
- [28] Jean-Marie BRÉBEC. *Ondes, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT*.* Hachette supérieur, 2004

Objectifs :

- Étudier les effets capacitifs et les paramètres les influençant
- Mesurer deux capacités sur des outils utilisés régulièrement par les physiciens

Plan

Introduction

En tant que physiciens, les effets capacitifs nous entourent. Ils surviennent lorsque deux conducteurs soumis à des potentiels différents sont en regard au travers d'un diélectrique ; c'est la formation d'un condensateur. La majeure partie de ces effets sont indésirables et viennent perturber les mesures si on travaille à haute fréquence du fait du caractère passe-bas des filtres RC, mais ils peuvent aussi être utiles en permettant de réaliser des mesures. Il est donc important de montrer comment ce phénomène apparaît pour pouvoir bien le contrôler.

1. Paramètres influençant les effets capacitifs

- a) Influence de la distance entre les armatures (DONNINI [48])
 - Mesure de la capacité d'un condensateur d'Aepinus avec un RLC résonant à la résonance ayant un grand facteur de qualité
 - Mesure en fonction de la distance entre les armatures
 - Loi donnant la capacité en fonction de la distance
 - Déduction de la permittivité diélectrique du vide par régression linéaire
- b) Influence du diélectrique (DONNINI [48])
 - Mesure au capacimètre la capacité du condensateur en fonction du diélectrique entre les armatures, air ou eau
 - Présentation du fonctionnement d'un capacimètre
 - Déduction de la permittivité relative de l'eau

2. Applications

- a) Mesure de la capacité d'un câble coaxial (BELLIER [19], BRÉBEC [28])
 - Présentation du câble coaxial et de son modèle
 - Calcul de la fréquence maximale que l'on peut envoyer dans câble de grande longueur pour que le signal de sortie ne soit pas plus déphasé que 180° par rapport au signal d'entrée
 - Mesure de la vitesse de l'onde électromagnétique dans le câble et de la permittivité diélectrique relative du matériau
 - Calcul de la capacité linéique et de la capacité du câble coaxial entier
- b) Mesure de la capacité d'entrée d'un oscilloscope en mode DC (BELLIER [19])
 - Mesure de la capacité d'entrée d'un oscilloscope
 - Mesure du déphasage entre la voie AC et la voie DC d'un oscilloscope

Conclusion

Dans ce montage, nous avons pu en premier lieu étudier les effets capacitifs et les facteurs capables d'influer sur leur force. Nous avons en particulier décrit les effets néfastes de ces effets sur la mesure via l'oscilloscope, mais nous devons garder à l'esprit qu'ils peuvent être utilisés de manière analogue au condensateur d'Aepinus pour mesurer de très courtes distances.

3.20 Induction, auto-induction.

Rapport du jury 2016 : Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre. Les mesures ne doivent pas se résumer à l'étude d'un circuit RL. Par ailleurs, la notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation. Le transformateur aurait sa place dans ce montage.

Rapport du jury 2017 : Les notions d'induction, auto-induction, induction mutuelle sont souvent mal comprises rendant l'interprétation délicate de certains résultats.

Bibliographie :

- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité*. Pierron, 1996
- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012

Objectifs :

- Mettre en évidence le phénomène d'induction et mesure d'une inductance mutuelle
- Étudier un transformateur

Plan

Introduction

Lors de la circulation de charges électriques dans un conducteur enroulé sur lui-même, un champ magnétique est créé. Cela est la brique de base pour la fabrication des transformateurs.

1. Induction et inductance mutuelle (DONNINI [48])
 - Production d'un signal triangle à l'aide d'un GBF
 - Pour différentes fréquences, détermination de la fem
 - Inverser les deux bobines pour montrer que le coefficient d'inductance mutuelle reste le même
2. Caractérisation d'un transformateur
 - a) Caractérisation du transformateur idéal à vide (DONNINI [48])
 - Détermination du rapport de transformation d'un transformateur
 - b) Mesure de la permittivité relative du matériau constitutif du transformateur (DONNINI [48])
 - Calcul du champ magnétique à partir de la tension efficace
 - Dédution de μ_r à partir du théorème d'Ampère
3. Auto-induction, mesure d'inductance propre (DONNINI [48], BELLIER [19])
 - Détermination du temps caractéristique τ pour différentes valeurs de résistance

Conclusion

Les applications des bobines sont très utiles dans notre monde contemporain. Les transformateurs sont couramment utilisés aujourd'hui, tout comme les détecteurs de présence des véhicules aux feux tricolores.

3.21 Production et conversion d'énergie électrique.

Rapport du jury 2017 : Le principe de fonctionnement des dispositifs utilisés (moteurs, tachymètres, variateurs...) doit être connu afin que la présentation illustre pleinement le sujet et ne se limite pas à des mesures de rendement. D'autre part, lors de l'étude de dispositifs de production et de conversion d'énergie électrique, la notion de point de fonctionnement nominal est importante ; en particulier, des mesures de puissance de l'ordre du mW ne sont pas réalistes. Enfin, les modèles utilisés pour décrire ces dispositifs ne doivent pas être trop simplifiés, au risque d'obtenir des écarts excessifs entre les modèles et les systèmes réels.

Bibliographie :

- [32] Pierre BRENDERS. *Electrotechnique, PSI*. Bréal, 2004
- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité*. Pierron, 1996
- [52] Roger DUFFAIT. *Expériences d'électronique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1999
- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012

Objectifs :

- Étudier le fonctionnement d'une dynamo et caractériser son fonctionnement
- Mettre en évidence le principe de fonctionnement d'un transformateur et établir son point de fonctionnement nominal
- Mettre en œuvre la conversion AC-DC et la stabilisation de ce dernier pour une application électronique

Plan

Introduction

L'énergie électrique nous est indispensable sous toutes ses formes, alternative ou continue, de grande ou de petite tension. Nous allons donc étudier un moyen de production et de deux moyens de transformation de celle-ci.

1. Conversion électromécanique

- a) Caractérisation de la dynamo à vide (DONNINI [48], BRENDERS [32])
 - Production d'une tension continue à l'aide d'une dynamo équipée d'un couplemètre et d'un tachymètre
 - Caractéristique de la fem en fonction de la vitesse de rotation de l'induit
 - Déterminer le paramètre k caractéristique de la génératrice
- b) Caractérisation de la dynamo en charge (DONNINI [48], BRENDERS [32])
 - Tracé de la caractéristique couple en fonction de l'intensité
 - Déterminer le paramètre k caractéristique de la génératrice, qui est identique à celle établie précédemment
- c) Rendement de la conversion (DONNINI [48], BRENDERS [32])
 - Calcul du rendement de la conversion électromécanique
 - Établissement du point de fonctionnement nominal dans ces conditions

2. Caractéristique d'un transformateur

- a) Rapport de transformation à vide et en charge (DONNINI [48], BELLIER [19], BRENDERS [32])
 - Étude d'un transformateur abaissant la tension

- Calcul du facteur de transformation théorique, et vérification à vide en comparant au facteur de transformation expérimental
 - En charge, étude du rendement et des facteurs de transformation pour le courant et la tension
 - Établissement du point de fonctionnement nominal
- b) Rendement de la conversion et bilan des pertes (DONNINI [48], BELLIER [19])
- Estimation des pertes à vide au point de fonctionnement nominal (pertes fer) et en court-circuit (pertes cuivre)
 - Prédiction du comportement du transformateur autour du point de fonctionnement nominal
3. Conversion AC-DC et stabilisation de la tension continue
- a) Redressement double-alternance et stabilisation RC (DUFFAIT [52], BELLIER [19])
- Nombreux appareils nécessitant une tension continue stabilisée de 5V
 - Pont redresseur double-alternance pour redresser la tension alternative
 - Stabilisation sommaire par un RC à grande constante de temps
 - Calcul du taux d'ondulation en fonction du courant demandé par la charge
 - Détermination pour quels courants la stabilisation est efficace
- b) Utilisation d'un RIT 7805 (DUFFAIT [52], BELLIER [19])
- Utilisation d'un RIT 7805 pour une stabilisation à 5V
 - Présentation du fonctionnement interne du RIT
 - Permet d'accéder à des intensités plus importantes pour une tension stable

Conclusion

Lors de ce montage, nous avons mis en évidence un moyen de production d'énergie électrique, et deux moyens de transformation de celle-ci. Notons que ce montage n'est pas exhaustif. En effet, l'énergie électrique aujourd'hui produite par des alternateurs dans les centrales électriques et d'autres moyens de transformation de l'énergie électrique existent comme les hacheurs pour la conversion DC-DC.

3.22 Amplification de signaux.

Rapport du jury 2016 : L'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. On peut, au contraire, envisager des circuits simples à base de transistor(s). D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement.

Rapport du jury 2017 : L'amplificateur opérationnel (AO) permet l'étude de systèmes d'amplification dans le contexte de l'instrumentation, dont l'étude peut être envisagée dans ce montage. Ce dernier comporte néanmoins de nombreux circuits internes de compensation, résultant en des limitations techniques qu'il faut connaître ; ainsi si l'étude de circuits à AO pour l'amplification de signaux peut être abordée dans ce montage, d'autres circuits simples à bases de transistor(s) peuvent être également envisagés. D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement.

Bibliographie :

- [72] Thierry GERVAIS. *Électronique. Tome I, Outils d'analyse des signaux et fonctions électroniques de base, cours & exercices corrigés*. Vuibert, 2012
- [52] Roger DUFFAIT. *Expériences d'électronique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1999

- [4] Daniel AUBERT. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome III, L'électronique*. Pierron, 1992

Objectifs :

- Étudier le fonctionnement, les avantages et les inconvénients d'un amplificateur

Plan

Introduction

En électronique, les signaux sont habituellement amplifiés avant d'être traités. En effet, lors de la propagation de l'information, celle-ci se trouve atténuée. Pour la rendre exploitable, il faut l'amplifier, ce qui implique l'utilisation d'amplificateurs.

1. Caractéristiques d'un transistor bipolaire (GERVAIS [72], DUFFAIT [52], AUBERT [4])
 - Tracé de la caractéristique du transistor bipolaire pour différents courants de base
 - Montage à transistor simple
 - Déduction du gain en intensité, possibilité d'amplification
 - Notion de plage de fonctionnement pour ne pas dépasser la puissance maximale du transistor
2. Amplificateur à émetteur commun (GERVAIS [72], AUBERT [4])
 - Présentation du quadripôle amplificateur
 - Cas du transistor à émetteur commun, amplificateur de classe A
 - Montage à résistance d'émetteur découplée et pont de base
 - Visualisation de l'amplification en tension
 - Distorsion, impédances et rendement de l'amplificateur
 - Avantages et inconvénients de la classe A, besoin d'une classe B
3. Amplificateur push-pull (GERVAIS [72], AUBERT [4])
 - Cas de l'amplificateur push-pull, amplificateur classe B
 - Visualisation de la tension amplifiée
 - Distorsion et correction de celle-ci
 - Avantages et inconvénients de la classe B

Conclusion

Les amplificateurs sont donc des objets très utiles au quotidien, que nous utilisons sans même nous en rendre compte. En électronique, l'amplification opérationnelle a permis l'utilisation d'amplificateur pour modifier des signaux, de manière à leur appliquer des opérations mathématiques.

3.23 Mise en forme, transport et détection de l'information.

Rapport du jury 2016 : Ce montage ne se restreint pas à la modulation d'amplitude. Il semble en particulier important d'aborder le cas des signaux numériques modernes. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence.

Rapport du jury 2017 : La transmission de signaux numériques n'est malheureusement jamais abordée.

Bibliographie :

- [28] Jean-Marie BRÉBEC. *Ondes, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004
- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012

- [52] Roger DUFFAIT. *Expériences d'électronique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1999
- [74] Michel GIRARD. *Boucles à verrouillage de phase*. McGraw-Hill, 1988

Objectifs :

- Étudier la transmission de l'information au travers d'un câble coaxial
- Étude de la mise en forme d'un signal analogique et numérique

Plan

Introduction

De la transmission intercontinentale des flux internet ou la transmission d'information entre une borne relais et un téléphone portable, nous cherchons à transmettre des informations dans des situations et des contraintes variables.

1. Transmission de l'information par câble (BRÉBEC [28])
 - a) Vitesse de propagation du signal et caractéristiques du câble
 - Envoi d'une impulsion dans un câble coaxial de grande longueur
 - Mesure de la vitesse de propagation de l'onde dans le câble
 - Calcul des propriétés du câble en lien avec l'équation des télégraphistes
 - b) Atténuation du signal et débit d'information maximal
 - Mise en évidence de l'atténuation du signal et de son élargissement
 - Conclusion sur le débit maximal dans le câble
2. Modulation et démodulation d'amplitude d'un signal analogique (BELLIER [19], DUFFAIT [52])
 - a) Modulation d'un signal sinusoïdal
 - Modulation d'un signal sinusoïdal avec porteuse par un multiplieur analogique
 - Discussion de la qualité de la modulation en fonction du taux de modulation
 - Étendue spectrale de la modulation d'amplitude
 - b) Démodulation par détecteur de crête
 - Principe du détecteur de crête avec redresseur mono-alternance et un filtre passe-bas
 - Dimensionnement du filtre passe-bas
 - Démodulation et analyse spectrale
3. Modulation et démodulation de fréquence d'un signal numérique (DUFFAIT [52], GIRARD [74])
 - a) Modélisation d'un signal numérique et modulation de fréquence
 - Simulation d'un signal numérique par un signal créneau
 - Caractérisation d'une boucle à verrouillage de phase et visualisation de la modulation de fréquence
 - b) Démodulation de fréquence
 - Présentation d'un démodulateur de FSK
 - Démodulation du signal modulé et comparaison des signaux d'entrée et démodulé

Conclusion

Une transmission de l'information efficace nécessite une mise en forme de l'information et le choix d'une technique de transmission adaptées aux contraintes physiques et du signal.

3.24 Signal et bruit.

Rapport du jury 2016 : Les notions d'erreur de quantification et de rapport signal sur bruit ne sont pas bien dégagées. Pour la numérisation d'un signal, il faut mettre en évidence le rôle de l'échantillonnage et ses conséquences.

Rapport du jury 2017 : La mesure du bruit thermique d'une résistance est une très jolie expérience à la condition de comprendre les différents étages d'amplification nécessaires dans ces expériences. L'utilisation de boîtes noires non justifiée a été sanctionnée par le jury.

Bibliographie :

- [4] Daniel AUBERT. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome III, L'électronique*. Pierron, 1992
- [52] Roger DUFFAIT. *Expériences d'électronique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1999

Objectifs :

- Illustrer un exemple de filtrage analogique avec la détection synchrone
- Monter une ligne de numérisation d'un signal analogique
- Faire une analyse fréquentielle d'un signal périodique

Plan

Introduction

Le monde du physicien est fait de signaux qu'il faut filtrer, acquérir et analyser. C'est le cas de presque toutes les expériences produites en montage où il faut mesurer un signal électrique. Dans ce montage, nous nous proposons de filtrer un signal numérique étape souvent préalable à son acquisition. Ensuite, nous verrons les étapes de la conversion analogique numérique, puis enfin, comment mener une analyse spectrale sur un signal périodique complexe.

1. Détection synchrone (DUFFAIT [52])
 - Mise en place d'une détection synchrone pour extraire un signal de fréquence et de phase connue
 - Caractérisation du montage et du facteur de proportionnalité du multiplicateur du montage
2. Conversion analogique-numérique
 - a) Chaîne d'acquisition (DUFFAIT [52], AUBERT [4])
 - Présentation de la chaîne d'acquisition
 - b) Linéarité du convertisseur numérique analogique (DUFFAIT [52], AUBERT [4])
 - Vérification de la linéarité du convertisseur analogique numérique
 - Mesure de la tension délivrée en fonction du décimal affiché sur 4 bits
 - Déduction de l'incertitude liée au pas du convertisseur numérique analogique
 - c) Convertisseur analogique numérique en simple rampe (DUFFAIT [52], AUBERT [4])
 - Mesure d'une tension continue avec le convertisseur analogique numérique
 - Visualisation de la rampe sur un signal sinusoïdal
 - Inconvénient : l'échantillonnage long et sur une durée non constante
 - d) Convertisseur analogique numérique par approximations successives (DUFFAIT [52], AUBERT [4])
 - Mesure d'une tension continue avec le convertisseur analogique numérique
 - Visualisation de l'ajustement sur un signal sinusoïdal
 - Avantage : plus rapide et durée de mesure constante

3. Analyse fréquentielle (DUFFAIT [52])

- Étude d'un signal créneau à l'ordinateur
- Mise en évidence du critère de Shannon et des paramètres pour faire une bonne analyse spectrale

Conclusion

Lors de ce montage, nous avons illustré une chaîne d'acquisition et de traitement des signaux telle qu'utilisée dans les oscilloscopes. C'est donc un bon moyen de comprendre les limitations et caractéristiques des appareils d'acquisition utilisés au laboratoire.

3.25 Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).

Rapport du jury 2015 : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse.

Rapport du jury 2016 : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences dans une large gamme. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse. Ainsi le jury souhaiterait que le stroboscope ne soit plus utilisé comme fréquencemètre pour l'étude des résonances de la corde de Melde.

Rapport du jury 2017 : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences dans une large gamme. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse. Ainsi le jury souhaiterait que le stroboscope ne soit plus utilisé comme fréquencemètre pour l'étude des résonances de la corde de Melde.

Bibliographie :

- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [110] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2009
- [87] Cédric JAI. « Oscillateur en interaction ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 892 (2007)

Objectifs :

- Mesurer des fréquences par différentes méthodes physiques
- Mesurer une autre grandeur physique à l'aide d'une mesure de fréquence

Plan

Introduction

Les fréquences sont des objets intéressants pour le physicien, car ils permettent d'étudier les résonances des systèmes ou d'accéder à d'autres grandeurs mécaniques.

1. Principe de la mesure de fréquence (BELLIER [19])

- Mesure de la fréquence d'oscillation d'un pendule simple aux petits angles et grands angles
- Mise en évidence de la comparaison d'un temps par rapport à une horloge étalonnée

2. Mesure par transposition de fréquence
 - a) Corde de Melde et stroboscope¹¹ (OLIVIER [110])
 - Mesure de la fréquence de résonance électronique
 - Mesure par transposition avec le stroboscope
 - b) Balance acoustique (JAI [87])
 - Mesure d'un poids par mesure acoustique
3. Application des mesures de fréquence (OLIVIER [110])
 - Mesure de la vitesse d'un mobile par effet Doppler

Conclusion

Les mesures de fréquences peuvent être faites avec une grande précision à l'aide du matériel disponible aujourd'hui. Ces mesures peuvent servir à accéder à d'autres grandeurs.

3.26 Mesure de longueurs.

Rapport du jury 2015 : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du réglet comme outil de mesure. Par ailleurs, la mesure d'une longueur de cohérence n'a pas en soi sa place dans ce montage.

Rapport du jury 2017 : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du réglet comme outil de mesure. L'utilisation de mesures utilisant des interférences optiques conduit à des mesures intéressantes dont on pourra discuter la précision par rapport à des mesures plus directes.

Bibliographie :

- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997
- [3] Neil W. ASHCROFT. *Physique des solides*. EDP Sciences, 2002

Objectifs :

- Effectuer des mesures de distances de différents ordres de grandeur
- Comparer la précision des méthodes étudiées

Plan

Introduction

La mesure des distances est une chose commune. Selon l'ordre de grandeur de taille de l'objet à mesurer et la précision souhaitée, la méthode peut varier.

1. Mesure de longueur par temps de vol
 - Mesure par temps de vol d'une distance dans l'air et dans l'eau
 - Envoi et réception de trains d'onde ultrasonores
 - Détermination de la vitesse du son dans l'air avec la pression et la température du jour¹²
 - Comparaison de la mesure par temps de vol à celle effectuée avec un banc gradué
2. Mesure par diffraction (SEXTANT [141], DUFFAIT [53])
 - Diffraction d'une distribution de spores de lycopes
 - Présentation des spores comme une distribution homogène en dimension et en forme
 - Caractérisation de la figure de diffraction

11. Compte tenu des rapports du jury, cette partie ne devrait pas être traitée, sauf s'il s'agit de comparer deux techniques de mesure de fréquences temporelles et de critiquer celle faite avec le stroboscope.

12. Ce sont des informations à demander au technicien.

- Calcul de la taille des spores et comparaison de la valeur à celle de la littérature
- Limitations de la technique de mesure de longueur
- 3. Interférence et épaisseur d'une lame de verre (SEXTANT [141], DUFFAIT [53])
 - Interféromètre de Michelson réglé en coin d'air au contact optique en lumière blanche et laser
 - Justifier le rôle du laser comme une règle de graduation d'une demi-longueur d'onde
 - Mesure de l'épaisseur d'une lamelle de verre
 - Comparaison de la mesure avec la règle laser et le pied à coulisse
- 4. Mesure d'un paramètre de maille (ASHCROFT [3])
 - Mesure du paramètre de maille d'un échantillon cristallin par diffraction des électrons
 - Justification du choix de la technique pour sonder la matière
 - Mesure du paramètre de maille de l'échantillon

Conclusion

Les distances mesurables en laboratoire vont de l'ordre du mètre à quelques nanomètres. La variété des méthodes de mesure permet des mesures de tous les systèmes, malgré leur grande diversité.

3.27 Systèmes bouclés.

Rapport du jury 2017 : Ce montage concerne la physique des asservissements et / ou celle des oscillateurs auto-entretenus. Une maîtrise minimale des montages élémentaires est requise. Certains aspects des systèmes bouclés peuvent être élégamment illustrés par des montages comme l'oscillateur à quartz, compte tenu de son fort facteur de qualité.

Plan

Ayant droit à une impasse, la préparation de ce montage n'a pas été assurée.

3.28 Instabilités et phénomènes non-linéaires.

Rapport du jury 2016 : Il s'agit de bien d'illustrer quelques caractéristiques des systèmes non linéaires, de préférence dans différents domaines de la physique. Selon le (ou les) système(s) choisi(s) pour illustrer ce montage, on peut penser à la pluralité des positions d'équilibre, au phénomène de bifurcation, à l'enrichissement spectral, au ralentissement critique...

Rapport du jury 2017 : Ce montage ne peut pas se limiter à étudier le non isochronisme des oscillations du pendule pesant.

Bibliographie :

- [58] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 1, Point et systèmes de points, 1re année, MPSI-PCSI, cours et 162 exercices corrigés*. Dunod, 1996
- [93] Michel KROB. *Électronique expérimentale : agrégation de sciences physiques*. Ellipses, 2002
- [82] Étienne GUYON. *Hydrodynamique physique*. EDP sciences, 2012
- [50] Roger DUFFAIT. « Étude expérimentale des oscillateurs mécaniques ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 867 (2004)
- [13] Mathieu BARTHÉLÉMY. « Un dispositif simple de visualisation de l'instabilité de Rayleigh-Bénard ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 931 (2011)

Objectifs :

- Mise en évidence du caractère non-linéaire d'un système connu comme étant linéaire

- Étude d'un système non-linéaire avec son équation
- Étude des bifurcations d'un système non-linéaire

Plan

Introduction

Les phénomènes non-linéaires sont des objets surprenants pour le physicien. Leur description est parfois ardue, mais les limites entre un système linéaire et un système non-linéaire peuvent être étudiées.

1. Passage du linéaire au non-linéaire
 - a) Étude du pendule aux petits angles (FAROUX [58], DUFFAIT [50])
 - Mesure de la période aux petits angles
 - Isochronisme des oscillations
 - Justification de l'approximation faite dans les équations
 - b) Non-linéarité et grands angles (FAROUX [58], DUFFAIT [50])
 - Visualisation de la perte de l'isochronisme aux grands angles
 - Formule de Bordas, adéquation entre la théorie et l'expérience
 - Portrait de phase de l'oscillateur, non-linéarités de celui-ci
2. Oscillateur de Van der Pol
 - a) Équation de Van der Pol (KROB [93])
 - Équation de Van der Pol et non-linéarités
 - Discussion des différents termes de l'équation
 - b) Caractérisation de l'oscillateur (KROB [93])
 - Réalisation expérimentale électronique de l'oscillateur
 - Discussion du rôle de chaque élément
 - Condition de démarrage des oscillations et portrait de phase
 - Caractérisation de l'oscillateur
3. Instabilités et mécanique des fluides (GUYON [82], BARTHÉLÉMY [13])
 - Présentation du phénomène
 - Visualisation de l'instabilité
 - Estimation du nombre de Rayleigh et comparaison avec les valeurs tabulées
 - Mise en évidence des bifurcations

Conclusion

Les systèmes non-linéaires, avec des bifurcations sont des systèmes fréquents dans la nature. Leur étude est parfois difficile, mais l'équation constitutive du système permet de l'étudier plus aisément.

3.29 Ondes : propagation et conditions aux limites.

Rapport du jury 2017 : Ce montage est riche, car l'existence de conditions aux limites permet l'apparition de phénomènes aussi variés que la réflexion, la réfraction, la diffraction, les interférences... Dans ce contexte, on veillera à bien distinguer ondes stationnaires et ondes stationnaires résonantes. Notons enfin que la notion d'impédance caractéristique n'est pas limitée au câble coaxial. Enfin, la détermination de la fréquence de résonance de la corde de Melde à l'aide d'un stroboscope n'a pas de sens quand la corde est utilisée avec un générateur basse fréquence muni d'un fréquencemètre avec cinq digits.

Bibliographie :

- [28] Jean-Marie BRÉBEC. *Ondes, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004
- [82] Étienne GUYON. *Hydrodynamique physique*. EDP sciences, 2012
- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [95] Christophe LAGOUTTE. « À propos des ondes de la cuve à ondes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 852 (2003)

Objectifs :

- Étudier la propagation d'ondes dans différents milieux
- Étudier l'influence des limites du milieu sur l'onde

Plan

Introduction

Les ondes sont utilisées par le physicien pour transmettre de l'information. Leur propagation dépend du milieu dans lequel elles se propagent, et les limites de ces milieux engendrent des effets intéressants à étudier.

1. Propagation libre des ondes mécanique dans une cuve à onde (LAGOUTTE [95], GUYON [82])
 - Mesure de la vitesse de phase et de la longueur d'onde pour différentes fréquences pour montrer que le milieu est dispersif
 - Détermination de la tension superficielle de l'eau
2. Ondes sonores dans l'air
 - Mesure de la vitesse des ondes sonores dans l'air
 - Lien avec la fréquence du mode N à la célérité
3. Propagation guidée des ondes dans le câble coaxial (BELLIER [19], BRÉBEC [28])
 - Montrer l'influence des conditions limites sur la propagation
 - Détermination de la vitesse de l'onde
 - Détermination de la permittivité relative du matériau

Conclusion

Les ondes se propagent, et en fonction du milieu dans lequel elles se propagent, leur comportement diffère. En particulier, si ce milieu est limité dans l'espace, une onde confinée fait apparaître des modes de propres.

3.30 Acoustique.

Rapport du jury 2015 : Les phénomènes d'interférences, de réflexion / transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre, le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. En tout état de cause, le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son. Signifions enfin que les mesures d'atténuation des ondes acoustiques dans l'air qui ont été proposées par les candidats n'ont pas donné de résultats probants.

Rapport du jury 2016 : Les phénomènes d'interférences, de réflexion / transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre, le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. En tout état de cause, le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son.

Rapport du jury 2017 : Ce montage se limite souvent à la mesure de la célérité du son dans l'air et à l'étude du diapason. La propagation dans d'autres milieux que l'air est appréciée par le jury.

L'utilisation de la représentation de Lissajous pour mettre en évidence les passages en phase n'est pas généralisée. L'utilisation d'émetteurs et récepteurs ultrasonores est répandue, mais leur principe de fonctionnement doit être connu. Par ailleurs, certains dispositifs commerciaux conduisent à des réflexions parasites qui perturbent les mesures. Le choix de dispositifs plus performants conduit à des mesures plus satisfaisantes.

Bibliographie :

- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pieron, 1992
- [23] Frédéric BERNARDOT. « Un archétype d'oscillateur : le résonateur acoustique de Helmholtz ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 845 (2002)

Objectifs :

- Effectuer une mesure de la vitesse du son
- Construction d'un capteur de grandeur mécanique basé sur les ondes acoustiques

Plan

Introduction

Les ondes acoustiques sont celles que nous utilisons pour communiquer. Ce sont des ondes mécaniques qui nécessitent un milieu matériel support pour se propager. Celles présentent les caractéristiques des ondes et leur célérité dépend du milieu dans lequel elles se propagent.

1. Vitesses du son (QUARANTA [121])
 - a) Vitesse de phase dans l'air
 - Utilisation du trombone de Kœnig pour déterminer la vitesse du son dans l'air
 - Mise en évidence du caractère ondulatoire des ondes acoustique
 - b) Vitesse de groupe dans l'aluminium
 - Mesure de la vitesse de groupe dans un barreau d'aluminium
 - Comparaison à la valeur tabulée
2. Radar acoustique (BELLIER [19], QUARANTA [121])
 - Mesure de la vitesse d'un mobile par effet Doppler par réflexion d'ultrasons
 - Mise en évidence de la bonne corrélation entre la mesure faite par effet Doppler et celle mesurée par ailleurs
3. Résonateur de Helmholtz (BERNARDOT [23])
 - Étudier le résonateur de Helmholtz en régime forcé et régime libre

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons mesuré la vitesse du son dans deux milieux et trouvé une utilisation de l'acoustique pour faire un radar et un dispositif de mesure de volume à distance.

3.31 Résonance.

Rapport du jury 2017 : Le lien qui existe entre la largeur de la résonance d'un oscillateur et la durée du régime transitoire est souvent ignoré par les candidats. Des phénomènes non linéaires ou paramétriques pourraient également être abordés.

Bibliographie :

- [51] Roger DUFFAIT. *Expériences de physique : CAPES de sciences physiques, concours de recrutement de l'enseignement secondaire : CAPES, CAPLP2, agrégations*. Bréal, 2008
- [10] Anne-Emmanuelle BADEL. *Physique, tout-en-un, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Dunod, 2008
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010
- [87] Cédric JAI. « Oscillateur en interaction ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 892 (2007)
- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pieron, 1992

Objectifs :

- Mettre en résonance un système physique
- Étudier des oscillateurs et la condition d'auto-oscillation

Plan

Introduction

Un système physique peut parfois être mis en résonance. Celle-ci peut être voulue dans le cas d'une horloge, ou non, comme pour un amortisseur de voiture.

1. Résonance électrique d'un oscillateur à un degré de liberté
 - a) Présentation de l'oscillateur RLC série (DUFFAIT [51], BADEL [10])
 - Présentation du montage du circuit électronique
 - Mise en équation de l'oscillateur
 - b) Résonance en intensité (DUFFAIT [51], BADEL [10])
 - Repérage de la fréquence de résonance
 - Variation de la capacité et visualisation de la variation de la fréquence de résonance en fonction de ce paramètre
 - Tracé du diagramme de Bode pour le gain et le déphasage
 - c) Résonance en tension (DUFFAIT [51], BADEL [10])
 - Repérage de la fréquence de résonance
 - Discussion de la résonance en fonction du facteur de qualité
 - Lien entre la fréquence de résonance et la résistance
2. Oscillateur acoustique
 - a) Montage et modélisation (JAI [87])
 - Montage d'un oscillateur acoustique avec un forçage magnétique
 - Présentation de la boucle à verrouillage de phase et son intérêt
 - b) Régime auto-oscillant (JAI [87])
 - Condition d'auto-oscillation
 - Réalisation d'une balance et principe de mesure
3. Couplage d'oscillateur en mécanique
 - a) Modélisation de la corde de Melde (BELLANGER [18])
 - Modélisation de la corde de Melde
 - b) Ondes résonantes (BELLANGER [18], QUARANTA [121])
 - Mesure de la fréquence des modes de résonance
 - Déduction de la masse linéique de la corde, et comparaison à la valeur mesurée à l'aide d'une balance

Conclusion

Les oscillateurs sont des briques essentielles pour le physicien. Avec leur physique bien connue aujourd'hui, ils permettent en particulier à la microélectronique que nous utilisons aujourd'hui de fonctionner.

3.32 Couplage des oscillateurs.

Rapport du jury 2017 : Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples, et les candidats doivent en tirer les conclusions qui s'imposent. Les expériences de couplage inductif sont souvent difficiles à exploiter, car les candidats ne maîtrisent pas la valeur de la constante de couplage. Enfin, il n'est pas interdit d'utiliser plus de deux oscillateurs dans ce montage, ou d'envisager des couplages non linéaires, qui conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, et ont de nombreuses applications.

Bibliographie :

- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pierron, 1992
- [4] Daniel AUBERT. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome III, L'électronique*. Pierron, 1992
- [90] Roger JOURNEAUX. *Travaux pratiques de physique : électricité, électronique, optique*. De Boeck et Larcier, 1998
- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014
- [50] Roger DUFFAIT. « Étude expérimentale des oscillateurs mécaniques ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 867 (2004)

Objectifs :

- Étude des modes et des pulsations d'oscillateurs couplés

Plan

Introduction

Les oscillateurs sont des briques essentielles pour le physicien. Avec leur physique bien connue aujourd'hui, ils permettent en particulier à la microélectronique que nous utilisons aujourd'hui de fonctionner. Le couplage de tels oscillateurs permet de faire apparaître des phénomènes identiques dans un grand nombre de domaines de la physique.

1. Pendules pesants couplés par un fil de torsion (QUARANTA [121], DUFFAIT [50])
 - a) Fréquence propre d'un oscillateur
 - Cas d'un pendule pesant
 - Détermination du moment d'inertie d'un pendule
 - Fréquence propre d'oscillation
 - b) Modes propres des oscillateurs couplés
 - Étude des modes propres, pulsations et symétries
 - c) Oscillations libres et superposition des modes
 - Analyse de Fourier pour retrouver les modes
2. Couplage capacitif de deux oscillateurs RLC (JOURNEAUX [90], AUBERT [4])
 - Mise en commun d'une capacité entre deux oscillateurs
 - Étude des modes propres et analogie avec la mécanique
3. Couplage de N oscillateurs (DUFFAIT [50], PÉREZ [116])

- a) Fréquence propre d'un oscillateur
 - Étude d'un oscillateur dans un ondoscope
- b) Résonance des modes propres
 - Étude de l'ondoscope et de ses modes propres
 - Lien vers la propagation des ondes dans un milieu

Conclusion

Le couplage des oscillateurs est un phénomène qui fait apparaître des modes. Cette étude est à rapprocher des modes qu'il est possible d'observer en chimie avec la spectroscopie infrarouge.

3.33 Régimes transitoires.

Rapport du jury 2017 : Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité ; de même, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre. Par ailleurs, bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. Enfin, varier les échelles de temps dans la présentation serait appréciable.

Bibliographie :

- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pieron, 1992
- [55] Préparateurs ENS MONTRouGE. « Mesure du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 819 (1999)

Objectifs :

- Établir les temps de relaxation de systèmes en régime transitoire

Plan

Introduction

Le temps de réponse de deux photorécepteurs dépend d'un grand nombre de facteurs, mais l'un des plus importants est le temps que prend le régime transitoire pour capter et transmettre l'information.

1. Régime transitoire en électronique (BELLIER [19])
 - a) RC : charge du condensateur
 - Vérifier la relation $\tau = RC$
 - b) RLC : décharge du condensateur
 - Montrer les différents régimes
 - Tracer $\tau = f(R)$ en régime pseudo périodique pour retrouver la résistance interne de la bobine
2. Régime transitoire en mécanique, système masse-ressort dans un fluide (QUARANTA [121])
 - Étalonnage préliminaire nécessaire
 - Détermination du temps caractéristique
 - Déduction de la valeur du coefficient α qui intervient dans la force de frottement fluide

3. Mesure du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau (ENS MONTROUGE [55], SEXTANT [141])
 - Mise en place d'un gradient de concentration du glycérol dans l'eau, avec un gradient d'indice optique dans la cuve
 - Sortie du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau

Conclusion

Les régimes transitoires permettent à un système hors équilibre d'évoluer vers un équilibre. Cette transition entre les deux états est prédictible si les paramètres du système sont bien établis.

3.34 Phénomènes de transport.

Rapport du jury 2016 : Des transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage. Lors de la mesure du coefficient de diffusion du glycérol, par la déviation d'une nappe laser, les candidats doivent être à même d'expliquer précisément la nature de l'image observée sur l'écran et son origine physique.

Rapport du jury 2017 : Des phénomènes de transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage. Lors de la mesure du coefficient de diffusion du glycérol, par la déviation d'une nappe laser, les candidats doivent être à même d'expliquer précisément la nature de l'image observée sur l'écran et son origine physique.

Bibliographie :

- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997
- [55] Préparateurs ENS MONTROUGE. « Mesure du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 819 (1999)

Objectifs :

- Déterminer des coefficients de diffusion pour la diffusion thermique et la diffusion de particules
- Utiliser la théorie du corps noir pour étudier un transport d'énergie

Plan

Introduction

Les phénomènes de transport, thermiques ou de particules sont essentiels pour le physicien. Ceux-ci vont avoir pour effet de lisser les inhomogénéités qu'un expérimentateur peut créer dans un système physique.

1. Mesure de la conductivité thermique de l'aluminium (QUARANTA [122])
 - Étude de l'évolution de la température dans une barre d'aluminium ayant deux faces thermostatées
 - Sortie du coefficient de conductivité thermique du matériau
2. Mesure du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau (ENS MONTROUGE [55], SEXTANT [141])
 - Mise en place d'un gradient de concentration du glycérol dans l'eau, avec un gradient d'indice optique dans la cuve
 - Sortie du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau
3. Transport par rayonnement (QUARANTA [122])
 - Étalonnage préliminaire de la thermopile nécessaire

— Vérification de la loi de Stefan avec un corps supposé noir

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons pu observer des régimes transitoires et stationnaires, qui nous ont permis de déterminer des grandeurs physiques.

3.35 Moteurs.

Rapport du jury 2015 : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Nous rappelons que les moteurs thermiques font partie des dispositifs qui peuvent être présentés dans ce montage.

Rapport du jury 2016 : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Nous rappelons que les moteurs thermiques font partie des dispositifs qui peuvent être présentés dans ce montage.

Rapport du jury 2017 : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Le jury a apprécié la présentation quantitative d'un moteur de Stirling. Néanmoins, il est important que les candidats, face à un moteur, soient à même d'expliquer pourquoi il tourne.

Bibliographie :

- [32] Pierre BRENDERS. *Electrotechnique, PSI*. Bréal, 2004
- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité*. Pierron, 1996

Objectifs :

- Effectuer l'étude d'un moteur continu à vide et en charge, tracer les caractéristiques et déterminer le rendement de la machine en fonction de la puissance utile délivrée
- Effectuer l'étude d'un moteur asynchrone en charge, tracer les caractéristiques et déterminer le rendement de la machine en fonction de la puissance utile délivrée

Plan

Introduction

Les moteurs nous sont très utiles pour déplacer des objets. Ils nous entourent, et pour cela, des moteurs électriques sont souvent utilisés. De faible ou de grande puissance, il en existe de différents types et ils font l'objet d'un regain d'intérêt au vu des considérations écologiques qui sont les nôtres à l'heure actuelle. Nous nous cantonnons à leur étude du fait de la facilité de mesure des grandeurs pertinentes.

1. Moteur à courant continu à vide

- a) Fem d'induction en fonction de la vitesse de rotation de l'induit (DONNINI [48], BRENDERS [32])
 - Présentation du dispositif du montage, avec les paramètres de contrôle de l'induit et de l'inducteur, du couplemètre et du tachymètre
 - Faire la mesure de la fem d'induction en fonction de la vitesse de rotation du rotor à courant dans l'induit fixé à vide
 - Déterminer le paramètre k caractéristique du moteur et noter qu'il reste malgré tout quelques frottements inhérents à la construction du moteur
- b) Mise en évidence de la saturation du matériau ferromagnétique (BRENDERS [32])
 - Variation du courant dans l'induit, la vitesse de rotation varie

- Mesurer la fem d'induction en fonction du courant dans l'induit (sans jamais annuler celui-ci) à vitesse de rotation constante
 - Mettre en évidence la réponse linéaire du matériau ferromagnétique et la saturation de celui-ci, il y a donc une intensité optimale pour créer le champ magnétique dû à l'inducteur
2. Moteur à courant continu en charge
- a) Couple en fonction de l'intensité de l'induit (DONNINI [48], BRENDERS [32])
 - Mesures en charge à courant dans l'induit et à vitesse de rotation fixées
 - Mesurer le couple moteur en fonction de l'intensité dans l'induit
 - Mettre en évidence la relation linéaire, le facteur k , identique à celui constaté dans la partie précédente et les pertes par frottement via un couple de démarrage non nul
 - b) Couple en fonction de la vitesse de rotation (DONNINI [48], BRENDERS [32])
 - À intensité dans l'induit fixée, mesurer le couple en fonction de la charge
 - Vitesse de rotation pratiquement indépendante de la charge pour les moteurs à courant continu
 - c) Rendement et pertes (BRENDERS [32])
 - Mesure du rendement en fonction de la puissance mécanique disponible à vitesse de rotation et courant dans l'induit constantes
 - Bilan des pertes et mesures de celles-ci
 - Discussion de leur évolution
3. Moteur à asynchrone en charge
- a) Couple en fonction de la vitesse de rotation (BRENDERS [32])
 - Mesure du couple en fonction de la vitesse de rotation
 - Grande variation et perte de la linéarité, mais le moteur asynchrone est bien moins gourmand en maintenance
 - b) Couple en fonction du glissement (BRENDERS [32])
 - Définition du glissement et allure du couple en fonction du glissement
 - Tracé du couple en fonction du glissement
 - Conclusion quant au domaine d'étude du moteur
 - c) Rendement en fonction de la puissance utile (BRENDERS [32])
 - Tracé du rendement en fonction de la puissance utile
 - Il faut prendre garde à l'allure du signal électrique alimentant le moteur ; si le signal n'est pas sinusoïdal, il faut veiller à utiliser un wattmètre TRMS

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons caractérisé deux moteurs électriques. Nous devons garder à l'esprit que ces moteurs ne sont pas les seuls existants, en effet, les moteurs thermiques ont aussi une grande importance dans notre mobilité.

Bibliographie

- [1] Lionel AIGOUY. *Les nouvelles microscopies, à la découverte du nanomonde*. Belin, 2006 (cf. p. 55, 56).
- [2] Georges ASCH. *Les capteurs en instrumentation industrielle*. Dunod, 2010 (cf. p. 127, 128, 137, 138, 143, 144).
- [3] Neil W. ASHCROFT. *Physique des solides*. EDP Sciences, 2002 (cf. p. 61, 62, 78, 79, 154, 155).
- [4] Daniel AUBERT. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome III, L'électronique*. Pierron, 1992 (cf. p. 141, 144, 145, 150, 152, 160).
- [5] David AUGIER. *Physique, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013 (cf. p. 7, 8).
- [6] David AUGIER. *Physique, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013 (cf. p. 11, 12, 23).
- [7] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP**. Lavoisier, 2014 (cf. p. 5, 6, 8, 9, 29, 30, 45–47, 52, 53).
- [8] David AUGIER. *Physique, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2009 (cf. p. 31, 32).
- [9] *Autour des complexes de cuivre (II)*. URL : http://www.cndp.fr/portails-disciplinaires/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/Ressources_RNSTL/activite_exp_synthese_complexe.pdf (cf. p. 89, 90).
- [10] Anne-Emmanuelle BADEL. *Physique, tout-en-un, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Dunod, 2008 (cf. p. 11, 12, 21, 22, 26, 27, 50, 159).
- [11] Romain BARBE. *La chimie expérimentale. Tome II, Chimie organique et minérale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2007 (cf. p. 84, 85, 87–91, 98, 99).
- [12] Michel BARDE. *Physique-chimie, TS*. Hachette éducation, 2012 (cf. p. 88–95, 98–101).
- [13] Mathieu BARTHÉLÉMY. « Un dispositif simple de visualisation de l'instabilité de Rayleigh-Bénard ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 931 (2011) (cf. p. 155, 156).
- [14] Jean-Louis BASDEVANT. *Mécanique quantique*. Éd. de l'École polytechnique, 2001 (cf. p. 66–70, 72, 73).
- [15] Xavier BATAILLE. *Chimie, Term S*. Belin, 2012 (cf. p. 93, 94, 99–101).
- [16] Tamer BECHERRAWY. *Optique géométrique : cours et exercices corrigés*. De Boeck, 2006 (cf. p. 53–55).
- [17] Éric BELLANGER. *Physique, MP-MP*-PT-PT*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010 (cf. p. 47–49).
- [18] Éric BELLANGER. *Physique, PC-PC*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010 (cf. p. 23, 32–34, 38, 42–45, 49–53, 57–62, 80, 81, 159).

- [19] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale aux concours de l'enseignement. Tome II, électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique*. Dunod, 2012 (cf. p. 137, 138, 141, 144–151, 153, 157, 158, 161).
- [20] Jean-Paul BELLIER. *Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement. Tome I, optique, mécanique, fluides, transferts thermiques*. Dunod, 2012 (cf. p. 55, 56, 124–128, 131, 132).
- [21] Jean BERGUA. *Physique, PSI*. Bréal, 2004 (cf. p. 39, 40).
- [22] Anne-Sophie BERNARD. *Techniques expérimentales en chimie*. Dunod, 2014 (cf. p. 85, 86).
- [23] Frédéric BERNARDOT. « Un archétype d'oscillateur : le résonateur acoustique de Helmholtz ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 845 (2002) (cf. p. 158).
- [24] Mireille BLANCHARD-DESCE. *Chimie organique expérimentale*. Hermann, 1987 (cf. p. 85, 86).
- [25] Murat BORATAV. *Relativité*. Ellipses, 1991 (cf. p. 14–16).
- [26] Jean-Marie BRÉBEC. *Mécanique, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Hachette supérieur, 2003 (cf. p. 7–9).
- [27] Jean-Marie BRÉBEC. *Mécanique du solide et des systèmes, 2e année, MP-MP*-PC-PC**. Hachette supérieur, 2004 (cf. p. 5, 6).
- [28] Jean-Marie BRÉBEC. *Ondes, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004 (cf. p. 42, 43, 146, 150, 151, 157).
- [29] Jean-Marie BRÉBEC. *Optique ondulatoire, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004 (cf. p. 58, 59).
- [30] Jean-Marie BRÉBEC. *Thermodynamique, 1re année, MPSI-PCSI-PTSI*. Hachette Supérieur, 2003 (cf. p. 21, 22).
- [31] Jean-Marie BRÉBEC. *Thermodynamique, 2e année, MP-MP*-PC-PC*-PSI-PSI*-PT-PT**. Hachette supérieur, 2004 (cf. p. 31, 32, 34, 35).
- [32] Pierre BRENDERS. *Electrotechnique, PSI*. Bréal, 2004 (cf. p. 36, 77, 78, 142, 143, 148, 163, 164).
- [33] Georges BRUHAT. *Mécanique*. Masson, 1961 (cf. p. 5, 6).
- [34] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille acide-base : réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie*. De Boeck, 2009 (cf. p. 92, 94, 95, 98, 101, 102, 109).
- [35] Danielle CACHAU-HERREILLAT. *Des expériences de la famille Réd-Ox : réussir, exploiter et commenter 81 manipulations de chimie*. De Boeck, 2011 (cf. p. 92, 93, 97, 98, 110–112, 116, 117, 119–122).
- [36] Bernard CAGNAC. *Physique atomique 1, Atomes et rayonnement : interactions électromagnétiques*. Dunod, 2005 (cf. p. 14, 16, 63–65).
- [37] Julien CALAFELL. *Physique-chimie, 2de*. Hachette éducation, 2014 (cf. p. 98).
- [38] Stéphane CARDINI. *Physique, tout-en-un, PCSI*. Dunod, 2016 (cf. p. 81).
- [39] Stéphane CARDINI. *Physique, tout-en-un, PSI-PSI**. Dunod, 2014 (cf. p. 36, 39–42).
- [40] Thierry CARIAT. *Chimie, 1re S*. Bordas, 2011 (cf. p. 84, 85, 92).
- [41] Pierre CHARLES. *Énergie nucléaire : fission et fusion, niveau L3*. Ellipses, 2007 (cf. p. 70).
- [42] Nicolas CHOIMET. *Thermodynamique, PC-PSI*. Bréal, 2001 (cf. p. 24, 25, 27, 28, 75).

- [43] Claude COHEN-TANNOUJJI. *Mécanique quantique. Tome I*. Hermann, 1977 (cf. p. 10, 11, 69, 70, 72).
- [44] Florence DAUMARIE. *Florilège de chimie pratique : 59 expériences commentées*. Hermann, 2002 (cf. p. 94, 95, 98, 99, 111, 112).
- [45] Luc DETTWILLER. *Les instruments d'optique : étude théorique, expérimentale et pratique*. Ellipses, 2002 (cf. p. 55, 56).
- [46] Bernard DIU. *Éléments de physique statistique*. Hermann, 1989 (cf. p. 29–32, 73–76).
- [47] Bernard DIU. *Thermodynamique*. Hermann, 2007 (cf. p. 21, 22, 27, 28, 73, 74, 143, 144).
- [48] Jean-Marie DONNINI. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome IV, L'électricité*. Pierron, 1996 (cf. p. 141, 144–149, 163, 164).
- [49] Etienne DU TRÉMOLET DE LACHEISSERIE. *Magnétisme. Tome II, Matériaux et applications*. EDP Sciences, 1999 (cf. p. 77, 78).
- [50] Roger DUFFAIT. « Étude expérimentale des oscillateurs mécaniques ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 867 (2004) (cf. p. 155, 156, 160).
- [51] Roger DUFFAIT. *Expériences de physique : CAPES de sciences physiques, concours de recrutement de l'enseignement secondaire : CAPES, CAPLP2, agrégations*. Bréal, 2008 (cf. p. 124–126, 159).
- [52] Roger DUFFAIT. *Expériences d'électronique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1999 (cf. p. 148–153).
- [53] Roger DUFFAIT. *Expériences d'optique : agrégation de sciences physiques*. Bréal, 1997 (cf. p. 132–140, 154, 155).
- [54] André DURUPHTY. *Physique chimie, 1re S*. Hachette éducation, 2011 (cf. p. 84, 85).
- [55] Préparateurs ENS MONTROUGE. « Mesure du coefficient de diffusion du glycérol dans l'eau ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 819 (1999) (cf. p. 161, 162).
- [56] Marine ESCAFFRE. « Étude comparée de l'oxydation ménagée des trois classes d'alcools par le permanganate de potassium ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 865 (2004) (cf. p. 96).
- [57] Claude FABRE. *Introduction à la physique moderne : relativité et physique quantique, cours et exercices*. Dunod, 2015 (cf. p. 13, 64–66).
- [58] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 1, Point et systèmes de points, 1re année, MPSI-PCSI, cours et 162 exercices corrigés*. Dunod, 1996 (cf. p. 7, 8, 67, 68, 81, 136, 155, 156).
- [59] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique 2, 2e année, MP-PC, cours et 73 exercices corrigés*. Dunod, 1997 (cf. p. 5, 6).
- [60] Jean-Pierre FAROUX. *Mécanique des fluides et des ondes mécaniques, cours et 105 exercices corrigés, 2e année, PC*. Dunod, 1999 (cf. p. 17, 18, 80, 81).
- [61] Jean-Pierre FAROUX. *Optique : optique géométrique et optique physique, cours et 94 exercices corrigés, 1re et 2e années, MP-PC*. Dunod, 1998 (cf. p. 53–55).
- [62] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique : 136 exercices et problèmes corrigés, rappels de cours, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année, MP-PSI-PC*. Dunod, 1999 (cf. p. 24, 25).
- [63] Jean-Pierre FAROUX. *Thermodynamique, cours et 136 exercices corrigés, 1re année, MPSI-PCSI, 2e année MP-PSI-PC*. Dunod, 1997 (cf. p. 21, 22, 29, 30, 34, 35, 75, 76).
- [64] Georges FAVERJON. *Thermodynamique, PCSI*. Bréal, 2003 (cf. p. 23).

- [65] Richard Phillips FEYNMAN. *Révissez la physique avec Feynman*. Dunod, 2014 (cf. p. 10).
- [66] Bruno FOSSET. *Chimie tout-en-un : MP-PT*. Dunod, 2014 (cf. p. 108, 113–115, 119, 120).
- [67] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, MPSI-PTSI*. Dunod, 2013 (cf. p. 102–106, 108, 111–113, 116, 120–122).
- [68] Bruno FOSSET. *Chimie, tout-en-un, PSI*. Dunod, 2014 (cf. p. 106, 107, 117, 118).
- [69] Christian GARING. *Magnétisme : statique, induction et milieux, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1999 (cf. p. 38, 142).
- [70] Christian GARING. *Ondes mécaniques et diffusion, exercices et problèmes corrigés et commentés posés à l'écrit et à l'oral des concours et examens de l'enseignement supérieur*. Ellipses, 1998 (cf. p. 32–34, 44, 45, 61, 62).
- [71] Pierre-Gilles de GENNES. *Gouttes, bulles, perles et ondes*. Belin, 2005 (cf. p. 19, 20, 125, 126).
- [72] Thierry GERVAIS. *Électronique. Tome I, Outils d'analyse des signaux et fonctions électroniques de base, cours & exercices corrigés*. Vuibert, 2012 (cf. p. 149, 150).
- [73] Hubert GIÉ. *Électromagnétisme, 2e année, MP*-MP-PT*-PT*. Lavoisier, 1996 (cf. p. 38).
- [74] Michel GIRARD. *Boucles à verrouillage de phase*. McGraw-Hill, 1988 (cf. p. 151).
- [75] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, MPSI-PTSI*. Lavoisier, 2013 (cf. p. 102, 104, 105, 108, 111–113, 116, 117, 120–122).
- [76] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2013 (cf. p. 89, 90, 93–97, 99–106, 110, 111).
- [77] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, MP-MP*-PT-PT**. Lavoisier, 2014 (cf. p. 108, 109, 113–115, 119, 120).
- [78] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014 (cf. p. 85, 87, 97, 98).
- [79] Pierre GRÉCIAS. *Chimie, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014 (cf. p. 106, 107, 109, 110, 117, 118).
- [80] Pierre GRÉCIAS. *Physique, 1re année, PCSI*. Lavoisier, 2009 (cf. p. 26, 27).
- [81] Philippee GRILLOT. « Approche quantitative du brachistochrome ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 897 (2007) (cf. p. 54).
- [82] Étienne GUYON. *Hydrodynamique physique*. EDP sciences, 2012 (cf. p. 16, 17, 19, 20, 155–157).
- [83] Eugene HECHT. *Optique*. Pearson, 2005 (cf. p. 57).
- [84] Laurent HEINRICH. « Exemple de TP d'investigation de chimie organique : synthèse de la dibenzalacétone ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 951 (2013) (cf. p. 96).
- [85] Daniel HENNEQUIN. *Les lasers, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2013 (cf. p. 63, 64, 80, 81).
- [86] Sylvain HOUARD. *Optique*. De Boeck, 2011 (cf. p. 52, 53, 55, 56, 58, 59, 131–135, 138, 139).
- [87] Cédric JAI. « Oscillateur en interaction ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 892 (2007) (cf. p. 153, 154, 159).
- [88] Michel JANNIN. « Cycle d'hystérésis magnétique ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 651 (1983) (cf. p. 77, 142, 143).

- [89] Johann JÉZÉQUEL. « Étude de l'équilibre entre $\text{NO}_2(\text{g})$ et $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 879 (2005) (cf. p. 114, 115).
- [90] Roger JOURNEAUX. *Travaux pratiques de physique : électricité, électronique, optique*. De Boeck et Larcier, 1998 (cf. p. 160).
- [91] Charles KITTEL. *Physique de l'état solide, cours et problèmes*. Dunod, 2007 (cf. p. 78, 79, 136, 144, 145).
- [92] Pierre KREMPF. *Électromagnétisme, MP*. Bréal, 2004 (cf. p. 38, 39).
- [93] Michel KROB. *Électronique expérimentale : agrégation de sciences physiques*. Ellipses, 2002 (cf. p. 155, 156).
- [94] Christophe LAGOUTE. « À propos des ondes de la cuve à ondes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 852 (2003) (cf. p. 19, 20).
- [95] Christophe LAGOUTTE. « À propos des ondes de la cuve à ondes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 852 (2003) (cf. p. 125, 126, 157).
- [96] B. LAHAYE. « Propagation des ondes vitesse de phase - vitesse de groupe ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 649 (1982) (cf. p. 19, 20).
- [97] Michel LE BELLAC. *Introduction à la mécanique*. Belin, 1985 (cf. p. 10).
- [98] Jean-François LE MARÉCHAL. *La chimie expérimentale. Tome I, Chimie générale, CAPES et agrégation de sciences physiques*. Dunod, 2004 (cf. p. 89, 90, 93).
- [99] Claude LE SECH. *Physique nucléaire : des quarks aux applications*. Dunod, 2014 (cf. p. 70).
- [100] Jean-Marc LÉVY-LEBLOND. *Quantique : rudiments*. Dunod, 2007 (cf. p. 64, 65, 69).
- [101] David R. LIDE. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press, 1978 (cf. p. 24, 25, 85, 86, 94, 95, 124, 126, 128, 130).
- [102] François MARTIN. « Le réfrigérateur ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 832 (2001) (cf. p. 26, 27).
- [103] Hélène MESTDAGH. « Chimie et lumière : Quelques manipulations ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 764 (1994) (cf. p. 89, 90).
- [104] A. MEYER. « Substances et matériaux magnétiques ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 554 (1973) (cf. p. 77).
- [105] Raphaële MILLOT-LANGET. *Physique-chimie, 1re STI2D-1re STL*. Nathan technique, 2010 (cf. p. 87, 96).
- [106] Christophe MORE. *Physique, 2e année, PSI-PSI**. Lavoisier, 2014 (cf. p. 35, 36, 77, 78).
- [107] Christian NGÔ. *Physique des semi-conducteurs*. Dunod, 2007 (cf. p. 144, 145).
- [108] Christian NGÔ. *Physique quantique : introduction, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2000 (cf. p. 64, 65).
- [109] Christian NGÔ. *Physique statistique : introduction, cours et exercices corrigés*. Dunod, 2008 (cf. p. 73, 74, 141).
- [110] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2009 (cf. p. 16, 17, 32, 34, 35, 60, 153, 154).
- [111] Stéphane OLIVIER. *Physique, 2e année, PC-PC**. Lavoisier, 2014 (cf. p. 18, 19, 24, 25, 39, 41, 42, 66, 67, 69, 70).
- [112] Roger PARISOT. « Comparaison du pouvoir oxydant du dichlore, du dibrome et du diiode ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 684 (1986) (cf. p. 104, 105).

- [113] Jérôme PÉREZ. *Physique, MPSI-PCSI-PTSI, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2009 (cf. p. 80, 81).
- [114] José-Philippe PÉREZ. *Électromagnétisme : fondements et applications, avec 300 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001 (cf. p. 49, 50, 75, 76, 78, 79).
- [115] José-Philippe PÉREZ. « Grandeurs qui se conservent et grandeurs conservatives ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 805 (1998) (cf. p. 11, 12).
- [116] José-Philippe PÉREZ. *Mécanique : fondements et applications, avec 320 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2014 (cf. p. 5, 6, 8–12, 39, 40, 80, 81, 160).
- [117] José-Philippe PÉREZ. *Optique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2004 (cf. p. 54–56, 61, 62).
- [118] José-Philippe PÉREZ. *Relativité et invariance : fondements et applications, avec 150 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2005 (cf. p. 13, 14).
- [119] José-Philippe PÉREZ. *Thermodynamique : fondements et applications, avec 250 exercices et problèmes résolus*. Dunod, 2001 (cf. p. 29–32).
- [120] Valéry PRÉVOST. « L'aspartame : un édulcorant intense ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 847 (2002) (cf. p. 99, 100).
- [121] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome I, La mécanique*. Pierron, 1992 (cf. p. 124–127, 158–161).
- [122] Lucien QUARANTA. *Dictionnaire de physique expérimentale. Tome II, La thermodynamique*. Pierron, 1990 (cf. p. 31, 32, 125, 126, 128–130, 136, 137, 142–144, 162).
- [123] Alain RABIER. « Quelques expériences illustrant la notion d'isométrie Z - E ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 777 (1995) (cf. p. 99, 101).
- [124] J-C. RADIX. « Aspects modernes des gyroscopes ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 587 (1976) (cf. p. 10).
- [125] *Rapport du jury 2015*. URL : http://agregation-physique.org/images/rapports/2015/Rapport_agregation_externe_physique_2015.pdf (cf. p. 1).
- [126] *Rapport du jury 2016*. URL : http://agregation-physique.org/images/rapports/2016/Rapport_agregation_externe_physique_2016.pdf (cf. p. 1).
- [127] *Rapport du jury 2017*. URL : http://agregation-physique.org/images/rapports/2017/rapport_AEPC_2017.pdf (cf. p. 1).
- [128] Cédric RAY. *La physique par les objets quotidiens*. Belin, 2014 (cf. p. 61, 62).
- [129] Vincent RENVOIZÉ. *Physique, PSI-PSI*, cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés*. Pearson, 2010 (cf. p. 41, 42).
- [130] Francis ROUESSAC. *Analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales*. Dunod, 2016 (cf. p. 55, 56).
- [131] Jimmy ROUSSEL. « Marches aléatoires ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 845 (2002) (cf. p. 32, 33).
- [132] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, MP-MP**. Dunod, 2009 (cf. p. 47–49).
- [133] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2009 (cf. p. 23, 32–36, 38, 42–47, 49, 50, 52, 53, 57–59, 64, 65, 78, 79).
- [134] Marie-Noëlle SANZ. *Physique, tout-en-un, PC-PC**. Dunod, 2014 (cf. p. 18, 19, 39, 40, 63, 64, 66–70).

- [135] Jean SARRAZIN. *L'oxydoréduction : concepts et expériences...* Ellipses, 1991 (cf. p. 108–111, 117, 118).
- [136] Laurent SARTRE. « De l'oscillateur harmonique à Van der Pol ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 804 (1998) (cf. p. 82).
- [137] Laurent SARTRE. *Physique des ondes, PC-PSI*. Bréal, 2004 (cf. p. 44, 45, 49, 50).
- [138] Maurice SCHWINGS. « Avoir du nez... » In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 746 (1992) (cf. p. 99, 100).
- [139] Claude SEMAY. *Relativité restreinte*. Dunod, 2016 (cf. p. 13–16).
- [140] Gérard SERRA. « Les théorèmes de Noether ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 914 (2009) (cf. p. 11, 12).
- [141] SEXTANT. *Optique expérimentale*. Hermann, 1997 (cf. p. 55–57, 60, 67, 68, 131–140, 154, 155, 161, 162).
- [142] Richard TAILLET. *Optique physique : propagation de la lumière*. De Boeck, 2015 (cf. p. 47, 48, 58, 59, 80, 81).
- [143] UDPPC-RÉDACTION. « Agrégation concours externe - Section : sciences physiques - Option A : physique - Composition de physique ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 925 (2010) (cf. p. 81).
- [144] Florence VACANDIO. « Illustration d'un cours de protection contre la corrosion des matériaux ». In : *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie* 851 (2003) (cf. p. 117, 118).
- [145] Luc VALENTIN. *Physique subatomique : noyaux et particules*. Hermann, 1982 (cf. p. 70).
- [146] Luc VALENTIN. *Univers mécanique*. Hermann, 1997 (cf. p. 11, 12).
- [147] Florence WEIL. *Optique moderne : polarisation, lasers, fibres optiques, cours et exercices corrigés*. Ellipses, 2006 (cf. p. 47, 48).