

# Leçons de Physique

Ileyk EL MELLAH

7 avril 2014

# Table des matières

I.	LP01 : Contact entre deux solides - Frottement de glissement - Applications au glissement et au roulement . . . . .	4
II.	LP02 : Caractère non galiléen du référentiel terrestre - Conséquences . . . . .	6
III.	LP03 : Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe - Equilibrage statique et dynamique - Exemples . . . . .	7
IV.	LP04 : Approximation gyroscopique - Effets dans les domaines macroscopique et microscopique . . . . .	8
V.	LP05 : Exemples d'utilisation des lois de conservation en dynamique des systèmes . . . . .	10
VI.	LP06 : Principes de la cinématique relativiste - Conséquences . . . . .	12
VII.	LP07 : Dynamique relativiste - Exemples . . . . .	14
VIII.	LP08 : Notion de viscosité d'un fluide - Ecoulements visqueux - Nombre de REYNOLDS - Exemples simples . . . . .	16
IX.	LP09 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide ; validité - Relations de BERNOULLI ; limites et applications . . . . .	18
X.	LP10 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides : applications . . . . .	20
XI.	LP11 : Modèle du gaz parfait . . . . .	22
XII.	LP12 : Fonctions d'état caractéristique d'un système à l'équilibre thermodynamique - Identités thermodynamiques - Applications . . . . .	24
XIII.	LP13 : Evolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé - Potentiels thermodynamiques - Exemples . . . . .	26
XIV.	LP14 : Thermodynamique des phénomènes irréversibles . . . . .	28
XV.	LP15 : Application des deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques . . . . .	30
XVI.	LP16 : Etude thermodynamique d'un système constitué par un corps pur sous plusieurs phases - Exemples . . . . .	32
XVII.	LP17 : Notion d'état microscopique - Interprétation statistique de l'entropie - Exemples . . . . .	34
XVIII.	LP18 : Introduction au facteur de BOLTZMANN à partir d'un exemple au choix . . . . .	37
XIX.	LP19 : Rayonnement d'équilibre thermique - Corps noir - Application aux transferts thermiques radiatifs . . . . .	39
XX.	LP20 : Phénomènes de transport - Illustration(s) . . . . .	41
XXI.	LP21 : Conversion de puissance électromécanique - Exemples et applications . . . . .	43
XXII.	LP22 : Induction électromagnétique - Applications . . . . .	45
XXIII.	LP23 : Résonance magnétique - Exemples et applications . . . . .	47
XXIV.	LP24 : Systèmes bouclés - Applications . . . . .	48
XXV.	LP25 : Traitement analogique d'un signal électrique - Etude spectrale - Exemples et applications . . . . .	50
XXVI.	LP26 : Exemples de phénomènes de propagation unidimensionnelle - Ondes progressives, ondes stationnaires - Aspects énergétiques . . . . .	52
XXVII.	LP27 : Ondes acoustiques dans les fluides . . . . .	54
XXVIII.	LP28 : Propagation dans un milieu dispersif : vitesse de phase, vitesse de groupe - Paquets d'ondes planes et évolution - Exemples . . . . .	55
XXIX.	LP29 : Propagation guidée - Exemples et applications . . . . .	57
XXX.	LP30 : Dispersion et absorption d'une onde électromagnétique plane dans un milieu diélectrique - Modélisation microscopique . . . . .	59
XXXI.	LP31 : Effet de peau - Comportement d'une onde électromagnétique à la surface d'un conducteur . . . . .	61
XXXII.	LP32 : Propriétés et applications du rayonnement dipolaire électrique . . . . .	63
XXXIII.	LP33 : Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de FERMAT - Exemples . . . . .	65

XXXIXP34	: Application des lois de l'optique à l'étude d'un instrument d'optique au choix . . . . .	66
XXXVPP35	: Obtention d'interférences à deux ondes en optique - Notion de cohérence . . . . .	67
XXXVPP36	: Interféromètres à division d'amplitude - Applications . . . . .	69
XXXVPP37	: Diffraction de FRAUNHOFER - Applications. . . . .	70
XXXVPP38	: Diffraction par des structures périodiques dans différents domaines de la Physique . . . . .	72
XXXIXP39	: Absorption, émission spontanée ou induite du rayonnement - Caractéristiques et applications . . . . .	74
XL. LP40	: Aspects corpusculaires du rayonnement - Notion de photon . . . . .	76
XLI. LP41	: Aspects ondulatoires de la matière - Notion de fonction d'onde . . . . .	78
XLIIILP42	: Exemples de phénomènes quantiques . . . . .	80
XLIIILP43	: Confinement de l'électron et quantification de l'énergie - Exemples . . . . .	82
XLIVLP44	: Effet tunnel - Applications . . . . .	84
XLV.LP45	: Le noyau : stabilité, énergie - Applications . . . . .	86
XLVILP46	: Oscillateurs à deux degrés de liberté en mécanique classique : modes propres - Systèmes à deux niveaux d'énergie en Physique quantique - Analogies et différences. . . . .	88
XLVILP47	: La molécule : stabilité, énergie - Applications . . . . .	90
XLVILP48	: Cohésion de la matière condensée . . . . .	92
XLIXLP49	: Chaîne unidimensionnelle infinie d'oscillateurs harmoniques - Approximation des milieux continus. . . . .	94
L. LP50	: Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques . . . . .	96
LI. LP51	: Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen. . . . .	98
LII. LP52	: Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques - Applications. . . . .	101
LIII. LP53	: Mécanismes de la conduction électrique - Loi d'OHM - Effet HALL - Applications . . . . .	103
LIV. LP54	: Phénomènes de résonance dans différents domaines de la Physique . . . . .	105
LV. LP55	: Exemples d'effets de non linéarité sur le comportement d'un oscillateur . . . . .	107
LVI. LP56	: Illustration de l'intérêt de la notion de symétrie dans différents domaines de la Physique . . . . .	109

# I. LP01 : Contact entre deux solides - Frottement de glissement - Applications au glissement et au roulement

Binôme : **Robin**

Date de passage : 02/11/10

Correcteur : Z

**Intro** Expression analytique des forces de contact difficiles à avoir car nombreuses aspérités microscopiques, dépend de la nature des corps en contact... En toute rigueur, il faudrait remonter à la répulsion électronique entre nuages. Approche phénoménologique nécessaire. Pourtant, rôle fondamental en dynamique du solide, même si on tente souvent de les minimiser. D'où vient ce compromis ?

## I. Contact entre 2 solides

1. Cinématique du contact (1 p.26)
  - a. Modélisation
  - b. Vitesse de glissement
  - c. Roulement et pivotement
2. Actions de contact
  - a. Résultante des actions de contact (3 p.114)
  - b. Moment des actions de contact (3 p.114)
  - c. Torseur des actions de contact
  - d. Puissance des actions de contact (3 p.123)

## II. Frottements de glissement

1. Lois de COULOMB (

Evoquer l'existence de lois analogues pour les moments de roulement et de pivotement (1 p.155)

  - a. Relative à  $\vec{N}$
  - b. Relative à  $\vec{T}$

Condition nécessaire de non glissement et loi du frottement de

glissement.  $f_c < f_s$  ( $\Rightarrow$  III. 3.)!

2. Cône de frottement (5 p.89)

XP des 2 feuilles  $\Rightarrow$  odg des coefficients de frottement (3 p.118)

## III. Applications

1. Roulement sans glissement

a. Condition de roulement sans glissement

b. Roue motrice (6 p.288)

c. Puissance des actions de contact (5 p.92)

2. Statique d'un solide sur un plan incliné (6 p.286, FR p.158, 3 p.120)

a. Arc boutement

b. Filetages des vis

3. Mouvement de stick-slip (1 p.159, 5 p.103)

Hystérésis des frottements solides. S'intéresser au passage glissement / pas de glissement

4. Amortissement solide (1 p.188, 4 p.74)

Hystérésis des frottements solides. Différence avec frottements fluides

## Conclusion Tribologie

## Bibliographie :

1. FR
2. Grossetête (pour la modélisation)
3. HPrépa
4. Olivier (pour l'amortissement solide)
5. Tec et Doc
6. Perez

**Remarques :**

- Contacts ponctuels  $\neq$  contacts surfaciques
- Ponctuer la leçon d'analyses énergétiques
- Expérience de TIMOCHENKO dans le Perez pour mesurer un coefficient de frottement à partir d'une mesure de fréquence (manipulation en montage possible?)
- Effet rétro (Tec et Doc p.82), expérience de SOMMERFELD, modèle du cabestan, modélisation microscopique possibles aussi

- On peut négliger les moments de frottement et de pivotement si on étudie un mouvement de translation OU si on étudie un contact ponctuel ou linéique
- Lois de COULOMB valables seulement pour des contacts à sec
- Nécessité des lois de COULOMB car on ne peut pas expliciter les actions de contact  $\Rightarrow$  trop d'inconnues
- En toute rigueur, les lois de COULOMB ne sont valables qu'en cas de contact ponctuel

## II. LP02 : Caractère non galiléen du référentiel terrestre - Conséquences

Binôme : **Geoffrey**

Date de passage : 29/09/10

Correcteur : Parisi

**Intro détaillée** Définitions (repère, référentiel, masses gravitationnelle et inertielle, 4 référentiels) + PFD dans  $R_h$

### I. Approximation galiléenne du $R_g$

1. PFD (2 p.207)

- a. Expression brute
- b. Terme différentiel
- c. Expression simplifiée

$R_g$  quasi-galiléen après estimation des termes de marée

2. Théorie statique des marées océaniques (2 p.210)

Passer vite

- a. Allure du champ
- b. Commentaires

3. Limite de ROCHE (1' p.208)

### II. Approximation galiléenne du $R_t$

1. PFD (2 p.214)

- a. Expression brute
- b. Poids d'un corps

Traiter l'angle de la verticale locale avec le champ de pesanteur terrestre

c. Expression simplifiée

2. Déviation vers l'Est (1 p.276, 3 p.580)

- a. Ode de la force de CORIOLIS
  - b. Méthode perturbative
  - c. Illustrations phénoménologiques
3. Erosion différentielle (1' p.199)

### **Bibliographie :**

1. FR
- 1'. FR exos
2. HPrépa
3. Tec et Doc PCSI

### **Remarques :**

- Référentiel  $\neq$  repère
- $m_i = m_g$  est expérimental en mécanique classique
- Un référentiel est galiléen pendant un temps et dans un endroit donné (où on ne peut mesurer des écarts au principe d'inertie)
- Supposer les lois de composition (des vitesses et des accélérations) connues
- Marées ne dépendent pas de la rotation de la Terre
- Problème : comment étendre la notion de référentiel inertiel à la mécanique relativiste? Bonne conclusion
- Erosion différentielle analogue à l'usure différentielle des rails (exo dans HPrépa)

# III. LP03 : Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe - Equilibrage statique et dynamique - Exemples

Binôme : **Luciani**

Date de passage : 02/11/10

Correcteur : Parisi

**Intro** Mouvement usuel mais risques nombreux si mal équilibré (4 p.365)

## I. Eléments cinétiques et dynamiques d'un solide en rotation autour d'un axe fixe

1. Position du problème (4 p.366)

2. Eléments cinétiques

a. Quantité de mouvement

b. Moment d'inertie (1 p.196, 4 p.252)

+ pdts, opérateur, mx et axes ppaux d'inertie

c. Moment cinétique (4 p.265, 1 p.229)

3. Modélisation torsielle des actions extérieures

On introduit les 2 torseurs qui interviennent dans le TRC et le TMC

a. Liaison pivot (4 p.365)

b. Autres

## II. Etude du mouvement

1. Théorèmes généraux (4 p.269, 1 p.229)

a. TRC

b. TMC

2. Mise en rotation d'une machine tournante (2 p.234, 3 p.237)

a. Régime transitoire

b. Influence d'une vibration

## III. Equilibrage statique et dynamique (3 p.234, 1 p.230)

XP

1. Equilibrage statique

a. Mise en évidence

b. Condition d'équilibrage

c. Critère d'équilibrage

2. Equilibrage dynamique

a. Mise en évidence

b. Condition d'équilibrage

c. Critère d'équilibrage

3. Mise en oeuvre pratique : équilibrage (référence?)

**Conclusion** LP suivante, mouvement d'un solide autour d'un point fixe

## **Bibliographie :**

1. Agati

2. Gié Méca 1 (jaune et bleu)

3. Grossetête (équilibrage)

4. Perez

5. Brémont, Méca 3 (mieux que le Agati) (à bosser)

## **Remarques :**

– Mauvais équilibrage => rupture de l'axe, usure des paliers, bruit...

– Attention aux référentiels

– Attention! Bien que la matrice d'inertie soit diagonalisable sur la base des axes principaux, cette base peut alors être en mouvement par rapport à  $R_t$ , ce qui implique que les coefficients dépendent du temps => il vaut mieux travailler dans le référentiel propre du solide

# IV. LP04 : Approximation gyroscopique - Effets dans les domaines macroscopique et microscopique

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Intro Toupie, roue de vélo ?

## I. Etude du mouvement d'un solide de révolution autour d'un point fixe

### 1. Modélisation

a. Hypothèses et notations (4 p.237)

Référentiel, angles d'EULER, vecteur rotation

b. Moment cinétique en O, point fixe (4 p.383)

Plus simple à calculer dans la base de RESAL.  $\vec{L} \nparallel \vec{\omega} \Rightarrow$  mouvement compliqué  $\Rightarrow$  ...

2. Approximation gyroscopique (4 p.385)

Grande vitesse de rotation propre +  $I_3$  suffisamment grand  $\Rightarrow$   
 $\vec{L} \sim I_3 \cdot \vec{\omega}$

## II. Manifestations macroscopiques

### 1. Toupie

a. Equation du mouvement (4 p.386)

b. Vitesse de précession (4 p.386, 3 p.493)

c. Validité de l'approximation gyroscopique (3 p.494)

### 2. Gyroscope (4 p.389)

a. Modélisation

b. Equation du mouvement

c. Couple gyroscopique

XP tabouret

d. Système anti-roulis (BUP n°587?, 4 p.391)

e. Gyrocompas (4 p.391)

Evoquer la précession des équinoxes

## III. Analogies microscopiques (2 p.441)

### 1. Précession de LARMOR (4 p.393, 1 p.240)

a. Rapport gyromagnétique ( $\sim$  approximation gyroscopique)

b. Equation du mouvement

Transition : mais comment mesurer  $\gamma$  ?

### 2. Résonance magnétique (4 p.393, 1 p.240)

a. Equation du mouvement

b. Commentaires

Vidéo

c. Applications (1 p.269)

RPE (Chimie), RMN (magnétomètres de précision, Chimie, IRM)

Conclusion Le traitement était ici classique  $\Rightarrow$  RMN quantique dans la LP23

## Bibliographie :

1. Cagnac Physique atomique I

2. Cohen I

3. FR (les gros) Toute la Mécanique

4. Perez

## Remarques :

– Définition d'un couple ? Tout système d'action mécanique dont la résultante est nulle et le moment résultant par rapport à un point O est non nul



- Où peut-on appliquer le TMC ?
- Avec la toupie, il existe, en plus du poids, la réaction du support ; on néglige son moment car le contact est ponctuel
- LP précédente en prérequis
- La modélisation de la RM peut aussi tenir compte d'un temps de relaxation de l'aimantation => équations de BLOCH (Cagnac p.260, Cohen p.449)
- La modélisation de la RM peut aussi être quantique (Cohen p.444)
- On doit admettre que la relation entre les moments magnétique et cinétique orbitaux de l'atome est la même pour les moments magnétique et intrinsèque de l'électron ou du proton (spin) => RMN, RPE

- Bien vérifier la validité de l'approximation gyroscopique dans chaque cas
- Citer le boomerang (fait dans un BUP)
- Si les résultats quant à la résonance magnétique sont analogues en MC et en MQ, ce n'est pas une coïncidence (2 p.449) : la relation d'ERHENFEST redonne exactement le PFD (avec la valeur du moment magnétique) !
- La véritable approximation gyroscopique, c'est celle qui consiste à dire que le moment cinétique est colinéaire à l'axe de rotation. Ainsi, la proportionnalité entre moment magnétique et moment cinétique (intrinsèque ou orbital) via le rapport gyromagnétique se ramène à une approximation gyroscopique

# V. LP05 : Exemples d'utilisation des lois de conservation en dynamique des systèmes

Binôme : **Tuhiti**

Date de passage : 28/09/10

Correcteur : PARISI

**Intro** On n'a pas toujours l'expression exacte des interactions (problème à N corps, interactions nucléaires...) => les lois de conservation se substituent avantageusement au PFD

## I. Illustrations des lois de conservation en Mécanique

### 1. Conservation de $\vec{p}$

- a. Enoncé
- b. Fusée isolée (4 p.323 à simplifier)
- c. Choc de 2 particules (1 p.192)

via théorème de KOENIG, un peu mystérieux...

### 2. Conservation de $\vec{L}$

- a. Enoncé
- b. Tabouret inertiel
- c. Mouvement à force centrale

Evoquer le problème à 2 corps comme généralisation

### 3. Conservation de $E_m$

- a. Enoncé
- b. Vitesse de libération

Evoquer l'évasion des atmosphères planétaires (2 p.208)

## II. Expérience de RUTHERFORD (1 p.162)

### 1. Description

2. Conservation de  $\vec{L}$  et du vecteur de RUNGE-LENZ (1' p.103)

- a. Conservation de  $\vec{L}$  => mouvement plan
- b. Conservation du vecteur de RUNGE-LENZ => angle

de déviation

### 3. Conservation de $E_m$ : distance minimale d'approche

### a. Expression

### b. Commentaires (Figure du 2 p.86, odg 1)

=> abandon du modèle de "plum pudding" de THOMSON

### 4. Validité (2 p.86)

Faux aux grands angles de diffusion (car interaction nucléaire forte, plus électromagnétique)!

### a. Limite relativiste

### b. Limite quantique

=> on a que des odg car interaction nucléaire forte et traitement quantique nécessaires

## III. Lois de conservation en Hydrodynamique

### 1. Intégration de l'équation d'EULER (3 p.98 à 102)

### a. Hypothèses et intégration

Écoulement stationnaire d'un fluide incompressible et parfait

### b. Equation de BERNOULLI : conservation de l'énergie

### 2. Conservation du débit volumique (3 p.39)

### 3. Vitesse en sortie d'un réservoir

Coupler 1. et 2.

4. Fluide en écoulement isoS et stationnaire : une esquisse du 1<sup>er</sup> principe de la Thermodynamique (3 p.118)

### a. Equation de BERNOULLI pour un GP

### b. Généralisation : expression locale du 1<sup>er</sup> principe

**Conclusion** Collisions plus en détails dans LP07 + théorème de NOETHER quantique => Physique des particules. En outre, pour un système isolé dans un  $R_{galiléen}$ , l'homogénéité du temps et de l'espace et l'isotropie de l'espace sont respectivement équivalents à la conservation de l'énergie, de la quantité de mouvement et du moment cinétique => hypothèses qui fondent les transformations de LORENTZ. En MQ, c'est la commutativité entre opérateurs associée au théorème d'EHRENFEST qui établit les lois

de conservation

**Bibliographie :**

1. FR Toute la Mécanique
- 1'. FR exos Mécanique 1
2. Gié Mécanique 1
3. HPrépa Mécanique des fluides
4. Perez Mécanique

**Remarques :**

- Attention à ce que tous les systèmes considérés soient bien isolés

- 2<sup>ème</sup> année
- Pour illustrer le théorème de NOETHER, on peut noter que l'invariance de l'hamiltonien par translation spatiale implique la conservation de la quantité de mouvement (par la 2<sup>nde</sup> équation d'HAMILTON-JABOBI)
- Problème : pourquoi le 2<sup>nd</sup> théorème de KOENIG assure-t'il que l'énergie interne d'un système est conservée par changement de référentiel ? cf FR p.192 Réponse : si c'est vrai, ça ne l'est qu'en mécanique classique (énergie d'interaction varie en relat' car contraction des longueurs)
- Angle de déviation de RUTHERFORD peut être obtenu avec le vecteur excentricité mais c'est plus délicat (FR p.163)

# VI. LP06 : Principes de la cinématique relativiste - Conséquences

Binôme : **Tom**

Date de passage : 03/03/11

Correcteur : LEBENTAL

**Intro** Lois de conservation de la leçon précédente issues de considérations simples et élégantes. EINSTEIN guidé par la covariance des lois et la validité des équations de MAXWELL, quitte à rendre le temps aussi relatif que l'espace

## I. Insuffisances de la mécanique galiléenne

### 1. Le principe de relativité de GALILÉE

#### a. Enoncé (1 p.215)

Rappeler la définition d'un  $R_{galiléen}$

#### b. Transformations de GALILÉE (2 p.10)

#### c. Conséquences (1 p.215, 2 p.10)

Covariance du PFD et composition des vitesses

2. Non covariance de l'équation de MAXWELL-GAUSS (BUP 862 ? 3 p.7)

#### a. Etablissement

#### b. Interprétation : l'éther

Difficultés expérimentales seront évoquées dans III.

### 3. Principe de relativité d'EINSTEIN et postulats

#### a. Principe de relativité (1 p.218)

#### b. Postulats

Homogénéité de l'espace et du temps, isotropie de l'espace, structure de groupe des transformations, principe de causalité

## II. Cinématique relativiste

1. Sous-groupe des transformations spéciales de LORENTZ-POINCARÉ

#### a. Enoncé

#### b. Commentaires (3 p.23)

### 2. Composition des vitesses (1 p.225)

Découle de l'associativité

#### a. Enoncé

#### b. Comparaison avec la composition galiléenne

### 3. Notion d'évènement

#### a. Définition (2 p.28)

#### b. Invariance de la pseudo-norme

c. Classification des intervalles entre 2 évènements (2 p.34)

#### d. Hyper-cône de lumière (2 p.35, 3 p.25)

### 4. Dilatation du temps et contraction des longueurs

a. Durée propre et dilatation du temps (2 p.37, 3 p.38)//

#### b. Synchronisation des horloges (3 p.36)

c. Longueur propre et contraction des longueurs (2 p.38, 3 p.43)

## III. Manifestations...

1. ... de la dilatation du temps : muons atmosphériques (3 p.40, 2 p.39)

2. ... de la composition einsteinienne des vitesses : effet DOPPLER-FIZEAU relativiste (Hladik ?)

#### a. Effet longitudinal

#### b. Effet transversal

#### c. Redshift

**Conclusion** Belle construction de l'esprit mais n'incorpore pas encore la gravitation... Le PFD n'est même plus covariant !

## Bibliographie :

1. Gié, Méca 1 (orange)
2. Grossetête, Relativité restreinte
3. Perez Relativité

**Remarques :**

- Ppes doivent être claires + notion d'évènement
- Durée et longueur propres doivent être définis pour la contraction des longueurs et la dilatation des temps
- Décrire des expériences
- Attention! Cette leçon ne considère QUE des référentiels galiléens, notamment dans l'énoncé des postulats du I. 3.
- Principe de relativité : les lois de la Physique sont invariantes par transformation de LORENTZ (= covariantes)
- Le principe de relativité d'EINSTEIN étend à toute la Physique la nécessité de la covariance des lois => nécessité d'une transformation autre que galiléenne des champs pour que ça colle avec

## MAXWELL

- MT covariante par transformation galiléenne
- c finie => le solide indéformable n'existe pas
- On perd la commutativité en passant des transformations spéciales aux non spéciales de LORENTZ
- Evoquer l'expérience de BERTOZZI (1964) (Perez p.23, Gié p.242) pour montrer que c est bien une vitesse maximale
- Pseudo paradoxes des jumeaux LANGEVIN et de la grange bien levé par Grossetête p.37
- Autres manifestations classiques de la composition einsteinienne des vitesses : expérience de FIZEAU, aberration des étoiles

## VII. LP07 : Dynamique relativiste - Exemples

Binôme : Clélia

Date de passage : 03/03/11

Correcteur : Z

**Intro** MAXWELL invariant par transformation de LORENTZ, mais plus le PFD => nécessité d'une dynamique relativiste

### I. Dynamique relativiste

1. Postulat et  $4\vec{p}$  (5 p.65)

a. Postulat

b.  $4\vec{p}$

c. Transformation du  $4\vec{p}$

2. Formulation covariante du PFD (5 p.70)

On  $W$  avec une particule de masse non nulle

a.  $4\vec{f}$

b. Enoncé

c. Commentaires

3. Relations entre  $E$ ,  $\vec{p}$ ,  $\vec{v}$ ,  $m$  (5 p.66)

a. Lien entre  $4\vec{p}$  et  $4\vec{v}$

Energie de masse, masse invariante

b. Relation d'EINSTEIN

4. Théorèmes de l'énergie (6 p.78, 5 p.69)

5. Cas d'une particule de masse nulle (5 p.74)

### II. Mouvement d'une particule chargée

1. PFD relativiste et aspects énergétiques

a. PFD relativiste (6 p.90)

b. Aspects énergétiques (4 p.249)

2. Dans un champ  $\vec{E}$  uniforme et permanent (4 p.250)

Durée dans  $R_{labo}$  et temps de vie (6 p.94)

3. Dans un champ  $\vec{B}$  permanent

a. Généralités (4 p.251)

Utiliser l'analogie avec le cas newtonien pour admettre les résultats du b.

b. Dans  $\vec{B}$  uniforme

4. Application aux accélérateurs

a. Accélérateurs linéaires (5 p.89, 6 p.100)

Stanford Laboratory Accelerator Center (SLAC), microscope électronique

a. Accélérateurs circulaires (4 p.254, 5 p.84)

Cyclotron (32) et synchrocyclotron (46), synchrotron (Fermilab, LEP)

Transition : LEP a été reconverti en collisionneur proton / antiproton

### III. Collision de particules

1. Généralités

a. Lois de conservation

Pb de la simultanéité (5 p.95). Invariance de la pseudo-norme (4 p.263)

b. Référentiel du centre d'inertie (2 p.103, 6 p.118)

Masse ambiguë => raisonner avec énergie totale

c. Collision élastique

2. Diffusion COMPTON (1923) (3 p.54, 1 p.131)

a. Description de l'expérience (5 p.105)

b. Effet COMPTON (5 p.104)

c. Commentaires (6 p.133)

**Conclusion** Il existe des chocs inélastiques qui traduisent la conversion d' $E_c$  en énergie de masse (pas interne comme en classique) => nouvelles particules ! D'ailleurs, lois de conservation du III. 1. a. ont un sens profond => théorème de NOETHER

**Bibliographie :**

1. Aslangul I.
2. Boratav, Relativité
3. Cagnac I.
4. Gié, Méca 1 (orange)
5. Grossetête, Relativité restreinte
6. Perez, Relativité

**Remarques :**

- Chambre de WILSON pour détecter l'électron dans l'effet COMPTON
- La loi de NEWTON pour la gravitation implique une propagation

à vitesse infinie ce qui ne va pas => la restreinte ne s'applique qu'à l'électromag'

- Attention, en toute rigueur, le mouvement accéléré d'une particule chargée s'accompagne aussi d'une force de freinage type frottements fluides pour traduire les pertes par rayonnement
- Impossible de connaître l'angle de diffusion dans l'expérience de COMPTON car il faudrait détailler l'interaction électromagnétique (quantique) lors du choc
- COMPTON : collision élastique  $\gamma / e^-$  libre  $\neq$  THOMSON et effet photoélectrique : collision inélastique  $\gamma / e^-$  lié au métal ( $\Rightarrow \lambda_{thomson} \sim \lambda_{initial}$ )
- La diffusion COMPTON est inélastique pour le photon (qui change de fréquence) mais pas globalement (pour le photon et l'électron)

# VIII. LP08 : Notion de viscosité d'un fluide - Ecoulements visqueux - Nombre de REYNOLDS - Exemples simples

Binôme : **Carole**

Date de passage : 03/11/10

Correcteur : Z

**Intro** Eau  $\neq$  miel  $\Rightarrow$  cuillère qui tourne fait tourner le pot ou pas. Différents types d'écoulement (robinet  $\pm$  fort)  $\propto D_v$ . Tenir compte de l'un expliquera l'autre

## I. Viscosité d'un fluide

1. Mise en évidence expérimentale : transport de quantité de mouvement dans un écoulement de cisaillement simple (3 p.433)

2. Définition (1 p.90)

a. Analogie et pragmatisme

Conduction thermique (pas de convection et mouvement  $\perp$  grad(P)). Viscosité dynamique. Fluide newtonien. Odg (3 p.435)

b. Force volumique de viscosité

Viscosité cinématique (odg 3 p.439). Fluide homogène incompressible

3. Interprétation microscopique pour les gaz (1 p.95)

Passer vite

## II. Caractérisation des écoulements visqueux

1. Equation de NAVIER-STOKES

a. Enoncé (3 p.437)

b. Conditions d'écoulement incompressible (3 p.409)

2. CL pour un fluide réel (1 p.172)

Solide impénétrable

3. Interprétation de l'expérience introductive (3 p.439)

4.  $Re$  (1 p.100)

a. Définition

Avec les  $\tau$

b. Différents régimes

Evoquer les forces de traînée. Attention à la géométrie. Rôle de la viscosité dans un écoulement turbulent (3 p.443)

c. Equation de diffusion (1 p.93)

Interprétation de l'évolution du I. 1. b. au fil de la leçon : erf

## III. Exemples

Ici, le terme convectif est nul à cause de la géométrie, pas d'une faible vitesse !

1. Ecoulement de COUETTE plan (1 p.195, 2 p.141)

Vérifier que l'on a atteint le RP

a. Modélisation

b. Mise en équations

c. Etude d'une transmission (2 p.142)

2. Ecoulement de POISEUILLE dans un tube cylindrique horizontal (1 p.200, 2 exo p.154)

a. Modélisation

b. Mise en équations

c. Perte de charge

Due au caractère dissipatif des forces de viscosité. XP

**Conclusion** Viscosité indispensable (sinon paradoxe de D'ALEMBERT), d'autant plus dans la couche limite (3 p.443)

## **Bibliographie :**

1. Guyon, Hydrodynamique physique
2. HPrépa, Mécanique des fluides
3. Tec et Doc PC
4. Olivier, Tec et Doc PC



**Remarques :**

- Non newtonien : F/S n'est plus  $\propto$  au gradient de vitesse de cisaillement
- Attention ! En toute rigueur, si l'écoulement n'est pas incompressible (ie  $\frac{D\rho}{Dt} \neq 0$  ie  $\text{div}(\vec{v})=0$ ), la force de viscosité 3D contient en plus un terme qui traduit les contraintes normales
- Ecoulement unidirectionnel  $\Rightarrow \text{div}(\vec{v})=0$  ,  $\equiv$  écoulement incompressible
- $\alpha_P=0$  et  $\chi_T=0$  (ie fluide incompressible) (ou température uniforme) (eg liquides)  $\Rightarrow$  écoulement incompressible (Tec p.409)
- Gaz et  $v \ll c_{son}$  et écoulement stationnaire  $\Rightarrow$  écoulement incompressible (Tec p.409)
- Ecoulement parfait ssi tous les phénomènes de transport diffusifs sont négligeables
- Ecoulement parfait  $\Rightarrow$  viscosité négligeable, évolution adiabatique (et isoS si réversible)

- MAXWELL-BOLTZMANN  $\Rightarrow$  loi du type ARRHÉNIUS pour  $\eta$  en fonction de T dans un liquide
- Souligner que la force de viscosité étant opposée au mouvement, elle est nécessairement dissipative
- Problème : Guyon p.172. Ecoulement incompressible  $\Rightarrow \text{div}(\vec{v})=0$  donc continuité de  $v_{\perp}$ . Mais si l'écoulement n'est pas incompressible, est-ce encore valable? Réponse : suffit d'invoquer la non-interpénétrabilité
- Turbulent  $\Rightarrow$  tourbillonnaire mais le  $1^{er}$  ne dépend pas du référentiel
- Problème : à faible  $Re$ , les lignes de champ témoignent de la réversibilité du problème. Et pourtant, la diffusion domine! Réponse : ça n'est pas de la réversibilité en temps (qui n'a pas de sens puisque l'écoulement est stationnaire) mais de l'invariance des lignes de champ par renversement du vecteur vitesse (dont le laplacien est justement nul)

# IX. LP09 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide; validité - Relations de BERNOULLI; limites et applications

Binôme : **Claire-Marie**

Date de passage : 26/11/10

Correcteur : Z

**Intro** XP balle de ping-pong et nécessité analytique d'approximations

## I. Modèle de l'écoulement parfait

### 1. Hypothèses

a. Fluides newtoniens homogènes et tension de surface négligée

b. Ecoulement parfait (1 p.170, 4 p.663)

Termes diffusifs négligeables. O<sub>d</sub>g

### 2. Equation d'EULER (2 p.95)

a. Enoncé

b. Commentaires

c. Système complet d'équations

Écoulement incompressible ou pas

### 3. Modèle de la couche limite

a. Paradoxe de D'ALEMBERT (2 p.174, 1 p.172)

Écoulement à  $\eta \rightarrow 0 \Rightarrow R_e \rightarrow \infty \Rightarrow$  écoulement turbulent  $\neq$  écoulement parfait (irrotationnel incompressible et permanent)  $\Rightarrow$  pas de force de traînée (donc pas de résistance à l'avancée du solide dans le fluide  $\Rightarrow$  mouvement permanent) ni de turbulence.  $\rightsquigarrow \exists$  couche limite

b. Couche limite (2 p.172)

c. Epaisseur d'une couche limite laminaire (4 p.444, 2 p.176)

## II. Relation de BERNOULLI

1. Intégration de l'équation d'EULER (2 p.98)

### 2. Cas particulier

a. Ecoulement incompressible

b. " irrotationnel et permanent

3. Condition suffisante d'incompressibilité (1 p.140, 4 p.409)

Nombre de MACH

4. Aspect énergétique (4 p.503)

a. Bilan d'énergie cinétique

b. Aspect thermodynamique

## III. Limites et applications

1. Effet VENTURI (2 p.105)

Balle de ping-pong (Perez p.466), cavitation (1 p.269)

2. Tube de PITOT (4 p.468)

## Conclusion Ondes acoustiques

## **Bibliographie :**

1. Guyon
2. HPrépa PC
3. Perez, Méca
4. Tec et Doc PC

## **Remarques :**

- Limites de BERNOULLI : cavitation, dissipation dans étranglements (car  $\exists$  couche limite dans lesquels écoulement de POISEUILLE)
- LP précédente en prérequis
- L'équation d'EULER s'applique à des écoulements compressibles ou pas car "écoulement parfait" implique que l'on zappe les 2

termes de viscosité (celui usuel et l'autre)

- Forces possibles : poids, pression, électrostatique, magnétique, de CORIOLIS (Tec p.462)
- Attention! EULER s'applique aussi à des écoulements à grands

$R_e$  (non turbulent et loin des parois)

- Fluide parfait ssi pas d'interaction (rien à voir avec l'Hydro)
- Théorème de LAGRANGE (admis) : un écoulement parfait irrotationnel à un instant donné l'est à jamais

# X. LP10 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides : applications

Binôme : **Simon**

Date de passage : 26/11/10

Correcteur : Z

## Intro

### I. Force de tension superficielle

1. Mise en évidence (4 p.52)

a. Force de tension superficielle (3 p.82)

Linéique car XP aiguilles

b. Travail de la force de tension superficielle

XP film de savon. Odg

c. Interprétation microscopique (6 p.72)

2. Approche thermodynamique

a. Transformation isoT réversible (5 p.416)

b. Entropie et énergie interne de surface (3 p.601)

$U_{\Sigma}$  négligeable en couplage faible

3. Mesure de  $\gamma$  : méthode par arrachement de LECOMTE DE NOÛY (5 p.422)

### II. Conséquences

1. Mouillage (5 p.418)

a. Position du problème

b. Equation de YOUNG-DUPRE

c. Applications

Selon les  $\gamma$

2. Loi de LAPLACE : discontinuité de P

a. Méthode mécanique : goutte d'eau (2 p.16)

b. Méthode thermodynamique : bulle de savon (3 p.210)

c. Adhésion capillaire (2 p.18)

d. Retard à la liquéfaction (1, 3 p.607, 5 p.430)

$\Delta P \rightarrow \infty$  qd la goutte d'eau se forme dans le gaz => retard à la liquéfaction

3. Ascension capillaire (4 p.59)

a. Le long d'une paroi

Longueur capillaire

b. Dans un tube : loi de JURIN

### III. Ondes linéaires à la surface d'un fluide parfait

1. Influence de la gravité (4 p.58)

Nombre de BOND

2. Relation de dispersion (4 p.328)

Houle, risée et déférlante

3. Mesure dynamique de  $\gamma$  (5 p.426)

Conclusion Mesure dynamique de  $\gamma$  par mesure de la vitesse des ondes à la surface de l'eau

### Bibliographie :

1. Choimet
2. De Gennes, Gouttes, bulles, perles et ondes
3. DGLR Thermo
4. Guyon
5. Perez, Thermodynamique
6. Di Meglio Les états de la matière

### Remarques :

- Approche thermodynamique avec définition précise des systèmes thermo nécessaire
- Attention ! Lors d'un changement de phase,  $\gamma$  foireux je crois...
- La tension de surface est conservative
- L'approche thermodynamique n'est valable que pour le choix de la définition microscopique de l'interface selon GIBBS. Celui-

ci impose que le nombre de moles associé à la surface soit nul (DGLR Thermo p.598). Ainsi, l'aire de l'interface et  $\gamma$  sont des variables conjuguées

– Puisque l'énergie de cohésion  $\searrow$  qd  $T \nearrow$ ,  $\gamma \searrow$  qd  $T \nearrow$  jusqu'à s'annuler à  $T_c$

# XI. LP11 : Modèle du gaz parfait

Binôme : **Licari**

Date de passage : 22/09/10

Correcteur : Z

## I. Des expériences au modèle

1. Quelques expériences et lois phénoménologiques historiques

a. Lois de BOYLE-MARIOTTE ( $\sim 1660$ ) (1 p.46 puis p.57, DOC 1 p.47) et de GAY LUSSAC-CHARLES (5 p.17)

Isothermes d'AMAGAT  $\Rightarrow$  définition d'une température relative en extrapolant quand  $P \rightarrow 0$  puis absolue (ie indépendante de la nature du gaz) en fixant l'unité ie le Kelvin à  $\frac{1}{273,16}$  du point triple de l'eau (évite d'avoir à spécifier la pression). Transition : mais quelle dépendance par rapport à la quantité de matière ?

b. Loi d'AVOGADRO (1810) (1 p.58)

c. Equation d'état phénoménologique (1 p.61)

Transition : mais qui est R ?

2. Modèle (3 p.50)

a. GP monoatomique (4 p.12, 2 p.240)

Loin du point triple ! Et sans interactions entre eux ssi  $n^* \propto E_{int} \ll E_c \propto T$  (3 p. ...) donc  $n^*$  faible ou T grand (AN 2 p.240 !). Dire que les hypothèses sur les vitesses s'expliquent par le modèle cinétique

b. GP en général (4 p.24)

On peut aussi supposer les 2 lois de JOULE car exo DGLR p.164 mq "Lois de JOULE"  $\Rightarrow$  "PV=nRT"

## II. Modèle cinétique

1. Hypothèses de la théorie cinétique

a. Homogénéité de la densité moléculaire

b. Homogénéité et isotropie de la distribution des vitesses

Montrer l'allure gaussienne (DOC 5 p.8, 1 p.80). Evoquer l'hypo-

thèse ergodique (3)

2. Pression cinétique (3 p.358, 1 p.85)

3. Température cinétique et vitesse quadratique moyenne (1 p.89)

a. Relation

b. Lien entre  $T_\theta$  et  $T_c$  : valeur de R

4. Energie interne (4 p.20 puis 25 pour GPP)

Invoyer l'équipartition de l'énergie. Cohérence entre U et l'équation d'état car  $P = \frac{2}{3}u$  pour un GPM (se voit directement). Pour un GPP, invoquer KOENIG (4 p.33)

## III. Au-delà du gaz parfait

1. Le modèle de VAN DER WAALS (4 p.25)

a. Sphères dures

b. Interaction de VAN DER WAALS et pression moléculaire

laire

2. Energie potentielle d'un gaz réel OU développement du viriel ?

3. Limite quantique (cf rqs LP50)

**Bibliographie :** 1. BFR (et FR), Thermodynamique

2. DGLR, Thermodynamique

3. DGLR, Physique statistique

4. Vieux Tec& Doc, Thermodynamique

5. Précis Bréal PCSI, Thermodynamique

## Remarques :

– Principe zéro : "2 systèmes en équilibre thermique avec un même 3<sup>ème</sup> sont en équilibre thermique entre eux" (DGLR Thermo p.72)

- Evoquer les limites de VAN DER WAALS : valable partout pour  $T > T_c$  mais valable seulement pour P grand et V petit (ou l'inverse) si  $T < T_c$  (DGLR Thermo p.337)
- Point faible majeur du modèle de GP : particules ponctuelles => pas de collisions => pas de thermalisation possible... De plus, même si particules très petites, comme interactions faibles, libre

- parcours  $\rightarrow \infty$  donc il y a forcément des collisions
- En toute rigueur, pour repérer l'axe du cylindre sur lequel on travaille, il faudrait 2 angles, pas juste  $\theta$ . Cependant, on ne s'intéresse qu'à la composante de la quantité de mouvement selon z car les autres se simplifient... Serait-ce là l'explication ?

## XII. LP12 : Fonctions d'état caractéristique d'un système à l'équilibre thermodynamique - Identités thermodynamiques - Applications

Binôme :

Date de passage : 22/09/10

Correcteur : Z

### I. Caractérisation de l'équilibre thermodynamique

#### 1. Définition (1 p.5)

"Grandeurs macroscopiques stationnaires et flux nuls" (ou "... stationnaires même si système isolé")

#### 2. Fonctions d'état caractéristiques

##### a. Variables d'état (1 p.9 et p.19)

Cas du système isolé (primitives) et cas général (ssi équilibre).  
Caractère de base

##### b. Fonctions d'état caractéristiques (5 p.8)

Différentielle totale exacte (ie variation ne dépend pas du chemin), munie de ses variables naturelles et contient toute l'information thermodynamique. Exemple :  $S=S(U,V,n)$  qui caractérise les grandeurs macroscopiques à l'équilibre thermodynamique (postulat DGLR), équivalent à  $U=U(S,V,n)$  car  $T>0K$  (référence???) (démontré plus tard)

##### c. Information thermodynamique (5 p.12)

Equation d'état, coefficients de réponse, fonctions d'état non caractéristiques (ex :  $S=S(T,V,n)$ , évoquer les formules de GIBBS-HELMHOLTZ)

Transition : pourquoi fonctions d'état NON caractéristiques ?

### II. Identité thermodynamique et nouvelles fonctions caractéristiques

#### 1. Identité thermodynamique et définitions

##### a. Identité thermodynamique

Expliquer pourquoi fonctions d'état non caractéristiques (1 p.18).  
Citer les relations de MAXWELL qui découle de SCHWARZ

b. Température, pression thermodynamiques et potentiel chimique

#### 2. Variables conjuguées et transformation de LEGENDRE

Nécessité expérimentale

a. Fonctions d'état non caractéristiques (1 p.18 puis 5 p.7)

$U=U(T,V,n) < U=U(S,V,n)$  et admettre "dérivée partielle de T par rapport à U à V et n constants  $> 0$ " (pour des raisons de stabilité, cf leçon suivante) (DGLR p.33 et p.200). Illustrer  $S=S(T,V,n) < S=S(S,V,n)$  sur l'exemple du GP. Par contre, possibilité d'une représentation paramétrique de  $S=S(U,V,n)$

##### b. Variables conjuguées (1 p.15)

##### c. Transformation de LEGENDRE (1 p.126)

Evoquer ici encore la conservation de la concavité pour des raisons de stabilité

#### 3. Nouvelles fonctions caractéristiques

Tableau récapitulatif (1 p.131)

#### 4. Exemple : énergie libre de l'eau liquide (3 p.371)

"Pour fixer les idées", dixit le jury

### III. Applications

#### 1. Echauffement d'un fil (2 p.241)

#### 2. Electrostriction (1 exo p.99 cas (1), AN 4 p.146)

Conclusion On a montré comment caractériser l'équilibre thermodynamique, reste à savoir comment le système évolue vers cet équilibre...



**Bibliographie :**

1. DGLR, Thermodynamique
2. Faroux & Renault, Thermodynamique
3. Olivier, Thermodynamique
4. Perez, Thermodynamique
5. Précis Bréal, Thermodynamique PC

**Remarques :**

- Où montre-t-on que  $T > 0K$  à l'équilibre ?
- DGLR p.34 mq
- Evoquer les formules de GIBBS-HELMHOLTZ (Précis p.15)
- Présenter véritablement l'identité thermodynamique comme une simple conséquence du caractère "fonction d'état" de l'entropie et des définitions de  $T$ ,  $P$  et  $\mu$

# XIII. LP13 : Evolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé - Potentiels thermodynamiques - Exemples

Binôme : **Cécile bis**

Date de passage : 13/10/10

Correcteur :

Introduction On a montré comment caractériser l'équilibre thermodynamique, reste à savoir comment le système évolue vers cet équilibre... On montrera comment on adopte une certaine approche selon les caractéristiques du problème

## I. Evolution vers l'équilibre d'un système isolé

1. Approche mécanique (1 p.171)

2. Définitions

Introduire ces concepts en s'appuyant sur l'approche mécanique

a. Paramètres extérieurs (1 p.23, 3 p.38)

b. Variables internes (1 p.23, 3 p.38)

c. Potentiel thermodynamique (2 p.332)

3. Conditions d'évolution, d'équilibre et de stabilité

(3 p.39, 1 p.23 et p.28)

4. Exemple : équilibre thermique entre sous-systèmes d'un système isolé

## II. Choix d'un potentiel adapté dans d'autres situations

(3)

1. Evolution monotherme isochore

a. Conditions d'évolution, d'équilibre et de stabilité

b. Exemple : transformation où  $T_i=T_f=T_0$

2. Evolution monotherme monobare

a. Conditions d'évolution, d'équilibre et de stabilité

b. Exemple : transformation où  $T_i=T_f=T_0$  et  $P_i=P_f=P_0$  (sur transparents)

c. Travail maximal récupérable (3 p.56)

## III. Applications

1. Retard à la liquéfaction (Précis applications 2 et 3 épurées)

Admettre  $G_{surf}$  et  $G_l < G_v$  si liquide plus stable que vapeur. Chambre de WILSON (FR)

2. Pile (HPrépa) ou modèle de LANDAU (Précis) ?

Conclusion Pour un système ouvert, il existe le potentiel chimique  $\mu$  (exemple : gaz de photons)

## Bibliographie :

1. DGLR, Thermodynamique

2. Olivier, Thermodynamique

3. Précis Bréal, Thermodynamique PC

## Remarques :

- Evoquer les multiplicateurs de LAGRANGE comme méthode générale (Perez p.482)
- Expliciter que les potentiels sont des valeurs prises par les grandeurs thermodynamiques dans des états d'équilibre fictifs (car grandeurs pas définies hors équilibre)
- Remarque : expliciter que l'on prendra le potentiel dans son sens large du terme (ie pas nécessairement minimum à l'équilibre mais extrémal)
- GIBBS-DUHEM donne  $d\mu$  (DGLR p.141). Existe-il une formule de GIBBS-DUHEM pour  $G$ ?  $G$  et  $\mu$  diffèrent car l'un est extensif, adapté aux systèmes fermés, l'autre est intensif
- Attention ! Système fermé donc ici, pas d'équilibre chimique pos-

sible (et d'égalité des potentiels chimiques) comme dans DGLR  
p.606  
– Réversible  $\Rightarrow$  lors d'un échange de  $x$ , la valeur conjuguée véri-

fic :  $X = \pm X_{ext}$   
– Isolé + quasi-statique  $\Rightarrow$  réversible

# XIV. LP14 : Thermodynamique des phénomènes irréversibles

Binôme : **Florian**

Date de passage : 13/10/10

Correcteur : Z

**Intro** Jusque là, grandeurs définies à l'équilibre. Equations fondamentales (PFD et SCHRÖDINGER) déterministes et réversibles en temps  $\neq$  évolution macroscopique stochastique et irréversible. "L'instabilité des équations du mouvement par rapport à de légères modifications des conditions initiales ou extérieures [...] semble être une propriété quasi-universelle des systèmes dynamiques" : la preuve par l'exemple.

## I. Origines de l'irréversibilité

1. Du microscopique au macroscopique : plus qu'un facteur d'échelle

a. Le 2<sup>nd</sup> principe de la Thermodynamique : une approche empirique (3 p.104)

b. Fondements théoriques de l'entropie (1 p.9, p.151)

c. Interprétation stochastique (1 p.555, p.617)

2. Sensibilité aux conditions initiales (1 p.572)

Perturbation gravitationnelle

3. Phénomènes intrinsèquement irréversibles

a. Evolutions monothermes (6 p.206)

b. Détente de JOULE-GAY LUSSAC d'un gaz parfait (2' p.34)

Rappel de la différence entre quasi-statique et réversible (2 p.54)

4. Autres exemples (5 p.734)

a. Forces dissipatives

Frottements solides, même si quasi-statiques  $\neq$  frottements fluides car  $\propto \vec{v}$ )

b. Inhomogénéité d'une grandeur intensive (T, V,  $\vec{v}_{||}$ , n\*)

c. Réaction chimique

d. Hystérésis

## II. Phénomènes de transport

1. Modélisation

a. Equilibre thermodynamique local (4 p.87)

b. Approximation linéaire (2 p.512)

c. Isotropie et non-localité de l'espace et du temps (2 p.513)

2. Equations locales de conservation... (4 p.88)

a. ... de l'énergie

a. ... de la matière

3. Equations de la diffusion (4 p.98)

a. Enoncés

b. Commentaires

Linéarité ( $\Rightarrow$  FOURIER), irréversibilité, échelles de temps et de longueur, CL

c. Exemple : conduction thermique unidimensionnelle en régime permanent

Transition : plus généralement, création d'entropie

4. Création d'entropie, caractéristique de l'irréversibilité (2 p.508)

Exemple filé de la création d'entropie lors de diffusion thermique (4 exo p.118)

a. Identité thermodynamique et courant d'entropie

b. Bilan entropique

Transition : bilan local d'entropie va permettre d'unifier les lois phénoménologiques du transport

## III. Couplage de phénomènes irréversibles

1. Forces thermodynamiques

2. Théorie d'ONSAGER (2 p.512, 3 p.378 avec des abus)
  - a. Hypothèses
  - b. 4<sup>ème</sup> principe de la Thermodynamique : relation d'ONSAGER et matrice cinétique
  - c. Propriétés de la matrice cinétique

Définie positive et relations de réciprocité d'ONSAGER

3. Thermodiffusion : effet Soret-DUFOUR (2' p.400, 3 p.300)
4. Effet thermoélectrique : effet SEEBECK (2 p.515, 3 p.382)
  - a. Courants et forces thermodynamiques
  - b. Liens entre conductivités et coefficients d'ONSAGER
  - c. Pouvoir thermoélectrique et mise en évidence expérimentale

**Conclusion** 1 p.542 : brisure de symétrie et déséquilibre matière/anti-matière. Théorème H de BOLTZMANN (1 p.552, 3 p.296)

### Bibliographie :

1. DGLR, Physique statistique
2. DGLR, Thermodynamique
- 2'. DGLR, Exos
3. Perez, Thermodynamique
4. Précis PC

5. Tec & Doc PCSI
6. Olivier, Thermodynamique

### Remarques :

- DGLR p.558 : "L'instabilité des équations du mouvement par rapport à de légères modifications des conditions initiales ou extérieures [...] semble être une propriété quasi-universelle des systèmes dynamiques" => lien avec le problème ergodique
- Principe ergodique : "à l'équilibre, les valeurs moyennes des diverses grandeurs, évaluées à l'aide d'un ensemble statistique de systèmes identiques, coïncident avec les valeurs moyennes de ces mêmes grandeurs calculées sur les fluctuations d'un système unique au cours du temps" ie "à l'équilibre, moyennes d'ensemble et moyennes temporelles coïncident"
- Exemple du Perez p.380 pour DUFOUR est loin d'être isotrope!?!?
- Temps de POINCARRE : temps au bout duquel le système repasse par son état initial (DGLR Physique statistique p.640)
- Envisager éventuellement à la place du I. 3. a. une expérience avec la charge fractionnée d'un condensateur
- Réversible ssi quasi-statique ET variation d'entropie infiniment petite d'ordre 2
- Problème : pourquoi une chute d'eau n'est-elle pas réversible?

# XV. LP15 : Application des deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques

Binôme : Tom

Date de passage : 22/10/10

Correcteur : VILLAIN

Intro ÉOLIPYLE et cheval-vapeur

## I. Considérations générales (1,3,4)

### 1. Définition

- a. Machine thermique
- b. Thermostat
- c. Source méca

2. 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> principes appliqués à une machine thermique : diagramme de RAVEAU

### 3. (Enoncés du 2<sup>nd</sup> principe)

- a. Enoncé de CLAUSIUS (1854)
- b. Enoncé de KELVIN-PLANCK (1824 puis 1850's)
- c. Equivalence des 2 énoncés

### 3. Machines dithermes idéales

- a. Moteur, cycle et rendement de CARNOT
- b. Récepteurs : pompe à chaleur et machine frigorifique

Transition : cycle de CARNOT délicat car transformations isothermes difficiles à mettre en oeuvre... Avec des isobars, ça fait JOULE mais c'est moins efficace. Mais on note que les chaleurs latentes de vaporisation se comptent en 100kJ/kg alors que les capacités calorifiques donnent, sur des variations de quelques dizaines de K, des énergies thermiques d' $\sim 10$ kJ/kg (hum, hum)

## II. Machine frigorifique à fréon (5)

### 1. Description

a. Fluide frigorigène : fréon 12 (2 p.755)

b. Composants (6 p.336)

### 2. Cycle sur un diagramme entropique (5, 2)

a. Compression isoS dans le compresseur

b. Refroidissement isoP puis iso(P,T) dans le conden-

seur

c. Détente isoH dans le détendeur

d. Evaporation iso(P,T) dans l'évaporateur

### 3. Performances

a. Efficacité

b. Comparaison avec le cycle de CARNOT associé

c. Contraintes imposées par le fonctionnement réel (2 p.729)

### 4. Raffinement par séparation des phases (5)

a. Principe

On ne conserve qu'une certaine masse de liquide

b. Nouvelle efficacité

Attention! Pas de  $(1-x_4')$  dans le calcul de  $q_4$

Transition : il y a mieux dès que l'écart en T est grand

## III. Congélateur à 2 étages (5)

### 1. Description

2. 1<sup>er</sup> cycle

3. 2<sup>ème</sup> cycle

4. Bilan

Conclusion Réciproquement, l'étude des machines thermiques permet de mieux comprendre les principes à la base de la Thermodynamique (c'est d'ailleurs le cheminement historique) et leur éventuelle équivalence (3,4)

**Bibliographie :**

1. Tec& Doc MPSI
2. Bailly
3. DGLR, Cours
4. DGLR, Exos
5. Coulombeau
6. Koller

**Remarques :**

- 20 à 30 mns sur une ou deux machines réelles => épurer la première partie pour passer plus de temps sur la seconde
- Insister sur l'aspect historique en soulignant l'atout des machines thermiques par rapport aux chevaux
- Efficacité  $> 1$  (différent du radiateur électrique)
- Lutter contre l'irréversibilité et exploiter les changements d'états améliorent les choses

# XVI. LP16 : Etude thermodynamique d'un système constitué par un corps pur sous plusieurs phases - Exemples

Binôme : **Nayélie**

Date de passage : 22/10/10

Correcteur : VILLAIN

**Intro** Etude descriptive l'an dernier et leçon précédente pour l'évolution à (T,P) fixé : approfondissons. Définition des diagrammes de phases, d'une transition de phase (1 p.645)

## I. Evolution et équilibre d'un corps pur diphasé

### 1. Potentiel thermodynamique à (T,P) fixé (5 p.48)

Amener au passage les nombreuses hypothèses (couplage faible, ...)

- a. Paramètres extérieurs et variables internes
- b. Potentiel thermodynamique

### 2. Conditions d'évolution et d'équilibre (5 p.49)

- a. Critère d'évolution thermodynamique
- b. Condition d'équilibre entre phases
- c. Conséquences immédiates

Introduire la variance selon GIBBS (3 p.192), la pression de vapeur saturante et le point triple. Mq relation d'EULER (1 p.140) + ci-dessus => égalité des potentiels (1 p.319) => tracé de (P,T) possible (transition)

## II. Enthalpie de changement d'état et diagrammes de phases

XP : modèle 3D

### 1. Enthalpie de changement d'état

- a. Calcul d'odg (2 p.141, p.44)
- b. Définition (1 p.324)
- c. Relation de CLAPEYRON (1 p.324)

Conclure avec Perez p.261 pour le pain de glace puis le patineur 1' p.205. Evoquer la formule de REGNAULT qui donne  $L=L(T)$  (4 p.263, 1' p.212)

### 2. Exemples (DGLR p.610)

- a. Transpiration
- b. Climatiseur à évaporation

### 3. Diagramme (P,T)

- a. Point critique (1 p.325, 5 p.54)
- b. Point triple (1 p.311, 5 p.54)

Unicité, variance, référence thermométrique

- c. Courbe de sublimation à basses T et P (1 p.342)

### 4. Diagramme de CLAPEYRON (délicat, 1 p.312)

- a. Règle des moments
- b. Stockage des fluides (3 p.203)

## III. Etats métastables : transition liquide-gaz

courbes de saturation et spinodale (1 p.339, 1' p.331 => interprète l'enthalpie libre de changement d'état en termes de nécessité pour avoir un palier)

### 1. Isothermes de VAN DER WAALS (1 p.339)

- a. Allures
- b. Instabilité

### 2. Construction de MAXWELL (1 p.339)

### 3. Arcs stables et arcs métastables (1 p.340)

### 4. Courbe spinodale (1 p.340)

### 5. Exemples

a. Retard à la condensation : chambre de WILSON (3 p.206)

- b. Retard à l'ébullition : chambre à bulles (3 p.206)

- c. Autres états métastables (1 p.314)



**Conclusion** Différents ordres pour les transitions de phase... Perez et DGLR

**Bibliographie :**

1. DGLR, Thermodynamique
- 1'. DGLR exos
2. DGLR Physique statistique
3. Faroux & Renault, Thermodynamique

4. Perez, Thermodynamique
5. Précis PC

**Remarques :**

- Au point critique, la transition de phase est du 2<sup>ème</sup> ordre
- Pour l'étude des états métastables, on adopte l'approche à minima ; on part de l'équation d'état < potentiel thermodynamique
- Savoir mq  $\chi_T > 0$  (DGLR p.199) (dire "démonstré dans leçon précédente")

# XVII. LP17 : Notion d'état microscopique - Interprétation statistique de l'entropie - Exemples

Binôme : **Luthmilla**

Date de passage : 10/11/10

Correcteur : VILLAIN

## Intro

### I. Etat microscopique

#### 1. Définition (2 p.12)

- a. En mécanique classique
- b. En mécanique quantique
- c. Macroétats

2. Système à 2 niveaux : le cristal paramagnétique parfait dans le formalisme microcanonique

#### a. Modélisation (2 p.180)

Limite thermodynamique (2 p.280)

#### b. Nombre de microétats accessibles (2 p.181)

DGLR p.147 pour la définition d'accessible

#### c. Fluctuations relatives (2 p.959)

Conclusion et transition : fluctuations relatives négligeables (ssi  $NP_+P_- \gg 1$ ). Quelle csq sur le lien micro/macro ?

### II. Interprétation statistique de l'entropie

#### 1. Postulat fondamental

#### a. Entropie statistique (2 p.9)

Introduire proprement la distribution de probabilités

#### b. Distribution de probabilité singulière (2 p.10)

#### c. Enoncé (2 p.147)

Evoquer l'hypothèse ergodique comme second postulat

#### d. Entropie microcanonique (2 p.151)

S additive, S fonction croissante de ses arguments (si on généralise

le résultat du I. 2. b.)

2. Etat macroscopique d'équilibre thermodynamique (2 p.153)

#### a. Contexte (2 p.63)

On travaille autour de la moyenne et on considère le nombre d'atome comme une variable continue

b. Théorème centrale limite et loi des grands nombres (2 p.964, p.132, p.155)

"La distribution statistique d'une variable interne est pratiquement (pour N grand) une gaussienne, centrée sur la valeur la plus probable" + "la valeur la plus probable d'une variable interne est celle qui maximise l'entropie partielle" (à démontrer en TD). Evoquer aussi le théorème H de BOLTZMANN qui assure l'évolution irréversible de façon générale (2 p.552)

c. Equilibre thermique entre sous-systèmes d'un système isolé (2 p.163)

### III. Exemples

#### 1. Détente de JOULE-GAY LUSSAC d'un GPM

#### a. Expression de $\Omega_{gp}$

Analogie à celle d'un système à 2 niveaux. Comparer le résultat  $\Delta S$  en thermo et en stat'  $\Rightarrow$  identique ssi  $k=k_B \Rightarrow$  températures microcanoniques = températures thermodynamiques

#### b. Paradoxe de GIBBS (3 p.285, 2 p.672, p.195)

Entropie de mélange (admettre la formule de S si discernabilité)  $\Rightarrow$  paradoxe

c. Indiscernabilité et approximation de MAXWELL-BOLTZMANN (2 p.197)

$\Rightarrow$  formule de SACKUR-TETRODE

#### 2. Refroidissement par désaimantation adiabatique (2 p.183,

p.317, 1 p.786, 3 p.345)

- a. Expression de l'entropie
- b. Température
- c. Refroidissement

Limites de la descente en température

### Conclusion

Pour un système en contact avec un thermostat, une approche statistique nous permettra d'introduire le facteur de BOLTZMANN

### Bibliographie :

1. Ashcroft
2. DGLR, Physique statistique
3. Perez, Thermodynamique

### Remarques :

- 3<sup>ème</sup> principe (principe de PLANCK-NERNST) : " $S \rightarrow 0$  quand  $T \rightarrow 0$ , à  $(V, n, \dots)$  fixé, pour un système à l'équilibre réel (ie stable, pas métastable ou instable), mais seulement si l'état fondamental microscopique est non dégénéré" (cf DGLR Physique statistique et Thermo p.73)
- Impossible d'atteindre le zéro absolu ( $\Rightarrow$  impossible de préparer un système macroscopique dans son état quantique fondamental) par des transformations adiabatiques. Mais reste toujours à prouver que l'on peut déduire l'innatignabilité du zéro absolu à partir du 3<sup>ème</sup> principe... (DGLR Thermo p.74)
- Formule de BOLTZMANN n'est valable qu'à l'équilibre thermodynamique
- La définition statistique de l'entropie ( $S = -k \cdot \sum P_i \cdot \ln(P_i)$ ) est valable même pour un système non isolé, pas la définition usuelle ( $S = k \cdot \ln(\Omega)$ )
- Une autre approche pour retrouver les résultats usuels à l'échelle macroscopique aurait consisté à admettre le fait que la distri-

bution binomiale tend vers la distribution gaussienne pour des grands nombres

- Subtilité sur les fluctuations relatives de la loi binomiale : il faut supposer qu'on travaille avec  $N$  tel que  $NP_+P_- \gg 1$  (DGLR p.62). Si on se contente de supposer  $N \gg 1$ , ça ne marche pas pour  $P_+$  trop proche de 0 ou 1 !
- La loi des grands nombres est explicitée dans le DGLR p.964 et démontrée p.132. Demander à Ariane pour les closes PRECISES du théorème (existence d'une moyenne et d'un écart-type finis par exemple). Utiliser cette loi au II. 2. pour faire le lien avec l'équilibre macroscopique
- Différencier entropie partielle (ie fonction d'une variable interne qui varie) et entropie
- On mesure la température de spin via la RMN : l'intensité donne  $\frac{n_+}{n_-}$
- Méthodes expérimentales de désaimantation adiabatique DGLR p.189
- Le calcul exact pour le GP passe par la MQ (introduction de  $h^{3N}$  comme volume élémentaire d'un état microscopique dans l'espace des phases) et la notion de densité d'états  $\Rightarrow$  impossible d'avoir l'expression exacte de  $\Omega$  mais juste sa dépendance
- Expliciter la limite thermodynamique (DGLR p.280)
- 3 définitions de la limite thermodynamique existent. La 1<sup>ère</sup>, vaseuse : " $N \rightarrow \infty$ ". La 2<sup>ème</sup>, très rigoureuse (DGLR Stat' p.280). Et la 3<sup>ème</sup>, intermédiaire, qui consiste à dire que l'on se place dans une situation où  $N \rightarrow \infty$  à densité particulière constante
- Evoquer l'expérience de KAPPLER (DGLR p.510, Krivine) pour mesurer  $k_B$
- Plus généralement, la formule de BOLTZMANN est valable même hors équilibre
- Ne pas confondre loi des grands nombres et théorème centrale limite
- Attention! Le refroidissement par désaimantation adiabatique n'est envisageable que pour certains types de matériaux paramagnétiques (DGLR Stat' p.187); bien distinguer paramagné-

tismes électronique (prépondérant dès que  $\vec{J} = \vec{L} + g\vec{S} \neq \vec{0}$ ) et nucléaire (quand  $\vec{J} = \vec{0}$ )  
– Attention! La formule de SACKUR-TETRODE n'est pas valable

à basse température puisque l'on travaille dans l'approximation de MAXWELL-BOLTZMANN! Ainsi, il n'est pas étonnant qu'elle ne vérifie pas le 3<sup>ème</sup> principe, celui de NERNST-PLANCK

# XVIII. LP18 : Introduction au facteur de BOLTZMANN à partir d'un exemple au choix

Binôme : **Sébastien**

Date de passage : 10/11/10

Correcteur : VILLAIN

**Intro** On a vu que l'entropie permet d'étudier l'évolution vers l'équilibre d'un système isolé mais en pratique, on a plutôt des systèmes en équilibre avec un thermostat ; quels résultats ?

## I. Sédimentation

Diffusion avec champ extérieur

1. Modélisation (7 exo p.782)

Checker le REYNOLDS

2. Courants de diffusion et de dérive (4 p.260)

a. Loi de FICK (6 p.79)

Etablissement qualitatif

b. Courant de dérive (6 p.81)

Vérifier l'approximation du régime permanent atteint immédiatement

3. Condition d'équilibre

a. Enoncé (4 p.260)

b. Facteur de BOLTZMANN

Admettre la relation d'EINSTEIN (6 p.82). Cf FR p.254 pour l'expérience de PERRIN qui permet d'avoir  $k_B$  puis  $N_A$  expérimentalement

c. Validité

( $T, V, N$ ) fixé,  $N^2 \ll N_{thermostat}$  et comparaison entre  $k_B T$  et  $E_p$  (ddl gelés à basse  $T$ ). Indiscernabilité et limite quantique ? Lien avec l'approximation de MAXWELL-BOLTZMANN

## II. Formalisme canonique

1. Distribution canonique des microétats

a. Hypothèses (3 p.257)

b. Loi de distribution de BOLTZMANN (3 p.258, 5 p.58, 6 p.45)

Introduire la dégénérescence et la densité d'états. D'après le facteur de BOLTZMANN, les états microscopiques de basse énergie (ie  $< k_B T$ ) ont une probabilité d'occupation bien plus grande que ceux de haute énergie. Cependant, quand on considère le système macroscopique dans son ensemble, ceci est contrebalancé par le fait que les niveaux d'énergie élevés sont bien plus nombreux (3 p.261) et concentrés autour de  $E_{macro}$  ! Lien avec compétition entre  $U$  et  $S$  (à préciser)

c. Cas de particules indépendantes : factorisation

2. Energie libre (3 p.267)

a. Définition

b. Energie moyenne - Fluctuations

3. Condition d'évolution spontanée (3 p.275)

## III. Applications

1. Système à 2 niveaux : cristal paramagnétique en formalisme canonique (3 p.312)

Effet de la dégénérescence

a. Fonction de partition et énergie libre

b. Aimantation et susceptibilité magnétique

c. Approximation classique - Loi de CURIE (1895)

d. Energie et entropie magnétiques : refroidissement par désaimantation adiabatique (3 p.183, p.317, 1 p.786)

Limites de la descente en température

2. Capacité thermique des solides

a. Traitement classique (3 p.303)

b. Théorème de l'équipartition de l'énergie (2 p.56, 3 p.305)

c. Loi de DULONG-PETIT

**Conclusion** Utile pour systématiser l'étude statistique des systèmes canoniques classiques, mais permet aussi de constater la finitude de cette vision et la nécessité d'explorer les basses températures (LP50)

**Bibliographie :**

1. Ashcroft
2. Couture
3. DGLR Physique statistique
4. Feynman Mécanique II
5. Latour
6. Perez Thermodynamique
7. Tout-en-un PC nouveau

**Remarques :**

- Attention : en toute rigueur, la relation d'EINSTEIN découle du

formalisme canonique et non l'inverse comme on le sous-entend au I. 3. b.

- Attention à tenir compte, pour un système macroscopique, de la dégénérescence dans l'expression de la probabilité d'observer le système macroscopique avec une certaine énergie  $E_l$  (différent de la probabilité d'occupation d'un des états microscopiques (1) à  $E_l$ )
- En théorie, le facteur de BOLTZMANN n'est utilisable que si  $N^2 \ll N_{thermostat}$  mais en pratique, comme seul l'énergie libre de la fonction de partition intervient (et que c'est son logarithme),  $N \ll N_{thermostat}$  suffit
- Le facteur de BOLTZMANN s'applique aux systèmes macro, et micro si couplage faible
- Problème : que signifie cette histoire de compétition entre U et S ie entre l'énergie moyenne et le nombre d'états accessibles? Lien avec II.1.b. ???

# XIX. LP19 : Rayonnement d'équilibre thermique - Corps noir - Application aux transferts thermiques radiatifs

Binôme : **Nicolas**

Date de passage : 15/11/10

Correcteur : Z

**Intro** XP lampe QI sur thermomètre =>  $T \nearrow$ . Ceci explique pourquoi on donne toujours la température "à l'ombre", jamais celle au Soleil (4 p.835)

## I. Equilibre radiatif

1. (Emission thermique et absorption) (5 p.839)

On verra plus loin que tout corps émet les radiations qu'il est capable d'absorber (2 p.374)

2. Flux hémisphériques surfaciques (2, 4)

a. Définitions

Parler des densités spectrales

b. Corps opaque et transparent

3. Bilan et équilibre radiatif (4)

a. Flux radiatif

b. Bilan radiatif

c. Equilibre radiatif

## II. Rayonnement d'équilibre thermique

1. Définition (2 p.371)

a. Rayonnement d'équilibre thermique

b. Densité volumique d'énergie spectrale

c. Densité spectrale de flux surfacique

2. Loi de PLANCK

Indépendance vis-à-vis de la nature du matériaux

a. Densité volumique d'énergie spectrale (2)

b. Densité spectrale de flux surfacique (= exitance

spectrale) (3 pour démo puis 2)

Démontrer le facteur  $\frac{c}{4}$  avec la densité volumique d'énergie spectrale

c. Limite basses fréquences : approximation de RAYLEIGH-JEANS

3. Composition spectrale du rayonnement (4)

Noter la continuité du spectre

a. Propriétés

b. Loi de déplacement de WIEN

4. Loi de STEFAN-BOLTZMANN (4)

5. Lien entre absorption et émission (2 p.374)

Viabilité de l'ETL

## III. Corps noir

1. Modélisation

absorption=1 => le CN produit le rayonnement d'équilibre

2. Flux surfacique émis par un CN isotherme (4 p.827, 2 p.374)

A l'ET, tous sont =. Si ETL, seul l'émis est encore OK

3. Transferts thermiques radiatifs (2)

a. Bilan radiatif à la surface d'un CN

b. Linéarisation du flux radiatif

## IV. Applications

1. Thermocouple (5)

2. CMB (1)

On remonte à l'âge de l'Univers

**Bibliographie :**

1. DGLR Physique statistique
2. FR
3. Perez
4. Tec et Doc MP
5. Tout en 1 MP

**Remarques :**

- Point clé : démontrer que le flux surfacique émis par un corps noir en équilibre thermodynamique à la température  $T$  est le même que le flux surfacique du rayonnement d'équilibre à la même température
- Equilibre thermodynamique en tout point  $\Rightarrow$  équilibre radiatif
- Le calcul de l'âge de l'Univers donne une valeur 10 fois trop grande car la constante de HUBBE est prise constante alors

qu'elle a évolué dans l'évolution de l'Univers. La phase d'inflation initiale explique l'âge surestimé (facile à comprendre graphiquement)

- Equilibre thermodynamique  $\Rightarrow$  équilibre radiatif. On utilise sa contraposée lorsqu'on introduit le rayonnement d'équilibre thermique en avançant l'argument que l'équilibre radiatif est nécessairement atteint dans l'enceinte sans quoi l'on s'expose à une augmentation infinie de la température
- L'indépendance du flux du rayonnement d'équilibre vis-à-vis de la nature du matériaux de la cavité est contenue dans la loi de PLANCK. L'explicitier absolument !
- Le II. ne porte que sur le flux incident (et donc, pour le flux partant à l'équilibre radiatif). C'est l'hypothèse du CN qui nous permet d'exporter les résultats pour travailler, cette fois, sur les flux émis et absorbés



## XX. LP20 : Phénomènes de transport - Illustration(s)

Binôme : **Julien Petit Ours**

Date de passage : 19/11/10

Correcteur : VILLAIN

**Intro** Pour les transferts thermiques : convection, rayonnement, dérive, diffusion. On se restreint à la 4<sup>ème</sup> catégorie

### I. Les phénomènes de transport diffusifs (5)

#### 1. Modélisation

##### a. Equilibre thermodynamique local

Evoquer l'expression du libre parcours moyen dans un gaz

##### b. Approximation linéaire

##### c. Non-localité de l'espace et du temps

##### d. Isotropie

#### 2. Loi phénoménologique

#### 3. Equation locale de conservation

#### 4. Différences (6)

Différences : cf sujet. Loi d'OHM combinée à l'équation locale de conservation de la charge ne donne pas une équation de diffusion.

Diffusion de matière  $\ll$  convection. Etc

#### 4. Aspects microscopiques : diffusion de particules (4 p.79)

### II. Diffusion thermique (5)

#### 1. Loi de FOURIER

#### 2. Equation locale de conservation de l'énergie

Expliquer que l'ETL permet de passer de "u(S,V)" à "u( $\vec{r}$ ,t)"

#### 3. Bilan d'énergie : équation de la chaleur

### III. Résolution de l'équation de la chaleur (+FR)

1. Application simple : température dans une barre sans perte en régime stationnaire (DGLR p.494 à adapter)

Evoquer la résistance thermique. Faire l'expérience

2. Choc thermique dans une barre de température initiale homogène (1 p.500)

#### a. Modélisation

#### b. Résolution

#### c. Analogie : diffusion du glycérol dans l'eau

3. Régime sinusoïdal dans un milieu semi-infini : effet de cave (2 exos p.362, calculs détaillés dans 3 p.390)

#### a. Modélisation

#### a. Résolution

#### a. Interprétation

**Conclusion** Lien avec l'irréversibilité explicitée par l'étude statistique à l'échelle microscopique. Les points communs permettront d'envisager le couplage entre phénomènes de transport dans le cadre de la théorie d'ONSAGER

### **Bibliographie :**

1. DGLR, Thermodynamique

2. DGLR, Exos

3. Olivier, PC

4. Perez

5. Précis PC

6. BUP 857 (pour le corrigé du sujet 2002 et les différences entre phénomènes)

### **Remarques :**

– Le DGLR de Thermodynamique apporte des éléments de résolution de l'équation de la chaleur aux compléments 9.A et 9.D

– Même mode de résolution de l'équation de la chaleur en régime sinusoïdal établi que pour l'équation des télégraphistes avec la ligne bifilaire ! cf Perez Thermo p.202

- Méthode générale de résolution de l'équation de la chaleur :  $T(x, t) = T_p(x, t) + \theta(x, t)$  avec  $T_p$  qui satisfait aux CL sans se préoccuper des CI et  $\vartheta$ , solution du régime sinusoïdal (d'où les complexes) qui satisfait à la CI :  $\theta(x, 0) = T_i(x) - T_p(x, 0)$ . Evoquer cette méthode de résolution générale au III. 2. sans s'y attarder
- Rester générique dans le I. et ne pas rentrer dans le détail. Souligner les différences et les similitudes plutôt
- Il faut traiter les aspects microscopiques! Mouvement brownien pour la diffusion de particules (DGLR Physique statistique

p.79), libre parcours pour les fluides et phonons pour les solides (Olivier p.384). cf Perez p.

- Supposer connus la viscosité et la diffusion de matière et introduire la diffusion thermique par analogies
- Problème : on traite la conduction électrique comme la diffusion de particules. Pourtant, la conduction électrique fait intervenir un CHAMP extérieur (comme pour la sédimentation), pas la diffusion de particules ou thermique. Est-ce pour cela que l'on ne peut parler de "diffusion" électrique ?

# XXI. LP21 : Conversion de puissance électromécanique - Exemples et applications

Binôme : **Luciani**

Date de passage : 05/10/10

Correcteur : PARISI

**Intro** XP : cage d'écureuil. Met en évidence l'existence d'un couplage entre mécanique et électricité via la force de LAPLACE et l'induction. Rappels (force de LAPLACE  $\neq$  de LORENTZ, fem d'induction (6 p.451)), et définition (convertisseur électromécanique)

## I. Bilan de puissance

1. Bilan pour un porteur de charge (6 p.452, 1 (ou 2?) p.365)

a. Bilan

Fil rouge du cours

b. Schéma électrique équivalent

Exemple : le HP (1 p.371)

2. Régimes de fonctionnement (6 p.453, 1 p.366)

a. Fonctionnement moteur

b. Fonctionnement générateur

3. Haut-parleur électrodynamique (3 p.534)

Transducteur

a. Description

On néglige les effets capacitifs de la chaîne d'amplification en amont devant celle induite par la masse de l'ensemble mobile,  $\frac{m}{(lB)^2}$  (5 p.461)

b. Etude mécanique

c. Etude électrique

d. Régime sinusoïdal forcé - Impédances (1 p.368)

Impédance motionnelle, cercle de KENNELY

e. Bilan énergétique et rendement

Transition : voyons plus en détail un système analogue (NEUMANN et permanent)

## II. Machine à courant continu (6)

1. Description

a. Principe

b. Bilan de puissance

2. Modélisation

a. Hypothèses

1 enroulement, réaction magnétique d'induit (et NL) négligée

b. Mise en équations

Schéma équivalent  $\Rightarrow$  équation électrique. TMC  $\Rightarrow$  équation mécanique

3. Principaux fonctionnements

a. Moteur à vide

Détermination de la constante de proportionnalité  $\phi$

b. Essai de lâcher

Permet de quantifier la somme des pertes ferromagnétique dans le rotor (hystérésis et courant de FOUCAULT), par effet JOULE et mécanique (frottements aux contacts balais-collecteur)

c. Moteur entraînant une charge mécanique

Plan couple-vitesse

d. Fonctionnement en génératrice : capteur tachymétrique

4. Collecteur

Transition : pourquoi ne pas profiter du caractère triphasé alternatif de la distribution électrique ?

## III. Machine asynchrone polyphasée (4 p.321, 2 p.262)

Intéraction entre  $\vec{B}$  tournant et un circuit fermé sans source

1. Production de champs magnétiques tournants (6 p.463)

2. Principe : action d'un champ tournant sur un circuit inductif

Loi de LENZ

XP : mesure de la vitesse de rotation de la cage d'écureuil, inférieure à 50Hz

3. Détermination du couple électromagnétique

a. Courant dans la spire

b. Etude du couple

4. Propriétés

a. Couple de démarrage non nul

b. Couple de décrochage

c. Glissement et rendement

**Conclusion** Autopilotage des moteurs alternatifs => systèmes bouclés (LP24)

**Bibliographie :**

1. FR
2. Garing Magnétisme
3. Gié
4. HPrépa Electronique PSI
5. Mauras
6. Tec PSI

**Remarques :**

- Le haut-parleur et la MCC sont des exemples d'induction de NEUMANN en régime permanent : ils sont équivalents. Présenter le 1<sup>er</sup> en vitesse et le 2<sup>ème</sup> plus à fond. Machines alternatives, elles, ne fonctionnent pas en régime permanent, d'où l'intérêt de les présenter
- Adopter plutôt le point de vue du Tec que du FR pour le bilan de puissance initial
- Bien insister sur l'indépendance du bilan de puissance par rapport à la géométrie du dispositif
- Toutes les grandeurs introduites doivent être algébriques ou vectorielles, ce qui nécessite de préciser les orientations et les bases de projection
- Attention! La cage d'écureuil, c'est une machine asynchrone! Délicat à expliquer...
- C'est l'existence d'un couple de frottements qui explique que le moteur asynchrone l'est effectivement (ie glissement non nul)
- Dans un moteur asynchrone, on fait diminuer la résistance au fur et à mesure de la charge pour avoir un fort couple de démarrage au début puis un glissement faible (ie un rendement élevé)
- Leçon de PSI

## XXII. LP22 : Induction électromagnétique - Applications

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### Intro

#### I. Phénomène d'induction électromagnétique

Surtout sur transparents

##### 1. Cadre de l'étude (1 p.305, 6 p.571)

###### a. Approximation des régimes quasi-stationnaires

(ARQS)

Régime permanent, potentiels retardés

###### b. Critère de validité de l'ARQS

###### c. Conséquences (5 p.424, 6 p.572)

Validité de la loi d'OHM, de la loi des noeuds... Courants de déplacement nuls. Equations locales

##### 2. Force électromotrice (3 p.261, 1 p.306)

###### a. Circuits filiformes

###### b. Fem

"Seul un champ à circulation non conservative est susceptible d'entretenir un courant permanent" sans quoi, sous l'action des pertes par effet JOULE par exemple, les charges ralentissent

##### 3. Mise en évidence expérimentale (4 p.168, 1 p.324)

###### a. Induction de VON NEUMANN : champ magnétique

variable

XP : Circuit ou aimant, source du champ, mobile par rapport au circuit où naît le courant induit

XP : Circuit, source d'un champ variable dans le temps, fixe par rapport au circuit où naît le courant induit

###### b. Induction de LORENTZ : circuit en mouvement

XP : Circuit ou partie du circuit, soumis au champ, mobile par rapport au circuit ou à l'aimant qui crée ce champ

##### 4. Lois de l'induction

###### a. Loi de modération de LENZ

Il semblerait que l'XP2 donne deux signaux en opposition de phase. A vérifier

###### b. Loi phénoménologique de FARADAY

XP : plus on introduit l'aimant rapidement dans la bobine, plus la fem mesurée est grande

Pour un circuit filiforme fermé. Ne dépend pas de la cause de variation du flux (=> d droit)

#### II. Champ électromoteur d'induction $\vec{E}_m$

##### 1. Transformation galiléenne des champs (1 p.329)

Egalité des  $F_{lorentz}$  pour tout  $(\vec{E}, \vec{B})$

##### 2. Relation entre $\vec{E}_m$ et fem (1 p.331)

###### a. Définition de $\vec{E}_m$

Le champ électromoteur est celui dont la circulation sur le circuit est non nul et donne la fem

###### b. Lien avec la fem

c. Induction de VON NEUMANN et LORENTZ : 2 facettes d'un même phénomène

##### 3. Loi d'OHM généralisée (5 p.428)

Passer vite

###### a. Enoncé

###### b. Loi de POUILLET

###### c. Convention d'orientation (REFERENCE?)

#### III. Applications

##### 1. Induction dans les circuits (4 p.199, 2 p.182)

###### a. Inductance propre

###### b. Inductance mutuelle

Formule de VON NEUMANN

c. Couplage de circuits par inductance mutuelle (2 p.188)

2. HP électrodynamique (cf LP précédente)

3. Courants de FOUCAULT : chauffage par induction d'un solénoïde (2 p.170, 4 p. 220)

#### **Bibliographie :**

1. FR
2. Garing Magnétisme
3. Gié Electromagnétisme MP
4. HPrépa Eléctromag'
5. Mauras Electromag'
6. Tec PC

#### **Remarques :**

- Les équations de MAXWELL s'écrivent dans le référentiel des sources
- La loi d'OHM s'écrit dans le référentiel du conducteur
- Les inductions de VON NEUMANN et de LORENTZ ne sont découplés que parce que  $\vec{A}$  et  $V$  les ont que parce que l'on travaille dans l'ARQS
- Leçon exceptionnellement longue
- Freinage MHD (Garing p.231), dynamo-disque homopolaire auto-entretenu (Garing p.244) et tâches solaires (Lorrain p.317) envisageables
- Problème : ce qui n'est valable que pour un circuit filiforme et ce qui est général m'échappe quelque peu...

## XXIII. LP23 : Résonance magnétique - Exemples et applications

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Traitement exclusivement quantique ici. Motivé par le théorème de VAN LEEUWEN (1911) (4 p.327)

### I. Spin 1/2 dans un champ magnétique statique : précession de LARMOR

#### 1. Spin de l'électron

a. Observable et espace des états de spin (2 p.391)

Mx de PAULI

b. Moment magnétique de spin (3 p.958)

#### 2. Equation du mouvement

a. Théorème d'ERHENFEST (2 p.449)

b. Equation de SCHRODINGER : explicitation des fonctions d'onde (Cohen p.402 puis p.246)

Méthode alternative

c. Mouvement de précession (2 p.443, p.442)

Transition : nécessité de vérifier ces postulats en mesurant précisément la pulsation de précession

### II. Superposition d'un champ magnétique tournant

#### 1. Réalisation

2 bobines à 90° en quadrature de phase

#### 2. Equations du mouvement (2 p.444)

a. Equations couplées

b. Référentiel tournant

c. Probabilité de transition : formule de RABI

d. Résonance magnétique

### 3. Réalisations expérimentales

a. Expérience de RABBI (1 p.260)

b. Cas de 2 niveaux instables (2 p.447)

### 4. SU(2) est doublement connexe (1 p.263)

### III. Applications

#### 1. Spectroscopie RMN (5, 6)

a. Principe

b. Déplacement chimique

c. Couplage spin-spin

#### 2. IRM (7 p.366)

### **Bibliographie :**

1. Basdevant
2. Cohen I.
3. Cohen II.
4. DGLR Physique statistique
5. HPrépa Chimie
6. Tec Chimie
7. Trémolet II

### **Remarques :**

- Fait suite à une leçon sur l'expérience de STERN-GERLACH
- On ne considère pas le moment magnétique orbital ici (valable pour un atome d'argent par exemple)
- Le Cohen s'accompagnera avantageusement d'une touche de Basdevant (p.259) pour en adoucir la saveur

## XXIV. LP24 : Systèmes bouclés - Applications

Binôme : **Claire-Marie**

Date de passage : 16/12/10

Correcteur : Z

**Intro** Exemple d'une étoile dont la capacité calorifique négative assure l'équilibre par rétroaction négative. Doc num' pour des exemples biologiques

### I. Systèmes bouclés linéaires, continus et invariants

1. Insuffisance de la boucle ouverte

XP : MCC dont on modifie la charge => modification de la vitesse

2. Description des systèmes bouclés (3 p.153, 2 p.419)

a. Eléments constitutifs

Capteurs, actionneurs, comparateurs

b. Schéma fonctionnel

3. Fonctions de transfert... (2 p.423, 3 p.155)

a. ... en BF : formule de BLACK

b. ... en BO

L'étude harmonique en BO permet d'avoir les performances temporelles en BF (POURQUOI??)

Cas d'une chaîne directe à grand gain (3 p.156, 4 p.82) : mystérieux... La chaîne d'action transfère la puissance  $\neq$  la chaîne de rétroaction contrôle ce transfert

4. Condition de stabilité et robustesse (2 p.441)

Marge de phase, marge de gain, critère du revers?

### II. Systèmes bouclés LCI stables : asservissement

1. Qualités d'un système asservi (2 p.422, p.439)

a. Précision

Erreur statique, erreur de traînage

b. Rapidité

c. Stabilité

2. Propriétés statiques (2 p.426, 4 p.83, 3 p.158)

a. Moindre sensibilité aux variations

b. Fonction régulation : immunité aux perturbations

3. Propriétés dynamiques (2 p.427)

a. Elargissement de la bande passante

Produit gain-bande constant

b. Diminution du temps de réponse

Pté duale de la précédente dans le domaine temporel

Exemple d'un 1<sup>er</sup> ordre (2 p.428)

4. Correcteurs (2 p.449)

a. 3 correcteur différents

Intégrale, proportionnelle et dérivée

b. Correcteur PI

XP : asservissement de la MCC

### III. Systèmes bouclés LCI instables : oscillateurs à boucle de réaction

1. Principe (3 p.165)

a. Structure

b. Démarrage des oscillations : régime libre

c. Conditions d'oscillations : régime établi

Sinusoidales ou pas

2. Oscillateur à pont de WIEN (3 p.167, 4 p.95) (cf "MP")

a. Description

b. Etude en BO avec source

Existence d'un gain limite

c. Etude en BF sans source

Démarrage, fréquence des oscillations, portrait de phase et POINCARÉ-BENDIXON

3. Des oscillateurs à boucle de réaction auto-entretenus : les céphéides

La valve d'EDDINGTON (ou mécanisme  $\kappa$ ) : l'He en surface des cé-



phéides s'ionise une 2<sup>ème</sup> fois sous l'effet de la chaleur. Or l'He(II) est plus opaque que l'He(I) donc la chaleur augmente encore, ainsi que la pression de radiation. La couche externe d'He(II) commence alors à s'étendre, se refroidissant ainsi et devenant moins opaque par retour à l'He(I). Sous l'action de l'attraction gravitationnelle, la couche d'He(I) se contracte de nouveau. Etc

**Conclusion** Lasers (1 p.8)

**Bibliographie :**

1. Farcy, Lasers et applications
2. François Génie électrique
3. HPrépa Electronique PSI
4. Tec PSI (~ Del)

**Remarques :**

- Leçon de PSI
- Problème : peut-on interpréter les céphéides comme des systèmes bouclés oscillants ?
- Parce qu'il n'existe pas de système physique dont la réponse croisse indéfiniment avec la fréquence, dans une équation différentielle linéaire liant excitation et réponse, la réponse est toujours dérivée à un ordre plus élevé que l'entrée
- Théorèmes aux limites en prérequis (2 p.424)
- L'emploi du formalisme des transformées de LAPLACE et des fonctions de transfert trouve sa légitimité dans la linéarité des systèmes
- Avec un retard, même un 1<sup>er</sup> ordre comme la MCC peut être instable

# XXV. LP25 : Traitement analogique d'un signal électrique - Etude spectrale - Exemples et applications

Binôme : **Robin**

Date de passage : 30/09/10

Correcteur : Z

**Intro** Définition du signal, de son traitement (non numérique) et de son élaboration (ex : modulation, qui est NL) et de son interprétation (ex : filtrage, qui est L) (1 p.1)

## I. Signaux et opérateurs

1. Etude temporelle d'un signal...

a. ... périodique

b. ... apériodique (3 p.47, 1 p.26)

TF => nécessité de travailler en spectral

XP : son observé en temporel à l'oscillo => c'est moche

2. Etude spectrale d'un signal...

a. ... périodique

b. ... apériodique (3 p.47, 1 p.26)

Fenêtrage temporel (1 p.66) => tous les signaux sont apériodiques. Différents types de signaux apériodiques (bruit (1 p.125), information...)

XP : visualisation à l'oscillo de la TF d'une créneau (impossible de respecter SHANNON) et d'un signal en dents de scie. En plus des  $c_n$ , il faut le spectre de phase. Commentaires sur la décroissance, l'échantillonnage à l'oscillo et le critère de SHANNON

3. Opérateurs et systèmes linéaires

a. Définitions (2 p.6)

Opérateur, système continu, linéaire, et stationnaire

b. Principe de superposition (2 p.9)

c. Domaines de linéarité

Circuit RLC : effet de peau, effets capacitifs...

4. Caractérisation de la linéarité (3 p.22)

a. Réponse à une entrée sinusoïdale

b. Distorsion harmonique

## II. Filtrages linéaires

1. Fonctions de transfert et diagrammes de BODE

Rappels. Théorème fondamentale des filtres :  $\times \equiv *$  (1 p.70)

2. Etude du filtre passe-bande d'ordre 2 (2 p.54, 3 p.11)

a. Fonction de transfert

b. Diagramme de BODE

c. Sélectivité du filtre

3. Action sur un signal périodique d'un filtre passe-bande...(2 p.56, p.63)

a. ... à bande large

b. ... à bande étroite

## III. Modulation d'amplitude

1. Intérêt (1 p.87)

2. Principe (2 p.194, 3 p.107)

a. Produit de 2 signaux sinusoïdaux

Multiplieur (NL)

b. Bande spectrale utile

c. Etude spectrale du signal modulé (1 p.89)

d. Réalisation

Porteuse et enveloppe

3. Démodulation par détection synchrone (2 p.200)

Porteuse supprimée

a. Principe

b. Boucle à verrouillage de phase

Fading, VCO

**Bibliographie :**

1. Cottet, Traitement des signaux et acquisition de données
2. HPrépa Electronique PSI
3. Tec PSI

**Remarques :**

- Leçon de PSI
- L'air est plus dispersif à HF
- Démodulation par détection d'enveloppe (Cottet p.97, HPrépa p.198) possible
- Démodulation cohérente est la seule à fonctionner si on travaille en à porteuse supprimée

# XXVI. LP26 : Exemples de phénomènes de propagation unidimensionnelle - Ondes progressives, ondes stationnaires - Aspects énergétiques

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Intro Dftion Onde (Tec PC p.621)

## I. Propagation d'un déplacement longitudinal le long d'une chaîne d'oscillateurs couplés (4, 3)

### 1. Modélisation

Linéarisation autour équilibre, couplage

### 2. Equation de propagation discrète

### 3. Approximation des milieux continus

### 4. Equation de D'ALEMBERT

### 5. Loi de HOOKE (1 p.167, 2 p.146)

#### a. Approche macroscopique

b. Application à une lame de céramique piézo-électrique

Réseaux acousto-optiques

## II. Résolution

1. Corde vibrante fixée aux 2 extrémités : déplacement transversal dans un système à une infinité de ddl (3)

Passer vite

#### a. Modélisation et hypothèses

Mouvement transverse (polarisation linéaire), petites oscillations ( $\frac{\partial \psi}{\partial x} \ll 1$ ), raideur nulle, phénomènes dissipatifs et poids négligés

#### b. Equations de couplage

#### c. Equation de D'ALEMBERT

Célérité de quoi? => résolvons

### 2. OPP

a. Solution générale de l'équation de D'ALEMBERT (3 p.34)

Linéarité

#### b. Interprétation physique (4 p.626)

Célérité  $\triangleq$  célérité de propagation d'une OPP

### 3. OPPH (3 p.36)

#### a. Notation complexe de l'onde plane harmonique

Linéarité => notation complexe et FOURIER (solutions stables)

#### b. Caractérisation

Double périodicité ( $\mu$  et  $\lambda$ ),  $v_\Phi$ . AN : pas du réseau acousto-optique

#### c. Relation de dispersion

Retour sur la chaîne d'oh (PZB), vérification de l'approximation des milieux continus et réinterprétation de l'approximation des milieux continus (3 p.17, p.21). Noter que le passage du discret au continu a fait sauter la dispersion (même si ce n'est pas vrai en général!)

4. Ondes stationnaires et modes propres : retour sur la corde vibrante (3 p.39)

#### a. Définition

#### b. Expression imposée par D'ALEMBERT

#### c. Lien avec les OPP

## III. Aspects énergétiques (3 chap.3)

### 1. Câble coaxial

#### a. Modèle de la ligne électrique à constantes réparties

#### b. Equations de couplage et de D'ALEMBERT

### 2. Impédance d'une OPP

AN

### 3. Propagation d'énergie

- a. Puissance transférée
- b. Densité d'énergie
- c. Bilan énergétique local
- d. Analogies électromécaniques (1 p.168)

**Conclusion** Adaptation d'impédance. Equation de BURGERS (4 p.646), solitons (équation de SINE-GORDON (exo 1 p.175) (exo 3 p.86) et équation de KLEIN-GORDON (exo 3 p.25) correspondent à d'autres familles de propagations => plasmas (LP28)

**Bibliographie :**

1. FR
2. Garing Ondes mécaniques

3. HPrépa Ondes
4. Tec et Doc PC

**Remarques :**

- Leçon PC
- En prérequis : le vocabulaire ?
- L'équation de D'ALEMBERT est une équation de propagation, pas la seule (cf conclusion) !
- Cette corde vibrante n'est pas celle de MELDE (conditions aux limites différentes)
- Attention ! La célérité tirée de la loi de HOOKE est celle dans une tige ! Celle dans un solide dont les dimensions latérales ne sont pas négligeables est sensiblement différente (loi de POISSON)

# XXVII. LP27 : Ondes acoustiques dans les fluides

Binôme : **Ileyk**

Date de passage :

Correcteur : CREPIN

## I. Modélisation et mise en équations

1. Cadre de l'étude (2 p.94)

2 méca + 2 flu' + 3 acoustique + 2 isoS + 1 poids : MaFIP!

2. Linéarisation des équations (2 p.93 pour le nombre d'équations puis p.96)

a. Conservation de la masse

b. Equation d'EULER

c. Coefficient de compressibilité isentropique

3. Equation de propagation (3 p.651)

a. Vitesse et pression 3D

b. Célérité dans différents milieux (5 p.252 pour le gaz réel puis 1 p.213 pour gaz de VAN DER WAALS puis 2 p.100)

## II. Ondes acoustiques PP

1. Les solutions à l'équation d'onde

a. Structure (2 p.101 puis 3 p.654)

b. Impédance acoustique (3 p.654)

2. (OPPH : relation de dispersion)

2. Aspects énergétiques (3 p.655, 2 p.103)

a. Vecteur densité surfacique de puissance sonore

b. Bilan énergétique

c. (Intensité et niveaux sonores)

3. Vérification des hypothèses du modèle pour une OPP dans l'air (sur transparents)

a. Approximation acoustique (3 p.663)

b. Ecoulement parfait (3 p.657)

c. Pesanteur et forces de pression

## III. Réflexion / transmission sous incidence normale (3

p.659, 2 p.109)

1. Conditions aux limites

2. Coefficient de réflexion r / transmission t (sur transparents)

3. Couche sonore anti-reflet (3 exo p.673)

**Conclusion** Ouvrir sur l'amortissement du à la viscosité, aux transferts thermiques internes, à la décroissance en  $1/r^2$  pour une onde sphérique et surtout, à la présence de particules de grandes inerties (poussières, goutellettes d'eau...) dans l'atmosphère (cf 1 p.214)

## **Bibliographie :**

1. Faroux Renault

2. HPrépa, Ondes

3. Tec& Doc PC

4. Tout-en-un PC

5. DGLR de thermo

## **Remarques :**

– Module de YOUNG E donne la célérité du son dans un solide :

$$c_{son} = \sqrt{\frac{E}{\rho_0}} \text{ (cf 3 p.623)}$$

– Evoquer les ondes stationnaires sans pour autant les traiter. Extrémité ouverte ( $Z=0$ ) => noeud de pression (donc ventre de vitesse). Si extrémité fermée ( $Z=\infty$ ), alors  $r=+1$  pour la pression et  $-1$  pour la vitesse.

– Attention, dans le bilan énergétique, il existe un terme d'ordre 1 (nul en moyenne) d'énergie potentielle (cf 4 p.586 pour la démonstration complète)

– Célérité du son dans un gaz réel se déduit de l'équation d'état et des capacités calorifiques! cf DGLR pour la méthode systématique so sexy et la relation de REECH en particulier

# XXVIII. LP28 : Propagation dans un milieu dispersif : vitesse de phase, vitesse de groupe - Paquets d'ondes planes et évolution - Exemples

Binôme : **Vivien**

Date de passage : 08/12/10

Correcteur : Z

Intro Expérience cable coaxial (3)

## I. Propagation d'une onde plane dans un milieu dispersif : le plasma froid peu dense

1. Modélisation (1 p.186, 2 p.825)

2. Equation de propagation (1 p.188) et relation de dispersion (1 p.189) d'une OPPH

3 p.685 pour approches lagrangienne et eulérienne qui établissent l'équation du mouvement

3. Pulsation plasma et interprétation (DOC 1 p.189)

Atténuation sur  $\delta$  et ondes évanescentes (ie stationnaires et amorties) si  $\omega < \omega_p$

4. Structure et vitesse de phase (DOC 1 p.189)

Toujours trièdre (et  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  toujours en phase, mais pas  $\vec{E}$  et  $\vec{j}$ ) mais il existe vitesse de phase  $\neq c$

## II. Propagation d'un paquet d'ondes planes (dans un milieu sans absorption)

1. Paquet d'ondes

a. Propagation de 2 OPPH de fréquences voisines (1 p.191)

b. Définition et formalisme (4 p.133, 3 p.678 pour le lien avec  $u(0,t)$ )

Superposition d'une infinité d'OPPH polarisées rectilignement se propageant dans la même direction et de pulsations comprises dans un petit domaine spectral

c. Passage à la limite continue pour des OPPH dans un milieu faiblement dispersif, exemple du paquet d'ondes rectangulaire (4 p.133, 1 p.195, DOC 1 p.193)

Introduire  $v_g$  sans la définir

2. Vitesse de groupe (1 p.195)

a. Définition

Montrer que le maximum de l'enveloppe évolue à  $v_g$

b. Exemples

Dans le plasma (3 p.689) et dans un milieu transparent dispersif d'indice de réfraction  $n(\omega)$  (4 p.137)

3. Evolution du paquet d'ondes

a. Extension spatiale et temporelle (4 p.135 et DOC 1 p.193)

b. Déformation du paquet d'ondes (3 p.681)

Produit d'une enveloppe par une porteuse, pas de déformation de l'enveloppe ssi largeur spectrale du paquet et dispersion du milieu (ie vitesse de variation de  $k(\omega)$  suffisamment faibles). Formule de la largeur temporelle à mi-hauteur d'un paquet d'ondes pour un milieu fortement dispersif 2 p.801

## III. Exemples

1. Câble coaxial (3)

2. Mesure de la distance d'un pulsar par dispersion (1 p.204, 5 p.140)

Conclusion Multiplieur pour moduler en fréquence un signal que l'on peut alors recomprimer (cf 2 exo p.813) (sur transparents pour questions)

### Bibliographie :

1. HPrépa Ondes
2. Tec& Doc PSI
3. Tout-en-un PSI
4. Mauras, Electromagnétisme
5. Garing, Ondes électromagnétiques dans le vide et dans les milieux conducteurs

### Remarques :

- cf 5 p.139 pour une interprétation de  $\omega_{plasma}$  en termes de pulsation d'un champ électrique longitudinal induit par un petit déplacement longitudinal des électrons ( $\sim$  plasmons dans les conducteurs, cf LP31)
- Dans un plasma, les charges rayonnent l'énergie de façon collective et reconstruisent ainsi l'onde incidente de proche en proche par interférences constructives
- PSI (plasmas pas au programme de PC)
- Absorption  $\in$  atténuation. Il y a atténuation du fait du terme en  $e^{-Im(k)x}$ , qui est là même s'il n'existe pas de terme dissipatif d'énergie dans l'équation d'onde! Exemple canonique : le pavillon acoustique exponentiel (1 exo p.205) où, si  $\omega > \omega_0$ , il n'y a

pas de propagation (onde évanescente) et sinon, il y a propagation avec atténuation des amplitudes mais transfert de puissance sans absorption. Absorption ssi dissipation d'énergie

- Absorption  $\Rightarrow v_g \neq v$  de l'énergie
- Paquet d'onde gaussien car loi des grands nombres
- Petits cailloux dans lacs (dispersion anormale, tension de surface)  $\neq$  gros pavés (dispersion normale, houle)
- Attention, dans 3, le lien de TF entre le spectre et la grandeur ondulatoire en  $z=0$  est une conséquence directe mais pas vraiment la définition...
- Même si l'onde plane du I. n'est pas transverse, l'équation de conservation de la charge couplée à M-G aurait donné  $\alpha \dot{\rho} = 0$  donc  $\rho=0$  de toute façon (sauf si  $\omega = \omega_p$ , où un régime sinusoïdal non amorti est possible) (tenir compte de la pseudo-loi d'OHM dans le plasma). Ainsi, une OEM plane est nécessairement transverse dans un plasma! cf 3 p.687, 5 p.119)
- cf BUP 649 de Décembre 82 par LAHAYE pour le calcul exact de la formule de la largeur temporelle à mi-hauteur d'un paquet d'ondes pour un milieu fortement dispersif



# XXIX. LP29 : Propagation guidée - Exemples et applications

Binôme : **Nicolas**

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Ligne bifilaire et câble coaxial

### 1. Modélisation et mise en équation (3 p.590)

#### a. Hypothèses et modélisation

ARQS ( $\lambda \gg r$ )  $\Rightarrow$  modèle à constantes réparties. Pertes

#### b. Equation des télégraphistes (sans source) (2 p.185)

2. Solutions en régime sinusoïdale (OPPH\*) (6 p.672 avec conventions du 3 p.591)

#### a. Résolution

Transformation d'une équation aux dérivées partielles linéaires en équation différentielle linéaire, juste en posant ...

#### b. Relation de dispersion

Cas général et cas des pertes faibles (6 p.675) (évoquer la condition d'HEAVISIDE)

#### c. Expérience et interprétation

Passer vite. Sert surtout à enchaîner en mettant en évidence les 2 challenges technologiques : limiter l'absorption et la dispersion

### 3. Applications

#### a. Ligne téléphonique (6 p.676)

#### b. Modélisation d'une fibre nerveuse (2 p.59)

Transition : le débit augmente avec la fréquence. On passe donc aux diodes à effet GUNN (semi-conducteur), magnétron (cavité résonnante, système auto-oscillante, dans four à micro-ondes), klystron (pareil mais amplification cohérente donc contrôle plus aisé)

## II. Guide d'ondes centimétriques

### 1. Modélisation (cas du guide rectangulaire) (5 p.484)

Hypothèses : parfaitement conducteur donc pas de dépendance en  $z$  hors de l'exponentielle complexe pour  $\vec{E}$ , vide, mode TE, onde polarisée selon (Oy), expression de  $\vec{E}$  complexe, jamais plane car CL et 2 paires de plans

2. Expression et structure du champ électromagnétique (5 p.485)

MG, D'ALEMBERT et CL. Puis MF pour  $\vec{B}$  ( $\Rightarrow$  onde TE non TM)

### 3. Relation de dispersion...

#### a. ... du mode $TE_{n,0}$ ci-dessus

#### b. ... dans le cas général : mode $TE_{n,m}$

Fréquences de coupure

### 4. Vitesse de groupe du mode $TE_{n,0}$

a. Expression et nécessité de guides monomodes (DOC 2 p.228, 5 p.487, DOC NUM pour réception satellitaire d'une antenne?)

#### b. Etude énergétique (2 p.231)

$v_g = v$  de l'énergie : remarquable car onde non plane! Généralisable à tous les modes

Transition : pour augmenter encore la fréquence, on passe au LASER à  $10^{14}$ Hz et aux fibres optiques pour les guider

## III. Fibre optique (Perez)

### **Bibliographie :**

1. Faroux et Renault
2. HPrépa, Ondes
3. Perez, Electromagnétisme
4. Perez, Optique
5. Tec& Doc MP
6. Tout-en-un, PC (pour le I.)

### Remarques :

- Les 4 parties possibles sont : fibre optique, guide d'ondes métallique, câble coaxial, cornet acoustique
- Les 3 premiers ont chacun leur domaine fréquentiel :  $\lambda \gg r$  pour le coax',  $\lambda \lesssim r$  pour le guide d'ondes métallique et  $\lambda \ll r$  pour la fibre optique ; peut aussi s'écrire " $f \ll \frac{c}{r}$  pour le coax',  $f \gtrsim r$  pour le guide d'ondes métallique et  $f \gg c/r$  pour la fibre optique" ; avec  $r=1\text{cm}$  et  $\frac{c}{r}=1\text{GHz}$
- Dès lors que le guide est composé d'un seul conducteur (rectangulaire, cylindrique... toute forme simplement connexe), il ne peut y avoir de mode TEM (cf 1 p.221) et il existe forcément une pulsation de coupure liée aux conditions aux limites imposées par le guide. Le mode TEM ne peut exister qu'avec 2 conducteurs (coax', bifilaire...) et alors, il n'y a pas de pulsation de coupure (seul l'atténuation limite la fréquence employée).
- L'atténuation dans les coax' par exemple est due au fait que :
  1. l'épaisseur de peau diminue quand la fréquence augmente et donc, la résistance (car  $R \propto \frac{1}{S}$  et  $S = \pi(r^2 - (r - \delta)^2) \sim 2\pi\delta R$  or  $\delta \propto \frac{1}{\sqrt{f}}$  donc  $R \propto \sqrt{f}$ ) et les pertes par effet JOULE augmentent (caractère non parfait du conducteur,  $\sigma \neq \infty$ )
  2. les pertes dans un diélectrique non parfait ( $\rho \neq \infty$ )

augmentent avec la fréquence

- Pas de dispersion dans un câble coaxial ssi pertes négligeables (3 p.589) OU la condition de HEAVISIDE est vérifiée à savoir :  $\frac{G}{C} = \frac{R}{L}$ . En pratique, on a  $\frac{G}{C} \ll \frac{R}{L}$  d'où la nécessité d'enrouler autour du coeur un fil d'un matériau de haute perméabilité magnétique relative pour augmenter L (augmenter G augmenterait les pertes dans le diélectrique ; diminuer R nécessiterait une bien plus grande surface efficace et donc, un coût et un encombrement plus élevés ; diminuer C nécessiterait une épaisseur  $e$  de diélectrique plus importante et donc, là encore, une quantité de cuivre plus importante)
- Quelques ordres-de-grandeur du nerf : une conductivité linéique  $g$  de  $1 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ , une capacité linéique de  $1 \text{nF}\cdot\text{m}^{-1}$  et une résistance totale ( $\sim$  à celle de la gaine de myéline) d'environ  $1 \text{G}\Omega\cdot\text{m}^{-1}$  (grand car surface faible). On a alors la valeur de la vitesse du potentiel d'action (ou influx nerveux), d'une durée caractéristique d'1ms, par analyse d'homogénéité (les 2 analyses possibles donnent le même résultat)
- Intérêt principal des coax' et autres lignes bifilaires : travailler à basse fréquence et limiter ainsi les pertes par rayonnement
- Onde non plane  $\Rightarrow v_g \neq v$  de l'énergie a priori

# XXX. LP30 : Dispersion et absorption d'une onde électromagnétique plane dans un milieu diélectrique - Modélisation microscopique

Binôme : **Cécile R.**

Date de passage : 10/12/10

Correcteur : Z

## I. Propagation d'une OEM plane dans un milieu diélectrique

1. DLHI (1 p.266, 4 p.741, 3 p.397)
  - a. Rappel sur les diélectriques parfaits
  - b. LHI

Calcul d'odg pour le champ atomique, limite supérieure, et le champ d'un LASER 1mW

2. Equation de MAXWELL avec des OPPH\*(4 p.742, 1 p.281)
3. Propagation
  - a. Equation de propagation
  - b. Structure de l'onde
  - c. Relation de dispersion

## II. Modélisation microscopique

1. Modèle de l'électron élastiquement lié dans un milieu diélectrique peu dense (5 p.710, 1 p.270, 4 p.745, 2 p.759)
    - a. Hypothèses et modélisation
    - b. La relation constitutive explicitée (DOC 5 p.713)
- Susceptibilité diélectrique en fonction de la pulsation
- c. Puissance dissipée : la faute à Im (2 p.261)
  2. Indice complexe et cas limite (5 p.712, DOC 4 p.747)
  3. Différentes polarisations (3 p.448, 2 p.263, DOC 5 p.715)

## III. Applications ...

1. ... de l'absorption : formule de BEER-LAMBERT (4 p.747)
  - a. Vecteur de POYNTING

b. Loi de BEER-LAMBERT

2. ... de la dispersion : formule de CAUCHY (2 p.267, 1 p.287, 5 p.722)
3. Le micro-ondes (4 p.768)

## Bibliographie :

1. Faroux et Renault
2. HPrépa Ondes
3. Perez
4. Tec& Doc PC
5. Tout-en-un PC

## Remarques :

- Dispersion anormale hors cadre de l'étude car  $\lambda = \lambda_0/n'$  devient trop petit, quand  $n'$  augmente, pour que l'hypothèse de milieu continu soit encore valable
- Dans la relation constitutive,  $\vec{E} = \vec{E}_{\text{appliqué}} + \vec{E}_{\text{polarisation}}$  d'où la formule de CAUCHY en milieu dense (1 p.287)
- Milieux diélectriques, polarisation & Cie en prérequis + dispersion et absorption
- Signification physique de  $\chi$  : le milieu ne réagit pas instantanément et la vitesse de réaction dépend de  $\omega$  d'où la dispersion  $\Rightarrow \chi$  diminue quand fréquence augmente (dispersion normale)
- Gel des processus quand fréquence de plus en plus grande  $\sim$  capa calorifiques
- La largeur de  $\chi$  donne  $\tau \sim 10^{-12}$ s, durée de vie de l'état excité si celui du dessous est le fondamental
- Il peut arriver que  $v_g > c$  (cf HPrépa Ondes) mais ce n'est plus le  $v_g$  usuel

- Poser la convention  $k=k_1+i*k_2$  avec  $k_1$  et  $k_2$  positifs et  $+i(kz-wt)$
- $v_\phi$  donne  $n$
- Force de rappel ssi approximation harmonique

- $p=-er$  ssi 1 seul électron de valence
- $\chi$  dépend aussi de la température, de la densité électronique donc particulière...

# XXXI. LP31 : Effet de peau - Comportement d'une onde électromagnétique à la surface d'un conducteur

Binôme : **Damien**

Date de passage : 16/12/10

Correcteur : Z

## I. Comportement général d'une OEM dans un conducteur

### 1. Modélisation

#### a. Modèle de DRÛDE-LORENTZ (1)

Attention! Milieux continus!

#### b. Electrons non relativistes (3 p.187)

Terme magnétique négligeable

#### c. Milieux LHI

On bosse en sinusoïdal

#### d. Vitesse de dérive (2 p.120, 3 p.187)

Approche mésoscopique pour chaque électron. Invoquer la mécanique fluïde

### 2. Mise en équations (2 p.111, 4 p.146, 3 exo p.203)

#### a. Neutralité du conducteur

#### b. Loi d'OHM en régime variable (1)

Via PFD

#### c. Susceptibilité électrique complexe (5 p.538)

#### d. Equation de la conduction électrique en $\vec{E}$

Via la conservation locale de la charge et la loi d'OHM

### 3. Relation de dispersion (4 p.151)

#### a. Expression générale du vecteur d'onde

#### b. Parties réelles et imaginaires

=> 2 régimes

#### c. Comparaison entre pulsation plasma et temps de relaxation (1 p.11)

relaxation (1 p.11)

### 4. Formules de FRESNEL : réflexion et transmission en am-

plitude sous incidence normale (Perez, HPrépa)

## II. Approximation du bon conducteur à BF

Aux BF, réflexion et transmission (2 p.121)

Mettre en évidence les courants surfaciques

### 1. Effet de peau (6, 4, 3)

#### a. Origine physique (6 p.582)

Induction électromagnétique

#### b. Courants de déplacement et de conduction

BF ssi  $\omega \ll \tau\omega_p^2$

#### c. Equation pilote de $\vec{E}$

Equation de diffusion

#### d. Relation de dispersion simplifiée

sur  $\delta$

### 2. Réflexion et transmission (5 p.569)

#### a. Onde transmise

Formule de HAGEN-RUBENS et pouvoir absorbant

#### b. Vitesse de phase

#### c. Puissance dissipée par effet JOULE (4 p.152)

Chauffage par induction ou détérioration des composants électroniques

### 3. Cas limite du conducteur parfait

Courants surfaciques (2 p.127)

#### a. Résultats usuels (6 p.586)

Pas d'onde transmise,  $E_{ext}^{\vec{}}$  stationnaire,  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  resp. nuls et stationnaires dedans

#### b. Courants surfaciques (5 p.571)

XP : la grille du micro-ondes (5 p.572)

## III. Comportement plasma à HF (3, 5 pour R et T)

## 1. Relation de dispersion (2)

### a. Conductivité imaginaire

Phénomènes dissipatifs négligeables ( $\vec{j}$  et  $\vec{E}$  en quadrature), comportement commun des métaux

### b. Relation de KLEIN-GORDON

Fréquence de coupure

## 2. Régime de réflexion totale

### a. Réflexion totale

Onde évanescente dedans

### b. Ionosphère et MARCONI

3. Régime de transparence des métaux : comportement plasma

### a. Propagation sans atténuation

### b. Vitesses de groupe et de phase

### a. Structure du champ électromagnétique

**Conclusion** La nappe de courant à la surface d'un conducteur parfait est à l'origine du rayonnement réfléchi et de la formation d'une onde stationnaire entre 2 plans infiniment conducteurs (=> cavités LASER) => les dipôles électriques rayonnent! => LP suivante

## **Bibliographie :**

1. Ashcroft

2. Garing

3. HPrépa Ondes

4. Mauras

5. Perez

6. Tec PC

## **Remarques :**

- Une onde évanescente est une onde stationnaire amortie
- Il peut y avoir atténuation (ie amplitude décroissante lors de la propagation) sans absorption (ie pas de phénomène dissipatif) (ex : pavillon acoustique)
- L'onde qui s'atténue sur  $\delta$  cède son énergie au milieu qui le dissipe par effet JOULE : il y a aussi absorption
- Plasmas en prérequis pour passer vite sur III. 3., analogue en tout point
- Exprimer profondeur de pénétration et vitesse de phase en fonction respectivement des parties imaginaires et réelles du vecteur d'onde (Mauras p.151)
- Hautes et basses fréquences, malgré le II. 1. b., il semblerait que ce soit quand même par rapport à  $\frac{1}{\tau}$  uniquement...
- Attention! On utilise des plaques en métal pour arrêter les rayons X! En effet, l'hypothèse du milieu continu est mise en défaut pour les trop courtes longueurs d'onde

# XXXII. LP32 : Propriétés et applications du rayonnement dipolaire électrique

Binôme : **Carole**

Date de passage : 16/12/10

Correcteur : Z

**Intro** Quelles sont les sources des champs avec lesquels on travaille? Nappe surfacique de courant dans la LP précédente

## I. Expression et propriétés du rayonnement dipolaire électrique

1. Modèle du dipôle de HERTZ (1 p.154)
    - a. Dipôle élémentaire
    - b. Moment dipolaire électrique instantané
    - c. Approximations dipolaire et non relativiste (4 p.502)
  2. Potentiels retardés : expressions simplifiées (1 p.158, 3 p.374)
    - a. Expression de  $\vec{A}$  (1)
    - b. Expression de V (3)
- Via la jauge de LORENTZ
3. Champs électrique et magnétique (3 p.375)
    - a. Expression générale
    - b. Régime quasi-stationnaire (4 p.506)
- Notamment en champ proche
4. Champ de rayonnement
    - a. Approximation de la zone de rayonnement (1 p.162)
    - b. Expression des champs (4 p.507)
    - c. Propriétés (HPrépa p.164)
    - d. Puissance rayonnée en régime sinusoïdal (4, 1)
- $\vec{\Pi}$ , par unité d'angle solide, diagramme de rayonnement total
- e. Portée d'un émetteur radio

Transition : mais cette puissance rayonnée provoque aussi l'effondrement de la matière...

## II. Rayonnement dipolaire d'un électron atomique

1. Bremsstrahlung (4 p.510, 1 p.165, 3 p.380)
    - a. Puissance moyenne rayonnée : formule non relativiste de LARMOR
    - b. Cas d'une orbite circulaire
- Modèle planétaire de RUTHERFORD et effondrement de la matière
- c. Durée de vie de l'oscillateur (3 p.381)
  - d. Application : production de rayons X par bombardement d'une anode (Aslangul)
2. Diffusion d'un rayonnement par un électron atomique (3 p.382)
    - a. Principe et modélisation (1)
- Electron élastiquement lié
- b. Puissance diffusée
- Section efficace
- c. Diffusion RAYLEIGH
- Bleu du ciel
- d. Diffusion RAYLEIGH résonnante
  - e. Diffusion THOMSON
3. Polarisation rectiligne du rayonnement par diffusion RAYLEIGH (1 p.170, FR p.243)
- XP

## III. Rayonnement d'une antenne rectiligne

1. Champ  $\vec{E}$  rayonné
  2. Antenne demi-onde (3)
    - a. Expression de  $\vec{E}$
    - b. Puissance rayonnée
    - c. Réseaux d'antennes : antenne en échelle YAGI-UDA
- (2 p.487)

**Conclusion** Formule de LARMOR explique que tout corps à  $T \neq 0$  rayonne  $\Rightarrow$  LP19

**Bibliographie :**

1. HPrépa
2. Lorrain
3. Perez
4. Tec MP

**Remarques :**

- Leçon de MP
- Les potentiels retardés (solution parachutée des équations de MAXWELL en présence d'un 4-vecteur  $(\rho, \vec{j})$  variable) , les formules de LIÉNARD-WIECHERT et finalement, l'espace-temps se cachent derrière la résolution exacte de ce problème (FR)
- L'approximation non relativiste est plus forte que la dipolaire
- Electron élastiquement lié en prérequis
- Les polariseurs exploitent le dichroïsme de certains matériaux
- La diffusion de RAYLEIGH est fondamentalement élastique; à aucun moment il n'y a d'absorption



# XXXIII. LP33 : Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de FERMAT - Exemples

Binôme : Léa et Yann

Date de passage : L.18/10/10

Correcteur : Z

## I. Principe de FERMAT

### 1. Notion de rayons lumineux (1 p.1-5)

XP : isolement d'un rayon laser. Cas du rayon  $1\mu\text{m}$  Terre-Lune.

Approximation de l'optique géométrique en termes d'angles

### 2. Chemin optique (2 p.9-10)

a. Définition

b. Stationnarité

### 3. Principe de FERMAT : énoncé (3 p.98)

~ MAUPERTUIS avec l'impulsion au lieu du chemin optique.

### 4. Loi fondamentale de l'optique géométrique (LFOG) (2 p.169)

Equation eïkonale, équation du rayon lumineux (=LFOG) = principe de FERMAT.

## II. Lois élémentaires de l'optique géométrique

1. Propagation rectiligne en milieu homogène et retour inverse de la Lumière

a. Propagation rectiligne

b. Retour inverse

c. Stationnarité

XP : tableau magnétique en lumière blanche avec diaphragme. On vérifie rectiligne, stationnaire puis retour inverse.

### 2. Lois de SNELL-DESCARTES (2 p.12, p.171)

a. Expression vectorielle

Par LFOG et le principe (équivalent).

b. Lois de la réflexion

c. Lois de la réfraction

### 3. Théorème de MALUS-DUPIN

a. Surface d'onde

b. Énoncé

Evoquer le vecteur de POYNTING et le lien avec l'ondulatoire.

## III. Applications...

### 1. ... phénoménologiques

a. Aplatissement du Soleil sur l'horizon et rayon vert : théorème de BOUGUER (4 p.40)

b. Mirages : relation de GLASTONE et XP laser dans eau+sucre (4 p.36)

### 2. ... technologiques

a. Stigmatisme rigoureux d'un miroir de télescope

b. Fibre optique : à saut d'indice et à gradient d'indice (2 p.176)

## **Bibliographie :**

1. FR, Optique (bleu, vert, rose)

2. PEREZ, Optique

3. BFR, Optique et physique ondulatoire

4. DETTWILLER, Optique (exos)

5. TOFFANO Optoélectronique (Léa & Yann)

## **Remarques :**

– Atout de la F.O. / au coax : meilleur débit

– Différence entre "saut d'indice" et "grad" ? Dispersion annulée par FERMAT

– Approximation de l'optique géo : taille tâche diffraction « largeur du faisceau (ex : de la Terre à la Lune)

– Vitesse de phase dans la définition de  $n$

– Envisager le cas stationnaire mais non constant, Max ou min (selle de cheval) et l'indiquer sur le tableau magnétique

# XXXIV. LP34 : Application des lois de l'optique à l'étude d'un instrument d'optique au choix

Binôme : **Alexia** et Carole  
Date de passage : L.18/10/10  
Correcteur : Z

**Intro** Historique de la microscopie (Maurel Optique géométrique p.155). Un mode plus élémentaire de grossissement de petits objets à distance finie : la loupe, instrument subjectif (4 p.71, 5 p.71, 2 p.161). Principe, grossissement, résolution angulaire, champ. Aberrations vite limitantes (écart aux conditions de GAUSS) => loupe de STEINHEIL (3 p.445) puis microscopes composés

## I. Présentation et principe d'un microscope

1. Description (2 p.167, 3 p.460)

Oculaire, objectif, tube, miroir, condenseur et collecteur (observation en transmission)

2. Principe (4, 5)

Intervalle optique constant et on règle la distance du tout à l'objet pour que son image par  $L_1$  soit dans le plan focal objet de  $L_2$

3. Focale d'une association de deux systèmes centrés non minces : formule de GULLSTRAND (3 p.141)

a. Démonstration sur le cas de deux lentilles minces

b. Généralisation

4. Condenseur et éclairage uniforme de KÖHLER (2 p.133)

Source dans le plan objet du condenseur, éclairage en sortie uniforme (en dépit des inhomogénéités de luminance de la source) mais pas dans tout le cercle oculaire (car diaphragme dans le plan focal image de l'objectif limite sa pupille de sortie). On dirige donc le faisceau ce qui le rend plus cohérent et va augmenter la résolution (filtrage spatial, ABBE...)

## II. Performances

1. Grossissement et puissance intrinsèque (4 p.74)

a. Conditions nominales d'utilisation

b. Grossissement

Et grossissement commercial

c. Puissance intrinsèque

2. Ouverture numérique de l'objectif (1 p.114)

a. Définition

b. Objectif secs ou à immersion

Liquide d'indice voisin de celui de la lentille. Evoquer le bol de saké (MALINOWSKI's touch)!

## III. Limitations

1. Aberrations...

a. ... chromatiques (5 p.80)

Pouvoir dispersif, lentilles minces accolées pour résoudre

b. ... géométriques

XP : tableau magnétique. Lentille en croissant de Lune pour résoudre

2. Résolution en éclairage incohérent (5 p.65, 2 p.128)

a. Détermination par le critère de RAYLEIGH

Relation des sinus d'ABBE (5)

b. Profondeur de champ

3. Résolution en éclairage de KÖHLER (1893) (2 p.134)

## **Bibliographie :**

1. Boucharéine
2. Dettwiller
3. Fleury
4. FR
5. Perez

# XXXV. LP35 : Obtention d'interférences à deux ondes en optique - Notion de cohérence

Binôme : **Julien** et Damien  
Date de passage : Me.24/11/10  
Correcteur : Z

## Intro

### I. Conditions d'obtention d'interférences à 2 ondes

1. Superposition de 2 ondes (3 p.34)
  - a. Détecteurs (5 p.287)

$T \ll \tau \ll \tau_{réponse}$

- b. Approximation scalaire (4 p.782)
- c. Intensité lumineuse
- d. Terme d'interférences
- e. Possibilité de battements

Différence avec l'optique. Expérience de battements optiques de MAGYAR-MANDEL (1963)

2. Conditions
  - a. Polarisation : expérience de FRESNEL-ARAGO (5 exo p.497, 4 p.784)
  - b. Monochromaticité (3 p.34)
  - c. Corrélacion spatiale des points sources
3. Contraste
4. Expérience des fentes de YOUNG
  - a. XP en live : justifier les fentes
  - b. Résultats
  - c. Transition : possible d'avoir une source non monochromatique ? non ponctuelle ?

### II. Cohérence temporelle

1. Sources d'écart au monochromatisme (5, 3)
  - a. Pression et effet DOPPLER
  - b. Modèle des trains d'ondes : longueur de cohérence

temporelle

Relation d'étalement de HEISENBERG.  $L_c$  et  $\tau_c$  en fonction de  $\Delta\lambda$

2. Mise en évidence : brouillage

XP avec un laser puis une lumière blanche (avec ou sans filtre, interférentiel ou non)

3. Théorème de WIENER-KINTCHINE (5 p.304)

- a. Position du problème
- b. Degré de cohérence temporelle
- c. Enoncé

4. Applications

a. (Contrôle du temps de cohérence par monochromatisme sur un MICHELSON)

Etalonnage à la lampe à Hg

- b. Spectrométrie par TF (5 p.308)

### III. Cohérence spatiale

1. Mise en évidence : brouillage (3 p.78)

XP avec un trou source ponctuel puis plus gros puis une fente source

2. Théorème de ZERNIKE-VAN CITTERT (5 p.310)

- a. Position du problème
- b. Degré complexe de cohérence spatiale
- c. Enoncé

3. Condition de bonne visibilité des franges (2 Appendice p.289)

4. Applications

a. Dimension MAX du trou source dans YOUNG (2, 3 p.78)

- b. Interféromètre stellaire de LABEYRIE (5, 6)

Conclusion Pour certaines géométries des systèmes interférentiels (2), le critère de bonne visibilité donnera le théorème de

localisation

**Bibliographie :**

1. PEREZ, Optique
2. FAROUX-RENAULT, Optique
3. HPrépa, Optique ondulatoire
4. CHAMPEAU, CARPENTIER et LORGERÉ, Ondes lumineuses
5. Perez

6. Léna

**Remarques :**

- L'effet DOPPLER donne une allure gaussienne et les collisions, une allure lorentzienne
- Dans un LASER, les points sources sont corrélés (ie qu'ils émettent en phase)

# XXXVI. LP36 : Interféromètres à division d'amplitude - Applications

Binôme : **Alexia** et Carole  
Date de passage : Me.24/11/10  
Correcteur : Z

## Intro

Niveau L3. Irisations et rappels sur les 2 cohérences. Interféromètre de MICHELSON en source ponctuelle et cohérences spatiale et temporelle en prérequis.

## I. Motivations et intérêts (2 Annexe, 3 p.266, 4 p.78-79)

1. Du trou source à la fente source dans l'XP de YOUNG : un compromis inévitable
2. Théorème de la localisation : atout de la division d'amplitude

## II. Interférences à 2 ondes

1. Interféromètre de MICHELSON... (4 chap.3, 3 chap.24 et 25 (bof))
  - a. ... en coin d'air : franges de FIZEAU
  - b. ... en lame d'air : anneaux d'HAIDINGER
2. Applications
  - a. Etude qualitative d'une lame de savon (coin d'air) : XP (ou photo?)
  - b. Mesure d'une différence d'indices de réfraction (MICHELSON en coin d'air), coup du briquet
  - c. Mesure du rayon de courbure d'une lentille : anneaux de NEWTON (lame d'air d'épaisseur variable => franges

d' = épaisseur)

TWYMAN-GREEN + moderne pour ça.

- d. Interféromètre de SAGNAC
- e. VIRGO
- f. Spectro par TF
- g. Tomographie optique cohérente

## III. Interférences à N ondes

1. Interféromètre de FABRY-PEROT (4 p.96)
2. Applications
  - a. Cavité laser
  - b. Filtre interférentiel
  - c. VIRGO
  - d. Traitements anti-reflets
  - e. Miroirs de BRAGG et photographie LIPPMAN

## Bibliographie :

1. BUP par FORTUNATO pour le théorème de la localisation
2. FR, Optique (bleu, vert, rose)
3. PEREZ, Optique
4. HPrépa, Optique ondulatoire
5. HECHT, Optique (applications)

## Remarques :

- Démarrage d'un laser ? Cohérence des différents modes ?
- Analyseur de modes ?
- FP > réseau (pas besoin d'ouvrir la fente source)

# XXXVII. LP37 : Diffraction de FRAUNHOFER - Applications

Binôme : **Julien** et Nayélie  
Date de passage : Me.15/12/10  
Correcteur : Z

Intro Traitement dans l'approximation scalaire (1 p.43)

## I. Phénomène de diffraction

1. Approximation de l'optique géométrique (2 p.1 à 5)  
XP : isolement d'un rayon laser. Cas du rayon  $1\mu\text{m}$  Terre-Lune.  
Approximation de l'optique géométrique en termes d'angles

2. Principe de HUYGENS-FRESNEL (5)

- Différentes contributions
- Expression mathématique
- Origine physique de la diffraction (1 p.137)

Hypothèses de KIRCHOFF (1 p.143)  $\Rightarrow \lambda \ll$  dimension du trou!

3. Transparence complexe (= transmittance) (6 p.138, 1 p.146)

Diaphragmes d'amplitude et de phase

4. Diffraction par un diaphragme plan (5)

a. Approximation de FRESNEL

Petits angles et écran à grande distance devant les dimensions du diaphragme

b. Approximation de FRAUNHOFER

Nombre de FRESNEL (5 p.229). A distance finie proche (compensation avec lentille) (5 p.229) ou pas (éventuellement à l' $\infty$ )

c. Expression générale de l'intensité diffractée (6)

## II. Figures de diffraction usuelles

1. Diffraction par un trou rectangulaire (6, 3)

- Eclairement : calculs et allure
- Cas limites

2. Théorème des écrans complémentaires de BABINET (3 p.194)

Passer vite en s'appuyant sur le I. 2. c.

3. Diffraction par un trou circulaire

- Formule de FOURIER-BESSEL (1 p.172)
- Tâche d'AIRY (HPrépa p.186)
- Résolution d'un instrument optique (3 p.186)

Limite de résolution et critère de RAYLEIGH

Transition : l'optimisation du pouvoir de résolution n'est pas toujours un objectif...

III. Imagerie à très haute dynamique et exoplanétologie : apodisation (exo 5 pour les calculs, 4 p.309 pour le principe)

1. Position du problème

Exoplanètes noyées dans le bruit de photon induit par les pieds de la tâche d'AIRY de l'étoile centrale

2. Modulation de la transmittance

Calculs. Une exoplanète comme la Terre vue à 10al est dans le 3<sup>ème</sup> pied de son étoile (dans le visible), celui à moins de 0.1% de la luminosité de l'étoile centrale. Or  $(\frac{T_{\oplus}}{T_{\odot}})^4 \sim 10^{-5}$ , sans compter les rayons

3. Résultats

Conclusion Filtrage spatial des images envisageables à partir d'une action directe dans l'espace (= le plan) de FOURIER! Possible de rendre le phénomène de diffraction plus lumineux en travaillant avec une structure périodique comme objet diffractant  $\Rightarrow$  structure cristalline de la matière accessible à peu de frais

## Bibliographie :

- CHAMPEAU Ondes lumineuses
- FR
- HPrépa
- Léna, Astrophysique, méthodes d'observation

5. PEREZ, Optique

6. Tec et Doc

**Remarques :**

- Ne pas s'attarder sur le facteur d'inclinaison  $Q(\theta)$  (traitement rigoureux dans le Champeau)
- Ce sont les hypothèses de KIRCHOFF, elles-mêmes intuitées à partir de l'origine physique de la diffraction, qui donnent un sens à la discussion sur la validité de l'approximation de FRAUNHOFER. Ainsi, on esquisse un début d'explication à la sentence sybiline qui ponctue les énoncés d'exercices sur les interférences sans diffraction : "soient des fentes infiniment fines"...

- Il se pourrait bien que la fonction de transmittance usuelle donnée en exercice pour l'apodisation soit une forme triviale de "prolate sphéroïdale", famille de fonctions dont l'étude détaillée dans le cadre de l'apodisation date d'une quinzaine d'années
- L'ajout de la transparence complexe comme simple facteur dans l'intégrale suppose implicitement une réponse linéaire du milieu
- La TF n'est pas au programme de prépa
- Souligner la notion d'éclairage de l'objet qui donne la figure de diffraction autour de l'image géométrique, notion éclipsée en optique géo.
- Plan de FOURIER
- Approximation parabolique des ondes sphériques car  $\lambda$
- La diffraction explicite les propriétés de la TF

# XXXVIII. LP38 : Diffraction par des structures périodiques dans différents domaines de la Physique

Binôme : **Licari**

Date de passage : Me.15/12/10

Correcteur : Z

## I. Réseaux optiques (3)

### 1. Préliminaires

a. Translation du motif diffractant dans son plan dans l'approximation de FRAUNHOFER

b. Diffraction par 2 fentes de YOUNG

Eclairement = diffraction par un motif  $\times$  interférences à N ondes

### 2. Diffraction par un réseau

a. Modélisation

b. Diffraction par une fente infiniment fine

Attention aux 2 approximations!

c. Interférences à N ondes

d. Figure de diffraction

e. Cas d'un réseau par réflexion

### 3. Spectromètres à réseaux (3)

a. Formule fondamentale du réseau

Construction géométrique des rayons émergents (figure d'interférences)

b. Allure des spectres (2)

c. Dispersion (5)

d. Déviation

Minimum de déviation  $\Rightarrow$  mesure du pas du réseau ou d'une longueur d'onde au gonio

e. Pouvoir de résolution d'un spectromètre à réseau

(2)

Compromis avec la luminosité : produit résolution  $\times$  flux cst (exo 3 p.233)

## II. Diffraction des rayons X par un cristal

### 1. Modélisation

a. Rayons X

b. Réseaux directs et réciproques

### 2. Conditions de diffraction (4)

a. Amplitude de l'onde diffusée

Montrer l'allure, analogue au I.

b. Condition générale de diffraction

c. Formulations de BRAGG et de VON LAUE

3. Méthodes géométriques expérimentales (1 pour le principe, 6 pour la technique)

a. Construction d'EWALD (4)

b. Méthode de LAUE

c. Méthode du cristal tournant

## **Bibliographie :**

1. Ashcroft

2. FR

3. HPrépa

4. KITTEL, Intro à la Physique du solide

5. Perez

6. Protas

## **Remarques :**

– Leçon de début de L3

– Notions de cristallographie en prérequis

– Attention! Pour des motifs trop fins, l'hypothèse de KIRCHOFF n'est plus valable et le calcul de la diffraction par une fente est bien plus délicat...

– Attention! En toute rigueur, le calcul usuel de la diffraction par une fente n'est valable que pour des angles d'incidence faibles,



ce qui n'est plus le cas ici... Admettre que ça ne change rien

- Les passages où l'on ne se préoccupe que de la figure d'interférences (ie ceux où l'on suppose les motifs infiniment fins) ne nécessitent pas d'être dans les conditions de l'approximation de FRAUNHOFER
- Les neutrons thermiques ont une longueur d'onde semblable aux rayons X mais une énergie bien plus faible (diffusions inélastiques qui mettent en évidence des phénomènes de faible énergie). En

outre, ils interagissent principalement avec le noyau, pas avec le nuage électronique (car grande masse). Enfin, leur spin nucléaire permet une étude privilégiée des matériaux magnétiques

- Les électrons ont le défaut d'être vite absorbés par la matière => étude de surfaces et de couches minces uniquement
- Dans l'approche générale du II., on omet délibérément les facteurs de structure et de forme atomique

# XXXIX. LP39 : Absorption, émission spontanée ou induite du rayonnement - Caractéristiques et applications

Binôme : **Roy**

Date de passage : 11/02/11

Correcteur : Vincent JACQUES

**Intro** Jusque là, on s'est toujours contenté, en supposant l'instantanéité de l'interaction, de contourner les processus d'interaction rayonnement-matière (effets photoélectrique, COMPTON...). Mais que se passe-t-il réellement pendant l'interaction ? EINSTEIN passe le cap en essayant de démontrer la loi du CN de PLANCK. On se concentre sur les processus linéaires

## I. Interaction matière-rayonnement

### 1. Modélisation du système (3 p.5)

- a. Spectre
- b. Caractérisation des niveaux d'énergie

### 2. Processus d'interaction (2 p.90, 7 p.48)

- a. Absorption
- b. Emission induite
- c. Emission spontanée

Durée de vie (et sa mesure) et section efficace d'absorption

### 3. Coefficients d'EINSTEIN (6 p.134, 5 p.906)

- a. Définition (Dettwiller Les lasers et leurs applications p.31)
- c. Equilibre canonique entre les atomes et le gaz de photons du CN

Via la loi de PLANCK. 2 relations valables hors équilibre

- c. Commentaires

MASERS avant LASERS

### 3. Equations cinétiques (2 p.101, p.106)

- a. Validité de l'approche cinétique (1 p.144)

Mq les équations cinétiques ne font pas intervenir les phases (oscillations de RABI) car les effets cohérents s'atténuent très vite ( $\sim$

temps de cohérence  $\frac{1}{\omega_1} \sim 10\text{ns}$  très faible et blanc d'ordre supérieur)

- b. Expression générale
- c. En régime stationnaire
- d. Saturation des transitions de résonance

## II. Amplification du rayonnement

### 1. Principe (2 p.113)

- a. Coefficient de transparence généralisé
- b. Plausibilité d'une inversion thermique

Nécessité d'un 3<sup>ème</sup> niveau

### 2. Pompage optique (7 p.105)

- a. Règle de sélection : cas d'une OEM  $\pi$
- b. Principe

### 3. LASER : structure et milieu amplificateur

- a. Présentation

Cavité résonnante et milieu amplificateur

- b. Equations du LASER à 3 niveaux (6 p.139)

Expression de l'inversion relative de population

- c. Condition de seuil sur le taux de pompage (6 p.139)
- d. Gain optique (6 p.139, 7 p.172)

### 4. LASER : cavité résonnante

- a. ISL de la cavité (3 p.66)

Finesse

- b. Condition de seuil sur le coefficient d'amplification de la cavité (7 p.167)
- c. Modes propres de cavité (3 p.74)

### 5. Propriétés des LASERS

### 6. Applications

**Conclusion** Le MASER de TOWNES sera abordé plus en détail dans les applications du retournement par effet tunnel de la

molécule d'ammoniac

**Bibliographie :**

1. Basdevant
2. Cagnac
3. Dangoisse
4. Dettwiller
5. DGLR Physique statistique
6. Einstein aujourd'hui
7. Grynberg

**Remarques :**

- La prise en compte des structures fines et hyperfines de l'atome scinde les niveaux d'énergie en une multitude

- Les collisions ou encore l'excitation de phonons peuvent aussi provoquer le dépeuplement d'un niveau, en concurrence avec l'émission spontanée
- Les causes d'élargissement spectral sont : la durée de vie de l'état excité (par HEISENBERG, minoritaire), l'effet DOPPLER, la pression, les collisions associées dans le gaz, le champ électrique local (= le champ cristallin) dans un solide, la température et les éventuelles interactions avec le milieu
- Equations de BLOCH optiques pour faire les choses proprement (Grynberg)
- Historiquement, EINSTEIN a cherché des coefficients qui donnaient la loi de PLANCK, et non l'inverse comme ici
- Opter pour l'excitation "broad line" est, bien que polémique, plus pédagogique (et surtout moins lourd)
- D'autres techniques de pompage (Dettwiller p.55)

# XL. LP40 : Aspects corpusculaires du rayonnement - Notion de photon

Binôme : **Nayélie**

Date de passage : 11/02/11

Correcteur : Vincent JACQUES

**Intro** PLANCK est le 1<sup>er</sup> à introduire l'idée d'une quantification des échanges d'énergie entre rayonnement d'équilibre thermique et atomes de la paroi du corps noir (énergie et matière) afin de résoudre la catastrophe ultraviolette. Cependant, personne n'a encore osé quantifier le rayonnement lui-même quand EINSTEIN s'attaque à l'effet photoélectrique...

## I. Le photon intuité

### 1. L'effet photoélectrique (3 p.5)

#### a. Mise en évidence expérimentale

XP : deux plaques en rotation que l'on charge + et - et que l'on décharge en éclairant avec UV : électroscope

#### b. Description du montage

#### c. Observations

$I_{saturation} \propto P_{incidente}$  ( $\Rightarrow$  ppe des photodiodes)

Contre-tension

Odg : sensibilité, courant récupéré trop faible

#### d. Le photomultiplicateur (3 p.184)

### 2. Spectre de raies (3 p.14)

Passer vite

#### a. Diagramme d'énergie de l'hydrogène

#### b. Formule de RITZ

#### c. Interprétation de BOHR

Transition : là où BOHR a vu la quantification des énergies de l'atome, EINSTEIN a vu la quantification du rayonnement

## II. Caractérisation du photon

### 1. Impulsion (3 p.51)

#### a. En relativité restreinte

#### b. Expression

On a la norme. L'effet COMPTON va donner l'expression du vecteur impulsion

### 2. Effet COMPTON (1 p.131, 3 p.54)

#### a. L'approche de BARKLA

Section efficace THOMSON, mesure de Z, écart à la théorie classique

#### b. Résultats des expériences de COMPTON

c. Interprétation en termes de collisions entre corpuscules

### 3. Ralentissement laser (Panorama de la Physique? 6 p.11)

Comment mettre en avant l'aspect corpusculaire ?

#### a. Principe

Excitation des atomes  $\Rightarrow$  recul puis réémission isotrope, effet DOPPLER, effet ZEEMAN

#### b. Distance minimale d'arrêt

### 4. Moment cinétique

Evoquer l'expérience de BETH de rotation d'une lame demi-onde sous l'effet d'une onde polarisée rectilignement (3 p.310)

#### a. Valeur (3 p.313)

$\Rightarrow$  valeur. Caractère bosonique ( $\Rightarrow$  distribution de BOSE-EINSTEIN)

#### b. Une règle de sélection (3 p.317)

Effet ZEEMAN : on observe QUE des transitions entre sous-niveaux consécutifs

#### c. (Effet ZEEMAN (3))

Transition : malheureusement, si la notion de photon permet d'expliquer tous les phénomènes décrits jusque là (effets COMPTON, photoélectrique...), ce n'est pas la seule. La MQ a mq'une approche semi-classique où l'on quantifie les niveaux d'énergie du détecteur sans quantifier le champ donnait le même résultat ! (7 p.17)

### III. Onde ou particule ?

1. Interférences à 1 photon (4 p.11)

2. Expériences à choix retardé (5, 7 p.30)

Interféromètre de MACH-ZENDER. Source de photons uniques et lame semi-réfléchissante. Paramètre de corrélation. Non localité de la MQ ? Photons intriqués mais pas de variables cachées (inégalité de BELL) (2 p.99)

**Conclusion** En parallèle des démarches théoriques de PLANCK et EINSTEIN, FRANCK et HERTZ s'aperçoivent que les spectres d'émission et d'absorption des atomes sont discontinus (3 p.32), ce qu'explique empiriquement le modèle de BOHR. Il faudra attendre DE BROGLIE en 1923 pour l'expliquer en conférant à la matière l'aspect ondulatoire qui lui faisait défaut (4 p.18)

#### Bibliographie :

1. Aslangul I.
2. Basdevant Exos
3. Cagnac Physique atomique I.
4. Cohen I.
5. Thèse de Vincent Jacques
6. Kaiser Petits problèmes de Physique II.
7. Le Bellac

#### Remarques :

- La différence fondamentale entre l'effet COMPTON et l'effet photoélectrique, c'est que dans le 1<sup>er</sup> cas, les électrons se comportent

- comme s'ils étaient libre du fait de l'énergie très grande des rayons X devant les niveaux d'énergie d'excitation de l'atome
- Démonstration sobre et brillante de la catastrophe ultraviolette et de la façon dont on la lève dans Le Bellac p.14
- Levis 1926 : "photon"
- Pompage optique envisageable pour mettre en valeur les règles de sélection et le moment cinétique du photon
- Largeur des raies spectrales dues à : 1. L'effet DOPPLER 2. Les collisions car plus le temps de vie de l'état excité est court (beaucoup de collisions), plus l'étalement énergétique est grand (HEISENBERG) 3. Effets STARK, ZEEMAN...
- La présentation du radiomètre du CROOKES pour introduire l'impulsion du photon peut porter à confusion dès lors que le vide n'est pas assez poussé dans l'ampoule (Cagnac p.50)
- Le Cagnac introduit avec brillo l'impulsion du photon via des considérations classiques sur la pression de radiation
- La diffusion COMPTON est inélastique pour le photon (qui change de fréquence) mais pas globalement (pour le photon et l'électron)
- Les rayons X sont produits par rayonnement de freinage (Bremsstrahlung) en bombardant une anode d'un élément lourd par des électrons accélérés sous quelques dizaines de kV. Les électrons vont alors être soudainement arrêtés sur quelques dizaines d'angstroms et la longueur d'onde du rayonnement de freinage ainsi émis sera d'autant plus grande que la ddp et le nombre de charges des atomes est grand
- Ce sont les règles de sélection qui limitent le nombre des transitions dans l'effet ZEEMAN (Cagnac p.317)
- Leçon introductive à la MQ

# XLI. LP41 : Aspects ondulatoires de la matière - Notion de fonction d'onde

Binôme : **Cécile bis**

Date de passage : 04/02/11

Correcteur : Loïc AUVRAY

**Intro** XP : résonance optique (vapeur de sodium) (1 p.168). LP précédente a montré la dualité onde-corpuscule du rayonnement dans III. DE BROGLIE passe le cap en 1923, à la suite des confusions lexicales de ses collègues auxquelles il va oser prêter un sens (2 p.17). L'expérience de DAVISSON et GERMER (1927) confirmera son intuition

## I. L'onde de matière intuitive

1. Le modèle planétaire de l'atome de BOHR (4 p.801, 2 p.415, 1 p.158)

Passer vite

a. Description

Quantification de l'action le long d'une trajectoire circulaire

b. Résonance optique (1 p.168)

XP : résonance optique (vapeur de sodium)

c. Expérience de FRANCK et HERTZ (1 p.174)

Mais quelle origine ?

2. La relation de DE BROGLIE (5 p.59)

a. Hypothèse fondamentale

b. Longueur d'onde de DE BROGLIE

Démonstration dans les cas relativiste ou non (en l'absence de  $\vec{B}$ ). Enoncé

c. Orbites stationnaires de BOHR (1 p.163, 5 p.28, exo p.38)

L'électron comme une corde vibrante tournant autour du noyau => quantification du moment cinétique et formule de RITZ

d. Odg

Une pomme ne diffracte pas facilement ( $\lambda$  trop petit), un neutron, si

3. Diffraction de neutrons froids par une fente

Diffraction d'électrons par un cristal avec DAVISSON et GERMER (1927)

a. Diffraction de BRAGG (3 p.211)

b. Figure de diffraction (6 p.21)

$\lambda_{neutrons}$  et dimension angulaire

4. Interférences d'ondes de matière : fentes de YOUNG (6 p.21)

a. Description (2 p.21)

b. Aspect probabiliste des interférences quantiques

Dualité onde-corpuscule

Transition : nécessité d'une interprétation en termes d'amplitudes de probabilités

## II. Formalisme quantique (1 chap.12 : les 7 postulats)

1. Fonction d'onde (4 p.19)

a. Définition

b. Interprétation de BORN (1 p.326)

2. L'équation de SCHRÖDINGER (4 p.19)

a. Enoncé et propriétés

Hamiltonien. Signification. Evoquer KLEIN-GORDON

b. Equation aux valeurs propres (1 p.282)

SCHRÖDINGER réduit aux seules variables d'espace

c. Principe de décomposition spectrale

d. Observables position et quantité de mouvement

3. Paquet d'ondes (4 p.22)

a. Description quantique d'une particule libre

$\sim$  onde monochromatique. TF

b. Allure du paquet d'ondes à un instant donné

Détermination du centre du paquet d'ondes par un argument de condition de phase stationnaire

c. Evolution dans le temps

Vitesses de phase et de groupe

4. Relations d'étalement d'HEISENBERG (1 p.345)

a. Enoncés

b. Controverse BOHR-ENSTEIN : complémentarité onde-corpuscule (4 p.51)

Fentes de YOUNG avec plaque montée sur ressort

III. Onde ou particule ? (7 p.10, 1 p.297)

Limites classique / quantique

1. Condition nécessaire de recours à la théorie quantique

2. Exemples

**Conclusion** Certains phénomènes (condensation de BOSE-EINSTEIN) ne vérifient pas nécessairement la condition sur l'action de façon triviale mais sont quantiques du fait du rôle joué par des effets spécifiquement quantiques (indiscernabilité de particules identiques) (1 p.299)

**Bibliographie :**

1. Aslangul
2. Basdevant
3. Cagnac
4. Cohen
5. Hladik
6. Le Bellac
7. Lévy-Leblond

**Remarques :**

- Leçon introductive à la MQ
- L'expérience de FRANCK et HERTZ (1914) (expliqué par le modèle empirique de BOHR), ne semble pas avoir sa place dans cette leçon (Aslangul p.259)... Existe-il une interprétation théorique propre de cette expérience quelque part ?
- Que devient la relation de DE BROGLIE en présence d'un champ  $\vec{B}$  ? Quelles sont les limites de cette relation ? Sa validité ? (Aslangul p.278)
- Interférences avec des neutrons FROIDS  $\Rightarrow$  plus grande longueur d'onde  $\Rightarrow$  plus grande interfrange  $\Rightarrow$  plus joli
- A la place du I. 3., on peut envisager l'expérience de DAVISSON et GERMER ou la diffraction de neutrons thermiques en cristallographie
- Adopter l'approche ondulatoire de SCHRODINGER, moins lourde en termes de formalisme mathématique que celle d'HEISENBERG
- Equation de SCHRODINGER et équation aux valeurs propres sont équivalentes ssi l'hamiltonien est indépendant du temps
- Le lecteur avisé notera que les couples  $(\vec{r}, ct)$  et  $(\vec{p}, \frac{E}{c})$  qui apparaissent dans les relations d'étalement de HEISENBERG sont aussi des 4-vecteurs en Relativité. Ce n'est pas une coïncidence : il y a là l'essence de la dualité onde-corpuscule (cf, par exemple, la démonstration de l'équivalence entre les relations de PLANCK et de DE BROGLIE dans la LP56)
- La relation d'étalement d'HEISENBERG est une égalité pour des paquets d'ondes gaussiens

## XLII. LP42 : Exemples de phénomènes quantiques

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** A toutes les échelles (naines blanches et étoiles à neutrons).  
On se focalisera sur le micro

### I. Dualité onde-corpuscule

1. Interférences d'ondes de matière : fentes de YOUNG (5 p.21)

a. Description (2 p.21)

Atomes froids => grande interférence

b. Comportement dual

2. Application à l'expérience de FRANCK-HERTZ : quantification des niveaux d'énergie de l'atome (1 p.174)

La présenter comme une csq du caractère ondulatoire (DE BROGLIE) de l'électron (orbites stationnaires de BOHR)

Evoquer l'effet COMPTON qui témoigne de l'aspect corpusculaire du rayonnement

3. Controverse BOHR-EINSTEIN : relation d'étalement d'HEISENBERG (3 p.51)

Quantifie la part d'ondulatoire et la part de corpuscule

Transition : l'étalement en énergie se solde par la possibilité de passer une barrière de potentiel "classiquement" trop haute, l'effet tunnel

### II. La molécule d'ammoniac : une manifestation de l'effet tunnel

1. Fonctions propres et valeurs propres de l'hamiltonien (2 p.93)

a. Double puits fini

b. Résolution

Solutions symétrique et anti

c. Clivage énergétique

2. Evolution de la molécule : système à 2 niveaux (2 p.137)

a. Equation de SCHRODINGER

b. Oscillations

Fréquence d'inversion

3. Couplage à un champ électrique statique : tri moléculaire (2 p.139)

a. Niveaux d'énergie : diagonalisation de l'hamiltonien

b. Limites

En champ fort ou faible

c. Inversion de population

Force subie dans un champ inhomogène quadripolaire (2 p.143)

4. Application : le maser de TOWNES (1954)

a. Description (2 p.144)

2 parties dont le ppe de la 1<sup>ère</sup> a été décrit au II. 3. c. Voici la 2<sup>nde</sup>

b. Champ oscillant dans la cavité résonnante et effet

MASER : émission induite (2 p.144, 4 p.50)

Oscillations de RABI => amplification d'une onde à  $\sim 24\text{GHz}$

Transition : cette technique de tri sur un jet moléculaire n'est qu'une extension au cas de dipôles électriques de la technique de STERN et GERLACH utilisée dès 1920 avec des dipôles magnétiques

### III. Expérience de STERN et GERLACH (1921) : la notion de spin (2 chap.8)

1. Principe

a. Description

b. Moment magnétique de l'atome

Rapport gyromagnétique

c. Force magnétique

2. Résultats attendus et effectifs

3. Interprétation quantique



a. Composante selon z du moment magnétique de l'atome  
Nombre magnétique

b. Opérateurs  $\mu_x, \mu_y, \mu_z$   
Mx de PAULI

c. Mesures selon des axes différents

4. Spin (2 p.254)

**Conclusion** LP sur la RMN. Concept d'intrication et non localité de la MQ (expériences à choix retardé)

### Bibliographie :

1. Aslangul
2. Basdevant
3. Cohen I.
4. Grynberg
5. Le Bellac

### Remarques :

- Evoquer le benzène, à 5 niveaux au lieu de 2 mais même principe que l'ammoniac
- En prérequis : le calcul des vp et des  $v\vec{p}$  dans un double puits fini (solutions symétrique et anti)
- Calculs détaillés pour l'ammoniac (Cohen p.453, Le Bellac p.155)
- Le maser de TOWNES est constitué de 2 parties bien distinctes : une qui réalise l'inversion de population ie le tri moléculaire (par application d'un champ statique inhomogène quaripolaire) et l'autre qui réalise l'amplification par émission induite (cavité résonnante)
- Evoquer les 1<sup>ères</sup> horloges atomiques lors de la description du maser de TOWNES
- Admettre de nombreux résultats pour faire un maximum de Physique

# XLIII. LP43 : Confinement de l'électron et quantification de l'énergie - Exemples

Binôme : Sébastien

Date de passage : 04/02/11

Correcteur : Loïc AUVRAY

**Intro** XP de WOOD (1905) : résonance optique (vapeur de sodium) (1 p.168). Avant l'avènement de la MQ, il existe des formules empiriques qui expliquent les observations (spectre de raies) : formule de RITZ. Approche heuristique du confinement de l'électron dans l'atome au I. : le modèle de BOHR

## I. Modèles atomiques

1. Modèles continus (2 p.414, 4 p.34)

a. Plum-pudding de THOMSON

b. Modèle planétaire de RUTHERFORD

c. Rayonnement de freinage de l'électron : bremsstrahlung (Perez p.380)

2. Modèle de BOHR : confinement orbital de l'électron (3 p.801, 2 p.415, 1 p.158)

a. Description

Quantification de l'action le long d'une trajectoire circulaire. Approche de DE BROGLIE

b. Conséquences

c. Expérience de FRANCK et HERTZ (1 p.174)

Transition : la MQ explique tout en tenant seulement compte du confinement de l'électron

## II. Apports de la MQ

1. Relation d'étalement d'HEISENBERG (3 p.47)

a. Rappel

b. Contradiction avec le modèle de BOHR

Pour  $n$  grand (sauf pour H). Plus de trajectoire, comportement ondulatoire de l'électron ( $\lambda_{debroglie} \sim a_0$ )

c. L'incertitude garante de la stabilité : pression de SCHRÖDINGER (2 p.399)

Electron dans une boîte

2. Electron dans un puits de potentiel carré 1D fini stationnaire : confinement spatial (3 p.76)

a. Fonction d'onde

Résolution de l'équation de SCHRODINGER

b. Confinement => quantification

Bornées et CL (puits fini donc dérivée bornée) => équation "transcendante" et résolution graphique. La quantification des niveaux d'énergie de l'atome vient maintenant du confinement de l'électron dans un puits de potentiel, plus d'une quantification des orbites!

3. Loi de MOLLWO-IVEY : centres colorés dans les cristaux ioniques (2' p.16)

## III. Description quantique de l'atome d'hydrogène (2 p.226)

1. Mouvement dans un potentiel central

a. Equation aux vp en coordonnées sphériques

b. L'ECOC

c. Fonctions propres communes

Décomposition en parties radiale et harmonique

d. L'équation radiale

2. Résolution dans le cas de l'atome d'hydrogène

a. Modélisation

Spin négligé,  $m_e \rightarrow \infty$

b. Equation radiale adimensionnée

c. Limites en  $r$

3. Spectre

a. Nombres quantiques

b. Niveaux d'énergie

**Conclusion** Conduction électrique dans les métaux : gaz d'électrons libres confinés dans le métal (LP53)

## Bibliographie :

1. Aslangul
2. Basdevant
- 2'. Basdevant Exos
3. Cohen
4. Le Bellac

## Remarques :

- La propriété importante qui fait que le confinement implique la quantification : appartenance de la fonction d'onde à l'espace des fonctions de carré sommable ( $\Rightarrow$  "bornées") (Cohen p.351)
- Expliciter la continuité de la fonction d'onde (et de sa dérivée pour un puits de potentiel de profondeur finie) ( $\Rightarrow$  "CL") (Cohen p.69)
- Problème : pourquoi dans les centres colorés dans les cristaux ioniques ne peut-on pas jarter un cation plutôt qu'un anion avec un photon ? Les cations sont-ils plus liés au cristal que ne le sont les anions ?
- Leçon de conclusion

- BOHR est guidé par le principe de moindre action lorsqu'il établit son modèle
- Le sodium est un élément hydrogénéoïde  $\Rightarrow$  valide l'expérience de départ
- Pour un traitement détaillé de l'atome d'hydrogène ( $\neq$  Cohen p.800)
- Lien entre quantité de mouvement et moment cinétique via le laplacien en prérequis. Plus généralement, cours sur l'opérateur moment cinétique en MQ en prérequis ( $\Rightarrow$  expressions des harmoniques sphériques connues)
- ECOC : ensemble complet d'observables qui commutent
- L'énergie cinétique d'un électron dans un métal, parce que celui-ci appartient à un gaz de PAULI ( $T \ll T_{fermi}$ ), n'est pas donné par  $k_B T$
- Savoir démontrer le théorème du viriel
- Quelques spins usuels : 0 pour un méson ( $\Rightarrow$  scalaire) (vecteur de l'IF), 1 pour un photon ( $\Rightarrow$  vecteur) (vecteur de l'interaction électromagnétique) et 2 pour un graviton ( $\Rightarrow$  tenseur) (vecteur de l'interaction gravitationnelle)

## XLIV. LP44 : Effet tunnel - Applications

Binôme : **Joris**

Date de passage : 11/02/11

Correcteur : Z

**Intro** Dualité onde-corpuscule et  $\exists$  ondes évanescentes... Phénomène qui souligne l'aspect probabiliste de la MQ autant que la richesse des nouvelles possibilités qu'elle offre

### I. Traversée d'une barrière de potentiel

#### 1. Résolution (2 p.73)

- a. Fonction d'onde
- b. Raccordements et CL
- c. Expression du facteur de transmission

Analogie optique (FABRY-PEROT). Odg

d. Epaisseur de peau et longueur d'onde de DE BROGLIE

Grosse différence avec les ondes évanescentes :  $\lambda_{DB} \neq \delta$  car  $\delta \propto \sqrt{\lambda}$

#### 2. Généralisation à une barrière de forme quelconque (4 p.140)

- a. Approximation pour une barrière rectangulaire épaisse
- b. Facteur de transmission pour une barrière quelconque

Condition de validité, expression

- c. Limite classique (5 p.330)

S'annule pour grande action

#### 3. Emission froide des électrons d'un métal

- a. Gaz de FERMI (REFERENCE ? Ashcroft ?)
- b. Application : la microscopie par effet tunnel (4 p.142, BUP 699 ?)

Ne s'applique donc qu'à des métaux, où  $E < V_0$  (électrons liés aux atomes dans les isolants!)

### II. La molécule d'ammoniac

#### 1. Fonctions propres et valeurs propres de l'hamiltonien (1 p.93)

Passer vite

- a. Double puits fini
- b. Résolution

Solutions symétrique et anti

- c. Clivage énergétique
2. Evolution de la molécule : système à 2 niveaux (1 p.137)
  - a. Equation de SCHRODINGER
  - b. Oscillations par effet tunnel

Fréquence d'inversion

#### 3. Couplage à un champ électrique statique : tri moléculaire (1 p.139)

- a. Niveaux d'énergie : diagonalisation de l'hamiltonien
- b. Limites

En champ fort ou faible

- c. Inversion de population

Force subie dans un champ inhomogène quadripolaire (1 p.143)

#### 4. Application : le maser de TOWNES (1954)

- a. Description (1 p.144)

2 parties dont le ppe de la 1<sup>ère</sup> a été décrit au II. 3. c. Voici la 2<sup>nde</sup>

b. Champ oscillant dans la cavité résonnante et effet MASER : émission induite (1 p.144, 3 p.50)

Oscillations de RABI => amplification d'une onde à  $\sim 24$ GHz

### III. Radioactivité $\alpha$ (5 p.330, 6 p.236, 7 p.161, BUP 734 ?)

#### 1. Présentation du problème

- a. Modélisation

Noyau, bilan d'énergie (6 p.236)

- b. Barrière de potentiel

Odg du puits et de la particule  $\alpha$

#### 2. Rôle de l'effet tunnel

a. Validité de l'expression approchée du facteur de transmission

b. Facteur de GAMOW

Odg

3. Temps de vie

a. Définition probabiliste

Interprétation en termes de probabilités de collisions

b. Relation de GEIGER-NUTALL

Extrême sensibilité à l'énergie de la particule  $\alpha$ !

**Conclusion** Modélisation des réseaux cristallins par des potentiels en créneau nous apportera beaucoup quant à la compréhension de la conduction électrique (LP53) (2 p.1146, 5 p.350)

### **Bibliographie :**

1. Basdevant
2. Cohen

3. Grynberg

4. Hladik

5. Lévy-Leblond

6. Martin

7. Valentin, Le Monde subatomique

### **Remarques :**

- Il faut s'interroger sur la définition du facteur de transmission de la barrière
- Une justification physique des conditions aux limites adoptées est attendue
- Analogie avec les ondes évanescentes en électromagnétisme
- On utilise des microscopes à force atomique pour des isolants, avec qui le microscope à effet tunnel ne fonctionne pas
- Problème : une onde électromagnétique évanescente s'atténue sur  $\delta \propto \sqrt{\lambda}$  alors qu'une onde de matière s'atténue sur  $\lambda_{DB}...$   
Pourquoi cette différence?

# XLV. LP45 : Le noyau : stabilité, énergie - Applications

Binôme : **Julien LB**

Date de passage : 03/05/11

Correcteur : VILLAIN

**Intro** Existence entérinée par les expériences de RUTHERFORD, GEIGER et MARDSEN ( $\Rightarrow \sim$  rayon nucléaire) (Valentin Le Monde subatomique avec des montgolfières sur la couverture) : description. Les écarts au modèle de l'interaction coulombienne s'expliqueront par les nouvelles interactions en jeu dans le noyau

## I. Structure

### 1. Composition

a. Spectroscopie de masse (Martin)

b. Nécessité du neutron : le spin (Valentin)

Modèle du noyau à A protons et A-Z électrons. Mesure du spin par RMN. CHADWICK (1932)

c. Densité nucléaire de masse

$\Rightarrow$  intenses interactions

### 2. Répulsion coulombienne

Estimation de l'intensité de l'interaction manquante

### 3. Interaction forte

a. Écarts à la théorie de RUTHERFORD de la section efficace (Valentin)

b. Propriétés (Martin)

pp=nn=pn, spin, saturation

Transition : pas d'expression triviale pour l'interaction forte  $\Rightarrow$  nécessité d'une approche semi-empirique

## II. Énergie de liaison et stabilité du noyau

### 1. Modèle de la goutte liquide

a. Définition de l'énergie de liaison (3)

b. Courbe d'ASTON (3)

c. Analogie avec l'équation d'état de VAN DER WAALS

(3)

Analogies avec une goutte (Martin). Faux d'après VILLAIN

b. Formule de BETHE-WEISZACKER

Les 3 premiers termes. Pour le 1<sup>er</sup>, expliquer l'extensivité par le couplage faible car portée de l'IF finie

### 2. Modèle du gaz de FERMI (3 Appendice)

a. Nécessité d'un traitement quantique

$n\lambda_{th}^3 \gg 1$ . Principe de PAULI

b. Principe

Protons et neutrons indépendants, libres de se déplacer dans un potentiel qui traduit un champ moyen

c. Densité d'états (2 Appendice)

d. Terme d'assymétrie (2, 3)

Origine du coefficient 2 mystérieuse...

e. Ligne de stabilité (3)

### 3. Parabole de masse (3)

a. Définition

b. Terme d'appariement

## III. Fission $\alpha$ (1 p.330, 2 p.236, 3 p.160, BUP 734?)

Alléger un peu cette version

### 1. Présentation du problème

a. Modélisation

Noyau, bilan d'énergie (2 p.236)

b. Barrière de potentiel

Odg du puits et de la particule  $\alpha$

### 2. Rôle de l'effet tunnel

a. Validité de l'expression approchée du facteur de transmission

b. Facteur de GAMOW

Odg

### 3. Temps de vie

a. Définition probabiliste

Interprétation en termes de probabilités de collisions

b. Relation de GEIGER-NUTALL

Extrême sensibilité à l'énergie de la particule  $\alpha$  !

#### IV. Fusion thermonucléaire

Conclusion Noyaux magiques et modèle en couches

**Bibliographie :** 1. Lévy

2. Martin

3. Valentin Le monde subatomique

**Remarques :**

- Leçon de fin de L3
- Effet tunnel en prérequis
- Passer plus de temps sur les applications. Trop de temps passé sur le I. et les mauvais modèles. Passer vite (en Intro éventuellement)
- Introduire l'IF comme nécessité pour contrer la répulsion électrostatique entre protons dans le noyau
- Eviter de parler de "goutte liquide"
- Si section efficace différentielle de diffusion à paramètre d'impact fini diverge Alors portée infinie
- Possible de démontrer le terme assymétrique
- Utiliser les paraboles pour faire les applications rapidement
- Bien comprendre que les phénomènes les plus énergétiques (ex : liaisons par interaction forte dans le noyau) sont les plus difficiles à découvrir car ce sont ceux qui sont les plus difficiles à mettre en évidence expérimentalement (les plus "inertes" en quelque sorte)
- Faire le calcul du I. 2. rapidement en notant que l'on a la même charge électrique que les électrons orbitant dans l'atome mais dans un volume  $10^{15}$  fois plus petit ! On passe donc de 10eV à

1MeV

- L'écart à la théorie pour les noyaux de faible A s'explique par une mise à mal de l'hypothèse d'un noyau sphérique et de charge uniforme
- HEISENBERG fixe une borne inférieure à la profondeur du puits de potentiel dans le modèle de FERMI puisque l'énergie d'interaction doit être plus grande que la cinétique donnée par HEISENBERG
- La portée d'une interaction est fixée par la masse m de la particule vecteur :  $\lambda = \frac{\hbar}{mc}$
- L'équation de KLEIN-GORDON en régime permanent s'appelle l'équation d'HELMHOLTZ. La dimension caractéristique qui intervient dans cette équation appliquée au noyau n'est autre que la portée de l'interaction ! Le potentiel de YUKAWA (qui est censé être solution de l'équation d'HELMHOLTZ...) devient alors tout naturellement une expression de l'interaction forte
- La section efficace caractérise l'interaction
- Pourquoi modèle de la goutte LIQUIDE ? Attention, ne pas confondre avec VAN DER WAALS, attractive et à longue portée. Ne pas dire que le potentiel d'interaction entre nucléons est comme VAN DER WAALS, c'est archi-faux (car avec les nucléons, c'est répulsif ou neutre à longue distance et attractif à courte distance) ! Le potentiel entre nucléons c'est un puits à courte distance et un pic qui décroît en  $1/r$  à partir d'un certain r. Goutte liquide car système et interactions finis.
- U-235 fissionne, pas le 238 (pour des raisons de parité). L'expliquer en introduisant la barrière de fission (d'environ 6 MeV, dépend de A et Z) à passer du fait de la déformation du noyau (coûte en énergie de surface et rapporte en électrostatique). Ceci explique aussi le fait que la CP s'arrête à un moment donné : car fission spontanée car barrière trop basse (ça coûte alors moins cher de déformer le noyau qu'on ne gagne de l'énergie électrostatique) !
- Se plonger dans le Basdevant Energie nucléaire à l'occasion

# XLVI. LP46 : Oscillateurs à deux degrés de liberté en mécanique classique : modes propres - Systèmes à deux niveaux d'énergie en Physique quantique - Analogies et différences

Binôme : **Carole**

Date de passage : 20/01/11

Correcteur : Z

## Intro

### I. Oscillateurs à 2 ddl en MC

#### 1. Modélisation

a. Liaisons dans un cristal (2 p.11)

CL périodiques et cristal  $\infty$  pour effacer les effets de bord

b. Approximation de l'interaction élastique (6 p.90, 4 p.162)

Force de rappel autour de l'équilibre

c. Mise en équations (3 p.576)

#### 2. Résolution des équations du mouvement (3 p.578)

a. Approche matricielle : diagonalisation

b. Résolution

Via modes propres

c. Interprétation en terme de découplage dans l'hamil-

tonien

Faire le parallèle avec le pb à 2 corps. Modes propres = particules fictives

#### 3. Mouvement du système (3 p.578, 5 p.10)

a. Modes propres de vibration

Modes symétrique et antisymétriques,  $\vec{v}\vec{p}$  de l'hamiltonien

b. Battements

XP : visualisation sur les pendules couplés

### II. Systèmes à 2 niveaux en MQ (3 p.403 pour le cheminement et le formalisme)

1. Fonctions propres et valeurs propres de l'hamiltonien (Basdevant p.93)

a. Double puits fini

b. Résolution

Solutions symétrique et anti

c. Clivage énergétique

#### 2. Evolution de la molécule (1 p.137)

a. Equation de SCHRODINGER

b. Oscillations de RABI

Fréquence d'inversion

3. Couplage à un champ électrique statique : tri moléculaire (1 p.139)

a. Niveaux d'énergie : diagonalisation de l'hamiltonien

b. Limites

En champ fort ou faible

c. Inversion de population

Force subie dans un champ inhomogène quadripolaire (2 p.143)

### III. Oscillateur harmonique quantique à 2 ddl (3 p.582)

#### 1. Formalisation

a. Opérateurs position / impulsion

Pour les particules fictives

b. Relations de commutation

c. Découplage de l'hamiltonien

#### 2. Etats stationnaires

3. Evolution des valeurs moyennes : fréquences de BOHR

Conclusion Le couplage entre une infinité d'oscillateurs donnera des phonons



### Bibliographie :

1. Basdevant
2. Benayoun
3. Cohen
4. FR
5. HPrépa
6. Puissance Prépa

### Remarques :

- Attention ! Dans la molécule d'ammoniac, on a un couplage par effet tunnel et un autre par l'application d'un champ électrique statique !
- En MQ, la résonance s'interprète simplement comme une diffé-

rence d'énergie entre 2 niveaux

- L'utilisation de l'équation aux vp quantique  $H\Psi=E\Psi$  n'est valable que pour un système conservatif ie dont l'hamiltonien est indépendant du temps
- Pour faire le I. proprement, on se ramène au cas particulier où  $k_1=k_2$  et  $m_1=m_2$  (Cohen p.577) et on en déduit la matrice qui traduit le système d'équations différentielles couplées. On exploite ensuite les propriétés des ECO (MALINOWSKI's touch) ! La matrice unité anti-diagonale commute avec cette dernière => la diagonaliser suffit à justifier l'allure des vecteurs propres de la grosse matrice, que l'on peut alors déceimment intuitier
- L'équation matricielle du I. n'est soluble que si le déterminant de la matrice est non nul (et qu'elle est donc inversible)

# XLVII. LP47 : La molécule : stabilité, énergie - Applications

Binôme : **Tuhiti**

Date de passage : 26/01/11

Correcteur : DELPORTE

**Intro** L'hypothèse atomique l'ayant emporté (découverte de l'électrolyse, études stœchiométriques, STM => corps simples), reste à expliquer l'association d'atomes pour former des molécules. Rappel sur la stabilité de l'atome par HEISENBERG et PAULI

## I. Liaison élémentaire : l'ion $H_2^+$ (2 p.1159)

### 1. Modélisation

a. Description et hamiltonien

b. Approximation de BORN-OPPENHEIMER

c. Principe du calcul exact : coordonnées elliptiques

### 2. Méthode variationnelle

a. CLOA

On travaille sur les 1s a priori

b. Etats liants et antiliants

Invariance de H par  $P_{12}$  =>  $\vec{v}\vec{p}$  communs. Intégrale de recouvrement

c. Energies propres approchées

Intégrales de COULOMB et de résonance (= d'échange). Vérification a priori car  $A \ll |E_{1s} - E_{2s}|$ . Liaison ssi recouvrement ( $\sim$  délocalisation)

d. Limites de cette méthode

$H_2^+ \rightarrow He^+$  quand  $R \rightarrow 0!$

### 3. Généralisation à toutes les molécules : théorème du viriel

a. Idées de la démonstration

Passer vite

b. Discussion

Minimisation de V et maximisation de T, contrairement au 2.!

c. Interprétation par la relation d'HEISENBERG

## II. Stabilisation par résonance quantique : le benzène (1 p.171, 3 pour les mx ?)

1. Modélisation et observations expérimentales

2. Etats propres sans interaction

a. Symétrie d'ordre 6

b. Etats propres

3. Méthode perturbative

4. Bilan énergétique et formule de KEKULE

3 C=C < 6 e<sup>-</sup> délocalisés

## III. Niveaux de vibration des molécules diatomiques (2 p.510, p.867)

1. Modélisation

2. Raies spectrales de molécules homopolaire

3. Spectroscopie IR de molécules hétéropolaires (4)

a. Moment dipolaire électrique moyen

Expression délicate... Oh

b. Spectres IR

**Conclusion** Structure interne des molécules dans un gaz => capacités calorifiques (DGLR Physique statistique p.332). Et dans une phase condensée? LP48 et LP50. Résonance de l'ammoniac vibre par effet tunnel => LP44 et LP49

## Bibliographie :

1. Basdevant
2. Cohen
3. Feynman
4. HPrépa Chimie

## Remarques :

- En prérequis : l'atome d'hydrogène (OA), ions hydrogénéoides ( $He^+$ ), sensibilisation à l'intérêt de la notion de symétrie

- L'argument de FEYNMAN pour expliquer qualitativement la stabilisation des orbitales symétriques (liantes) et la destabilisation des antisymétriques (antiliantes) sur l'exemple de la molécule d' $\text{H}_2^+$  (faire un dessin) est intéressant : il remarque que l'orbitale symétrique augmente l'étalement spatial de chacun des électrons (qui peuvent maintenant se ballader librement sur les 2 protons puisque la densité de probabilité ne s'annule pas entre les 2) et donc, par HEISENBERG, diminue leur étalement en impulsion, diminuant ainsi l'énergie cinétique et l'énergie mécanique du système => on a stabilisé
- L'échec de la méthode perturbative traduit la sensibilité de la

méthode vis-à-vis du choix des kets d'essais. Ici, il conviendrait de choisir des kets fonctions de  $Z$ , paramètre variationnel, puis de minimiser l'énergie pour chaque valeur de la distance inter-nucléaire

- On peut se contenter de considérer les kets 1s (et pas les 2s) dès lors que l'écart énergétique est grand devant  $k_B T$
- La mésomérie est une forme de résonance quantique
- Evoquer la rotation intramoléculaire qui lève encore la dégénérescence au III.
- Pour avoir les raies spectrales de molécules homopolaires, on utilise l'effet RAMAN qui induit des moments dipolaires électriques

# XLVIII. LP48 : Cohésion de la matière condensée

Binôme : **Cécile R.**

Date de passage : 26/01/11

Correcteur : DELPORTE

**Intro** Interaction unique peut s'exprimer sous différents aspects qui nécessitent des modélisations différentes. Répulsion électronique des nuages et pourtant, association. On a vu que c'était possible pour une molécule. Un état condensé serait-il une grosse molécule à  $10^{23}$  atomes? Nous relierons la nature et la force des interactions assurant la cohésion aux différences entre grandeurs macroscopiques (HPrépa MPSI p.140). Commençons par mettre en évidence qualitativement la dureté d'un solide par HEUSENBERG (Le Bellac ?)  $\Rightarrow P_{\text{pauli}} \propto \frac{1}{a^5} \Rightarrow \text{liquides} \neq \text{solides}$

## I. Cristaux ioniques

### 1. Modélisation (2, 4)

- a. Liaison ionique
- b. Terme coulombien
- c. Terme répulsif

cf Intro. Décroît vite  $\Rightarrow$  plus proches voisins seulement. Validé a posteriori (3.)

### 2. Energie réticulaire (4)

- a. Définition
- b. Energie électrostatique de MADELUNG
- c. Constante de MADELUNG

### 3. Cas du chlorure de sodium (2 p.30)

- a. Méthode d'EVJEN

Traduit l'écrantage et la portée infinie de l'interaction électromagnétique

- b. Module de compression isotherme
- c. Energie de cohésion par molécule

Transition : l'écart s'explique par le fait d'avoir négligé d'autres

interactions que nous allons présenter

## II. Cristaux covalents

Cristal = grosse molécule  $\Rightarrow$  LP précédente

### 1. Liaison (forte) covalente : molécule $H_2^+$

- a. Etats liants et antiliants
- b. Diagramme des OM
- c. Stabilisation par délocalisation : intégrale d'échange

Allure du puits. Invoquer HEISENBERG.  $\Rightarrow$  Pas de  $He_2$ , de  $Ne_2$ ...

### 2. Généralisation : théorie des bandes (7 p.139, 5 p.116)

Transition : une théorie qui modélise aussi les métaux

## III. Cristaux métalliques (2 p.36, 1 p.486)

### 1. Modèle de la gelée

### 2. Cohésion métallique

- a. Energie électrostatique d'un atome
- b. Energie de cohésion par atome et rayon de WIGNER-SEITZ

### c. Ecart à la valeur expérimentale

### 3. Module de compression (1 p.45)

Transition : symétries d'ordre 5 observées par diffraction de BRAGG (2 p.22)  $\Rightarrow$  quasi-cristaux

## IV. Cristaux moléculaires et liquides

### 1. Interactions (faibles) en jeu (3 p.74)

- a. Polarisabilité et interaction de DEBYE (2 p.27)
- b. Généralisation : interactions de VAN DER WAALS
- c. Liaisons H

### 2. Cristaux moléculaires de gaz rares (2 p.25)

- a. Potentiel de LENNARD-JONES

Interactions entre dipôles + répulsion

b. Energie de liaison

c. Corrections quantiques : cas du néon et de l'hélium

Energie cinétique du point zéro (= HEISENBERG)

3. Liquides (6 chap.22, 2 p.22)

## Conclusion

### **Bibliographie :**

1. Ashcroft
2. Benayoun
3. HPrépa PCSI 2
4. Kittel
5. Perez
6. Sivardière
7. Teyssier

### **Remarques :**

- Liquides : compacts et désordonnés  $\neq$  cristaux solides : compacts

et ordonnés

- Pour les cristaux ioniques, on a choisi le potentiel de BORN-MAYER. Ce n'est pas le seul choix possible
- Pour les métaux, l'énergie cinétique vient du modèle de SOMMERFELD ( $\neq$  de DRUDE) des métaux. Admettre son expression
- Pour les métaux, le Ashcroft propose de travailler avec le rayon  $r_S$ , le rayon de WIGNER-SEITZ, correspondant au volume par électron de conduction. Et la maille de WIGNER-SEITZ colle comme par hasard !
- Pour les cristaux moléculaires, la nécessité d'une correction quantique se fait d'autant plus sentir que l'atome considéré est léger car  $E_c \propto \frac{1}{m}$
- Pour ce qui est des liquides : on y observe des symétries statistiques (car  $T \neq 0K$ ) continues (donc ordre 5 moyen possible, contrairement aux solides). Association de 20 tétraèdres donne un dodécaèdre à faces pentagonales, mais ces derniers ne peuvent pas paver l'espace !  $\Rightarrow$  ordre local, mais pas global
- Piocher dans le Ashcroft chap.20 les données nécessaires

# XLIX. LP49 : Chaîne unidimensionnelle infinie d'oscillateurs harmoniques - Approximation des milieux continus

Binôme : **Ivan**

Date de passage : 27/01/11

Correcteur : Z

**Intro** On axera l'étude au cas d'ondes longitudinales dans un solide isotrope (Physique du solide); mais ce qui est fait ici sera tout à fait reproductible à d'autres situations (câble coaxial d'impédance adaptée, ie égale à la caractéristique, en bout de ligne)

## I. Chaîne unidimensionnelle infinie d'oscillateurs harmoniques

### 1. Modélisation

a. Liaisons dans un cristal (1 p.11)

CL périodiques et cristal  $\infty$  pour effacer les effets de bord

b. Approximation de l'interaction élastique (7 p.90, 2 p.162)

Force de rappel autour de l'équilibre

c. Chaîne d'oscillateurs

### 2. Equations du mouvement

a. Cas de 2 oscillateurs : découplage des variables (4 p.7, Cohen I. p.577)

Coordonnées normales. Sinus = base des solutions (par FOURIER)

b. Equation dans le cas général (TP PhyTEM 1<sup>ère</sup> année)

Résoudre  $\equiv$  diagonaliser la matrice (de dimension infinie)

### 3. Résolution

a. Recherche de solutions OPPH

b. Relation de dispersion

c. PZB (5 p.91, 2 p.157)

$\leq$  périodicité et discrétisation

d. Fréquence de coupure

Onde stationnaire évanescence

### 4. Vitesses de phase et de groupe

a. Vitesse de phase (4 p.184)

b. Vitesse de groupe (4 p.195)

c. Cas limites (2 p.159, 5 p.91)

Zone non dispersive et ondes stationnaires en bordure de PZB

### 5. Cas particuliers

a. Interactions à longue portée : les métaux (5 p.92)

Constante d'interaction avec le p-ième plan réticulaire

b. Chaîne d'oh finie : modes propres (4 p.19)

c. Chaîne d'oh avec 2 atomes par maille (5 p.93, 7 p.90, 1 p.62)

Branches optique et acoustique

## II. Approximation des milieux continus

### 1. Enoncé

Mq correspond à N grand et limitation aux 1<sup>ers</sup> modes propres (zone centrale dans la courbe de dispersion)

### 2. Equation de D'ALEMBERT

a. Par interpolation de l'équation discrète (8 p.622, 4 p.21)

b. Par obtention directe : loi de HOOKE (2 p.167, 3 p.146)

c. Relations entre grandeurs macroscopiques et microscopiques

### 3. Aspect énergétique (2 p.168)

### 4. Elasticité des solides isotropes (2 p.166)

a. Coefficient de POISSON

b. Ondes de compression et de cisaillement

c. Sismologie (6 p.55, p.116)

Dilatation, équation fondamentale, coefficients de LAMÉ, ondes P (compression) et S (cisaillement), théorie des rais et structure interne de la Terre

**Conclusion** Idem au cas d'une infinité d'oscillateurs couplés dans la corde de MELDE. La MQ permet d'étudier quantitativement les phonons, dont l'énergie est maintenant quantifiée, par leur diffusion inélastique de neutrons (5 p.98). En outre, modes de propagation longitudinaux et transversaux dans un solide en MP

**Bibliographie :**

1. Benayoun
2. FR Méca flu'
3. Garing Ondes mécaniques
4. HPrépa

5. Kittel
6. Montagner Sismologie
7. Puissance Prépa
8. Tec PC

**Remarques :**

- Attention ! La célérité tirée de la loi de HOOKE est celle dans une tige ! Celle dans un solide dont les dimensions latérales ne sont pas négligeables est sensiblement différente (loi de POISSON)
- Etude détaillée des ondes élastiques dans les cristaux cubiques avec les 2 modes de propagation transversaux et le mode de propagation longitudinal (Kittel p.78)

# L. LP50 : Capacités thermiques : description, interprétations microscopiques

Binôme : **Joris**

Date de passage : 19/11/10

Correcteur :

**Intro** Coefficients de réponse traduisent la façon dont un système réagit à des conditions extérieures imposées. Parce que l'entropie ne dépend que de  $n$  variables primitives (3 en général), tous peuvent s'exprimer en fonction de  $n$  coefficients de réponse seulement dont, parfois, la capacité thermique (DGLR Thermo p.263). Avec la chaleur latente, la capacité thermique rend possible l'étude expérimentale des transferts thermiques. Rappels : ensemble canonique, loi de distribution de MAXWELL-BOLTZMANN

## I. Généralités

Mesure de  $C_V$  (DGLR Thermo p.86) et relation de MAYERS (3 p.753)

Illustration sur l'exemple d'un système à 2 niveaux

### 1. Définitions (1 p.14, 4 p.78)

#### a. Approche théorique

En fonction de  $S$  puis  $U$  et  $H$

#### b. Approche expérimentale

Avec des mots puis  $F$  et  $G$

#### c. Condition de stabilité (4 p.195)

$C_V > 0$

### 2. Postulat de NERNST-PLANCK

#### a. Enoncé (3 p.500)

#### b. Comportement des capacités thermiques quand

$T \rightarrow 0K$  (5 p.343)

$C_V \rightarrow 0$ , et plus vite que  $T$ !

#### 3. Système à 2 niveaux en canonique : cristal paramagnétique

parfait (Couture p.52, (3 p.309))

Montrer comment décrire le comportement des capacités ther-

miques d'un système à partir de la promotion énergétique de ses constituants

#### a. Loi de répartition

#### b. Température critique

#### c. Capacité thermique

## II. Capacité thermique des gaz non dégénérés

### 1. Traitement classique

#### a. Validité (3 p.303)

b. Théorème de l'équipartition de l'énergie (2 p.56, 3 p.305 pour la démo)

### 2. GP... (5 p.51)

Calculer les  $T$  de gel

#### a. ... monoatomique : ddl de translation (3 p.297)

#### b. ... diatomique rigide : ddl de rotation (3 p.334)

#### c. ... diatomique non rigide : ddl de vibration (3 p.339)

### 3. Validité des traitements classiques (3 p.347)

Transition : application naïve aux solides avec le modèle de DULONG-PETIT => faux (5 p.54)

## III. Capacité thermique des solides (3 p.378)

### 1. Modèle d'EINSTEIN : oh quantique indépendants (1907)

#### a. Un modèle quantique

Oh indépendant, tous à la pulsation d'EINSTEIN

#### b. Capacité thermique

### 2. Modèle de DEBYE : contribution des phonons (1912)

#### a. Capacité thermique brute

#### b. Densité de modes normaux

#### c. Approximation de DEBYE

Invoquer la linéarisation au centre de la relation de dispersion dans la PZB (celle en forme de  $c \dots l$ ) ie l'approximation des mi-



lieux continus

d. Capacité thermique explicitée

**Conclusion** La mesure de la densité de modes normaux se fait ; la contribution des électrons de conduction dans les métaux est non négligeable à basse T

**Bibliographie :**

1. Choimet
2. Couture
3. DGLR Stat'
4. DGLR Thermo
5. Perez

**Remarques :**

- En prérequis : Physique statistique, coefficients de réponse (dont calorimétriques), relations de REECH (DGLR Thermo p.251) et de MAYER (DGLR Stat' p.753), Physique de solide (mode de vibrations collectifs = phonons, acoustiques (faibles  $\omega$ ) ou optiques (grands  $\omega$ ))
- Capacités thermiques sont extensives, pas les chaleurs latentes
- Les capacités thermiques à elles seules ne peuvent pas prétendre contenir toute l'information. En effet, leur définition part de  $S(T, \underline{V})$  et  $S(T, \underline{P})$  qui ne correspondent pas à la fonction caractéristique de l'équilibre thermodynamique,  $S(U, V)$ . Une autre façon de le voir est d'écrire les différentielles de  $S(T, V)$  et  $S(T, P)$  ; apparaissent alors 2 autres coefficients calorimétriques dont la connaissance est indispensable (il en faut au moins 3 en tout ; 2 suffiraient si  $S(T, V)$  ou  $S(T, P)$  étaient des fonctions caractéris-

tiques)

- Postulat de NERNST-PLANCK = 3<sup>ème</sup> principe
- Le I. 3. doit mettre en évidence que si l'écart énergétique entre 2 niveaux est grand, une légère augmentation de température ne suffit pas à augmenter l'énergie (car niveaux quantifiés) => capacité thermique nulle
- Pour appliquer la statistique de MAXWELL-BOLTZMANN, il ne suffit pas que toutes les grandeurs du problème homogènes à  $\hbar$  soient très grandes devant lui (par exemple,  $\gg \hbar$  pour un oh). Par exemple, cette condition est remplie par le gaz d'électrons de conduction alors que celui-ci doit être traité de façon quantique. Il convient aussi, pour que l'approximation soit valable, que la température soit grande devant celle de FERMI ( $T_F=10^4$ K pour les électrons de conduction => pas de traitement classique possible) : c'est la condition de non-dégénérescence (DGLR Stat' p.792). Plutôt que d'invoquer la température de FERMI, il semblerait qu'il soit équivalent de raisonner à partir de la longueur d'onde de DE BROGLIE pour juger de la dégénérescence ou non d'un gaz (DGLR Stat' p.48)
- Le théorème de l'équipartition de l'énergie stipule que chaque terme quadratique contribue, pas chaque ddl (=> oh à 1ddl compte pour 2) !
- La fonction de partition est factorisable dès lors que les particules sont indépendantes et identiques, bien que discernables (ex : particules aux noeuds d'un réseau) (DGLR Stat' p.287)
- La branche optique est exclue de facto par l'approximation de DEBYE
- Pour les liquides : densité de paires et fonction de corrélation de paires (Le Bellac Thermodynamique statistique p.133)

# LI. LP51 : Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen

Binôme : Léa

Date de passage : 27/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Caractère fondamentalement quantique du magnétisme : théorème de VAN LEEUWEN (3 p.327). Rappels sur les milieux aimantés (3 p.309)

## I. Moments magnétiques microscopiques

1. Moment magnétique orbital atomique (2 p.843)

a. Analogie classique : spire de courant

b. Résultat quantique : rapport gyromagnétique de

l'électron

c. Quantification

2. Moment magnétique de spin (= intrinsèque)

Ceux des nucléons seront négligés

3. Moment magnétique total

Facteur de LANDE à parachuter

## II. Paramagnétisme (1 puis 3)

1. Modélisation de BRILLOUIN (1927) (1 p.769)

a. Hypothèses

Canonique + approximation des électrons indépendants + on néglige moments de spin et quantités de mouvement nucléaires ( $m_e \ll m_p$ ) ainsi que le couplage  $\vec{S} - \vec{L}$  devant celui  $\vec{S} - \vec{B}$

b. Coordonnées généralisées : impulsion

c. Couplage  $\vec{S} - \vec{B}$

d. Hamiltonien complet du système

Termes en  $\vec{J}$ , perturbatif et géométrique

e. Estimation des différents termes

f. Hamiltonien simplifié (3 p.311)

2. Etude statistique (3 p.312)

a. Fonction de partition et énergie libre

b. Aimantation et susceptibilité magnétique

c. Approximation classique - Loi de CURIE (1895)

d. Energie et entropie magnétiques : refroidissement

par désaimantation adiabatique (3 p.183, p.317, 1 p.786)

Limites de la descente en température

Transition : mais l'alliage d'HEUSLER ( $\text{Cu}_2\text{MnAl}$ ) reste aimanté (dans le sens du champ), même en l'absence d'un champ extérieur, alors qu'aucun des 3 pris séparément ne possède cette propriété! (5 p.96)

## III. Ferromagnétisme (3)

L'hypothèse des électrons indépendants n'est plus valable

Odg : interactions dipolaires entre moments magnétiques (3 p.450, 4 p.495)

1. Hamiltonien de spin de HEISENBERG (5 p.307)

a. Etats de spin singulet (A.S.) et triplets (S.)

Principe de PAULI

b. Levée de dégénérescence : l'intégrale d'échange

Etats propres de l'hamiltonien

c. Expression de l'hamiltonien de spin

2. Approximation de champ moyen

a. Champ moléculaire de WEISS

b. Enoncé en termes de corrélation

$$\langle \vec{S}_i \vec{S}_j \rangle \sim \langle \vec{S}_i \rangle \langle \vec{S}_j \rangle$$

c. Equation d'auto-cohérence pour l'aimantation

3. Transition ferro/para en champ nul

a. Température critique (4 p.501)

Pondère la part de l'agitation thermique et de l'intégrale d'échange :  $k_B T_c \approx J$

b. Aimantation

c. Energie et capacité calorifique : transition d'ordre 2

d. Comparaison avec les résultats expérimentaux :  
comportement autour de  $T_c$   
Exposants (de LANDAU ?)

**Conclusion** Mise en évidence d'une brisure de symétrie inattendue, juste en tenant compte d'un terme supplémentaire. Reste à valider la pertinence avec l'observation des propriétés macroscopiques (domaines de WEISS)

### Bibliographie :

1. Ashcroft
2. Cohen
3. DGLR Physique statistique
4. Perez Electromag'
5. Du Trémolet Magnétisme I.

### Remarques :

- La différence essentielle entre para et ferromagnétisme réside dans la corrélation entre spins électroniques : dans le 1<sup>er</sup> cas, on peut négliger l'hamiltonien de spin de HEISENBERG (Ashcroft p.811)  $H_{spin} = -J\vec{S}_1\vec{S}_2$
- En prérequis : Physique statistique (systèmes à 2 niveaux), milieux magnétiques, l'atome d'hydrogène en MQ (ie pb à 2 charges + méthode perturbative qui lève la dégénérescence entre états singulet et triplets)
- Pour l'origine du facteur de LANDÉ, voir le théorème de WIGNER-ECKART (Cohen p.1045)
- Le ferromagnétisme, contrairement aux 2 autres, n'existe que dans les phases condensées
- Attention ! Prendre garde à bien différencier la température, dite "ferro", au-delà de laquelle un ferro est para et celle légèrement supérieure, dite "paramagnétique", qui intervient dans la loi de CURIE-WEISS. Mais pourquoi un tel écart????

- Théorème de VAN LEEUWEN (1911) (DGLR p.327) pour mq, sans MQ, para+dia=0 à l'équilibre
- Paramagnétisme de PAULI : contribution des électrons de conduction dans les métaux (Ashcroft, DGLR)
- Ferromagnétisme : introduire l'hamiltonien de spin après avoir mq l'interaction dipolaire entre moments magnétiques est insuffisante pour expliquer l'existence d'une aimantation non nulle en champ nul (Perez p.495, DGLR Stat' p.450). On introduit ensuite l'hamiltonien de spin par une étude succincte de l'hamiltonien d'interaction coulombienne entre 2 électrons et par l'introduction de l'intégrale d'échange (DGLR Stat' p.451, Ashcroft p.806). On met alors en échec du même coup l'hypothèse des électrons indépendants à laquelle on substituera avantageusement celle du champ moyen de WEISS. On a donc mq l'intégrale d'échange était à l'origine du hamiltonien de spin, mais son expression dans le cas général reste une extrapolation aux plus proches voisins (puis au matériau tout entier après l'approximation de champ moyen). La loi de CURIE-WEISS permet de résumer cette approche : un paramagnétique, c'est un ferromagnétique de température de CURIE très basse. Noter tout de même qu'on a une brisure de symétrie lors de la transition para/ferro ; en ferro, on a toujours une aimantation non nulle en champ nul alors qu'en para, on a rien du tout. La température de CURIE permet ainsi de séparer 2 régimes : l'un, ferro, où il existe un état d'équilibre thermodynamique stable qui admet une aimantation non nulle et l'autre, para, tel que l'équilibre stable correspond à une aimantation nulle. On peut alors formuler, a posteriori, une condition qui incite à traiter un problème dans le cadre des électrons indépendants ou non. Pour cela, on remarque qu'un matériau est "d'autant plus paramagnétique" (expression à prendre avec des pincettes car il y a tout de même une véritable brisure de symétrie entre les 2 ; le champ de WEISS n'est, par exemple, même pas défini pour un para!) que le champ de WEISS,  $\lambda\vec{M}$ , est négligeable devant le champ magnétique appliqué. En approximant  $\vec{M}$  par sa solution à basse

température (DGLR Stat' p.456),  $M_\infty$ , on est amené à comparer la valeur hypothétique de  $\lambda M$  à celle du champ appliqué. On s'aperçoit ainsi que l'on est d'autant plus para (ie que le modèle des électrons indépendants est d'autant plus valable) que le nombre de plus proches voisins ou que l'intégrale d'échange

est faible. Attention, ceci reste une condition qualitative dont la vocation est plus pédagogique que prédictive. N.B. : De façon plus rigoureuse, il suffit en fait de regarder l'expression de la température de CURIE pour s'en rendre compte (Perez p.507)

# LII. LP52 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques - Applications

Binôme : **Ivan**

Date de passage : 29/11/10

Correcteur : Z

**Intro** XP : introduction d'un ferro dans l'entrefer d'une bobine (3 p.488). Milieux "intenses magnétiquement" donc viables d'un point de vue industriel

## I. Description phénoménologique des milieux ferromagnétiques

### 1. Courbe de 1<sup>ère</sup> aimantation

a. Approximation des circuits magnétiques (5 p.53, 2 p.388)

Géométrie torique. Confinement des lignes de champ (exo 4 p.513 : réfraction des lignes de champ) et colinéarité (=> AMPÈRE)

### b. Visualisation

XP : avec un fluxmètre (3 p.490, 2 p.389)

### c. Commentaires (3 p.491)

Aimantation à saturation

### d. Perméabilité magnétique

2. Dépendance en température : loi de CURIE-WEISS (1 p.457)

XP : transition ferro/para

### 3. Domaines de WEISS (3 p.497)

XP : observation. Visualisation de l'hystérésis

### 4. Cycle d'hystérésis (3, 2)

S'appuyer sur les domaines de WEISS

### a. Visualisation en (H,B)

XP : visualisation du cycle d'hystérésis (4 p.506)

### b. Cycle en (H,M)

Aimantation rémanente et champ d'excitation coercitif

### c. Désaimantation

### d. Aspects énergétiques (4 p.494)

Pertes par courants de FOUCAULT (car matériaux magnétiques sont conducteurs) ( $\propto i^2 \propto f^2$ ) et par hystérésis (parois des domaines de WEISS qui raccrochent) ( $\propto f$ ). Minimisation  
e. Ferromagnétiques durs et doux

## II. Applications

### 1. Composants technologiques

#### a. Cadre de l'étude : approximation LHI

OK pour doux

#### b. Relation d'HOPKINSON (3 p.502)

Réductance

#### c. Inductance d'un solénoïde à noyau de fer doux (3)

#### d. Électro-aimant (3)

#### e. Aimant permanent (3)

#### f. Miniaturisation (6 p.31)

Etablir les 2 champs d'excitation

2. Application à la conversion électromagnétique statique de puissance : le transformateur (4, 2 plus rigoureux)

#### a. Description

#### b. Modèle du transformateur parfait (2)

#### c. Mise en équations

Rapport de transformation en tension, en courant, rendement, transformation d'impédance

#### d. Modèle linéaire du transformateur

#### e. Transformateur d'isolement (4)

**Conclusion** Transfo' réel en montage. Paléomagnétisme avec étude de l'aimantation des basaltes qui refroidissent au niveau des dorsales ( $T_{curie}$  !) => dérive des continents et renversement du champ terrestre (6 p.397)

## **Bibliographie :**

1. DGLR Physique statistique

2. FR
3. Perez
4. Tec et Doc PSI
5. Du Trémolet Magnétisme I.
6. Du Trémolet Magnétisme II.

**Remarques :**

- Pertes par hystérésis et courants de FOUCAULT sont intimement liées car quand la paroi décroche soudainement d'une impureté (hystérésis), on a un grand flux de  $\vec{B}$  donc, des courants de FOUCAULT

# LIII. LP53 : Mécanismes de la conduction électrique - Loi d'OHM - Effet HALL - Applications

Binôme : **Anais**

Date de passage : 14/01/11

Correcteur : DELPORTE

**Intro** Différents types de courants électriques (3 p.107). On se concentre sur la conduction, tout d'abord dans les métaux

## I. Conduction électrique dans les métaux

1. Hypothèses du modèle de DRÜDE : théorie cinétique du gaz d'électrons libres (1 p.4)

a. Electrons libres et indépendants

Distribution de MAXWELL-BOLTZMANN (livre de thermo ?)

b. Collisions de sphères dures

Isotropes, à taux constant, thermalisent

2. Etude des collisions (3 p.111)

a. Dérive et libre parcours moyens

On mq : "temps de relaxation = temps moyen entre 2 collisions"

b. Loi d'OHM locale

Hypothèses (non-localité de l'espace et du temps, isotropie, ETL,  $\vec{E} \ll E_{atome}$ ) (3 p.115)

c. Etablissement d'un terme dissipatif phénoménologique dans le PFD (1 p.12)

3. Conductivité d'un métal

a. En régime permanent (1 p.7)

Odg (on connaît  $n_e$  et  $\gamma$  par HALL)

b. En régime variable (1 p.18)

Limite en fréquence :  $f \ll \frac{1}{\tau}$  (3 p.115)

## II. Effet HALL simple

1. Modélisation (3 p.233)

Géométrie de HALL, champ statique uniforme, régime permanent

2. Effet HALL (1 p.15)

a. PFD

b. Constante de HALL

c. Loi d'OHM généralisée (Mauras p.147)

## 3. Applications

a. Mesure de la mobilité (4)

Via conductivité (par loi d'OHM) et nombre de porteurs de charges (par effet HALL)

b. Sonde de HALL (3 p.234)

c. Générateur magnétohydrodynamique (2 p.304)

## III. Au-delà du modèle de DRÜDE et des métaux

1. Limites du modèle (1 p.65)

a. Signe de la constante de HALL

XP : inversion sur un semi-cond => plus d'un type de porteur

b. Dépendance en température de la conductivité électrique en régime permanent

c. Libre parcours moyen (3 p.116)

2. Théorie des bandes (4 p.139, 3 p.116)

a. Probabilité d'occupation et distribution des niveaux d'énergie

ie FERMI-DIRAC et densité d'états

b. Bandes

Interdite, de valence, de conduction

c. Distinction entre métaux, isolants et semi-conducteurs

d. Niveaux stationnaires de vitesse moyenne constante! (1 p.167)

=> DRÜDE's dead

**Conclusion** Prix NOBEL pour la magnétorésistance

**Bibliographie :**

1. Ascroft
2. Lorrain
3. Perez
4. Teyssier (édition du BFR)

**Remarques :**

- En prérequis : éléments de théorie des probabilités et notion sur les outils permettant de traiter la conduction électrique (vecteur densité de courant, loi d'OHM intégrale, ...)



# LIV. LP54 : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la Physique

Binôme : Cécile

Date de passage : 28/04/11

Correcteur : DELPORTE

**Intro** Rappels sur la résonance en méca et en élec' (6 p.143).  
 $Q = \frac{\text{Stocké}}{\text{Dissipé}}$  (4 p.82) mais peut aussi s'interpréter en termes de décroissement logarithmique (6 p.145). On travaillera toujours à grand Q

## I. Résonance optique

1. Expérience de WOOD (1904) (1 p.168, 5 p.169)
  - a. Réalisation
  - b. Observations
2. Diffusion d'un rayonnement par un électron atomique (6 p.382)
  - a. Principe et modélisation (5)  
Electron élastiquement lié
  - b. Puissance diffusée  
Section efficace
  - c. Différents régimes de diffusion  
Diffusions RAYLEIGH, THOMSON et surtout, résonnante
  - d. Facteur de qualité  
Interprétation aussi en termes énergétiques. XP : mesure de la puissance réémise (cf rqs)
3. Origine de la fréquence de résonance : modèle de BOHR (3 p.801, 2 p.415, 1 p.158)

## II. Cavité résonante de FABRY-PEROT

$\infty$  de ddl

1. Résonance dans la cavité (4 p.65, 6 p.373)
  - a. Principe
  - b. Intensité transmise
  - c. Sélection en fréquence et ISL
2. Stabilité des résonateurs avec miroirs sphériques (4 p.69)

Attention à la valeur absolue !

- a. Matrice de transfert (6)
  - b. Stabilité d'un système périodique
  - c. Critère de stabilité d'un résonateur
3. Modes propres gaussiens (4 p.74)
    - a. Intérêt
    - b. Phase des modes d'HERMITE-GAUSS
    - c. Condition d'interférences constructives
    - d. Fréquences propres de cavité
  4. Pertes dans un résonateur ouvert (4 p.80)
    - a. Sources de pertes
    - b. Coefficient de qualité
    - c. Finesse de la cavité

## III. Résonance magnétique nucléaire (LP23)

**Conclusion** FABRY-PEROT  $\equiv$  barrière de potentiel  $\Rightarrow$  résonance de diffusion (3 p.73). Couplages  $\Rightarrow$  modification des fréquences de résonance (ex : RLC couplés)

## **Bibliographie :**

1. Aslangul
2. Basdevant
3. Cohen
4. Dangoisse
5. HPrépa
6. Perez

## **Remarques :**

- Leçon de L3
- Détailler les transferts énergétiques entre excitateur et système oscillant. Définition énergétique de Q ? Insister sur la définition universelle du facteur de qualité relativement à l'énergie dissipée

- Les équations du I. sont en tout point semblables à celles du RLC ou du résonateur méca => entrée en la matière judicieuse
- Réflexion spéculaire : si la densité des atomes dans la vapeur de sodium est trop grande, la lumière est totalement diffusée dès son entrée. Il nous semble alors que c'est la paroi elle-même qui réfléchisse la Lumière dans toutes les directions
- Pour la résonance optique, un calcul de la lorentzienne à 1/2 hauteur donne un facteur de qualité à  $10^7$  => sexy
- Une lampe à vapeur de Sodium standard balance du 100W. Supposons que tout soit absorbé. Puisque  $Q = \frac{Stocké}{Dissipé} \sim 10^7$ , on doit trouver une puissance dissipée au luxmètre d'environ 1mW : à vérifier
- On traite ici la résonance optique à la façon de la théorie quantique phénoménologique

- A checker : les histoires de non polarisation de la composante transversale au moment de la résonance optique. Douteux
- La résonance optique est un cas particulier de fluorescence (ie émission spontanée  $10^{-8}$  à  $10^{-12}$  secondes après l'absorption,  $\neq$  phosphorescence, plus lente car passage par un état intermédiaire) : en fluorescence, la  $\lambda$  de la lumière réémise est plus grande (ex : lumière noire)
- Ça marche avec du sodium et pas avec du mercure car, à température ambiante, il faut que le niveau de départ soit suffisamment peuplé ie soit le fondamental
- En Intro, rappeler la définition de Q en termes de décrement logarithmique ! Ce qui fera 3 définitions différentes pour le facteur de qualité

# LV. LP55 : Exemples d'effets de non linéarité sur le comportement d'un oscillateur

Binôme : **Florian**

Date de passage : 16/12/10

Correcteur : Z

**Intro** On a vu lors de la LP que l'équation de SINE-GORDON, bien qu'admettant des solutions explicites (les solitons), était NL.  $\neq$  types de NL : hystérésis (aimantation), à seuil (frottements solides et stick-slip, diodes), à saturation (AO)

## I. Oscillations libres

1. Un oscillateur anharmonique : le pendule simple (2)

a. Régime linéaire : isochronisme des petites oscillations

Expression exacte de T

b. Portrait de phase (exo FR ou méthode des isoclines?)

c. Résolution par la méthode des petites perturbations  
Formule de BORDA et apparition d'harmoniques. Citer l'optique (8)

d. (Cas d'isochronisme NL : le pendule sur une cycloïde de HUYGENS (Où?))

2. Dilatation thermique dans les solides (4 p.117)

Prendre en compte des ordres supplémentaires permet aussi de voir apparaître de nouveaux phénomènes!

## II. Oscillations forcées

1. Oscillateur amorti par frottements solides : hystérésis (2)

Hystérésis d'approche liés aux pointes (STM, tension de surface)

2. Non-linéarités et résonance (6 p.200, 8?)

Différence de fréquences par le tympan

3. (Bifurcations et transition vers le chaos (BUP))

XP : le bifurcateur

## III. Oscillations auto-entretenues

1. Multivibrateur astable (3 p.229)

a. Principe

b. Montage à résistance négative

c. Caractéristique  $v=f(i)$  (9)

2. Equation de VAN DER POOL (9)

a. Expression canonique

b. Seuil et diagramme de bifurcation

Approche énergétique. Cycle limite attracteur (POINCARÉ-BENDIXON)

c. Amplitude des oscillations

3. Etude en régime peu non-linéaire ( $\epsilon \ll 1$ ) (9)

a. Démarrage des oscillations (2)

b. Diagramme de phase

4. Etude en régime fortement non-linéaire ( $\epsilon \gg 1$ ) (9)

a. Diagramme de phase

Commentaires

b. Période

5. Méthodes numériques (2)

## IV. Oscillateur mixte : modèle proie-prédateur de LOTKA-VOLTERRA (7 p.63)

Passer vite

1. Description

2. Régime "oscillateur anharmonique"

Autour du point stable (1,1)

3. Régime "oscillateur par relaxation"

f 1<sup>ère</sup> remarque. XP : bac d'eau "pile ou face"

**Conclusion** Une toute nouvelle Physique s'offre à nous! Mais le numérique est-il vraiment la voie à suivre?...

**Bibliographie :**

1. FR Méca flu'
2. FR Méca I.
3. FR Electro
4. Kittel
5. (Landau Méca)
6. Mathieu Vibration I. Oscillateurs
7. Murray Mathematical Biology
8. Perez
9. Portelli La Physique par la pratique

**Remarques :**

- Le pendule simple n'est plus un oscillateur anharmonique mais devient un oscillateur à relaxation dans le cas théorique où  $\theta_0 = \pi$  ; il passe alors la majorité de son temps autour de cette position d'équilibre instable avant de retomber soudainement pour passer de l'autre côté
- Problème : le modèle de LOTKA-VOLTERRA est à la fois un oscillateur auto-entretenu (si on considère les 2 populations comme un tout) et un oscillateur forcé (car c'est la population d'une espèce qui fait varier celle d'en face)
- La différence fondamentale entre les oscillateurs libres et ceux de type VAN DER POOL : les seconds ont un cycle limite (et donc une période) indépendant des CI. Ce n'est pas le cas du pendule simple (cf formule de BORDA)

# LVI. LP56 : Illustration de l'intérêt de la notion de symétrie dans différents domaines de la Physique

Binôme : **Julien B.**

Date de passage : 26/04/11

Correcteur : ?

**Intro** Une 2<sup>ème</sup> forme de pensée s'est ouverte à la Science au siècle dernier. Découverte mathématiquement par Evariste GALOIS, la pensée formelle et structuraliste s'est avérée une piste complémentaire à celle de la pensée constructiviste et ce dans tous les domaines de la Physique et des Sciences (y compris humaines → Claude LEVI-STRAUSS). Prérequis

## I. Notion de symétrie

Passer vite

### 1. Définition

- a. Transformation (5 chap.5)
- b. Symétries spatiales (5 chap.31)

Ainsi,  $\vec{E} \parallel$  et  $\vec{B} \perp$  aux plans de symétries

- c. Déplacements et retournements (5 chap.6)

L'un conserve la chiralité, l'autre l'inverse

### 2. Principe de CURIE

- a. Enoncé (5 chap.33)

Valable ssi  $\exists!$  solution et transformations discrètes

b. Application en électromagnétisme : quadrupôle électrique (5 chap.34)

Lignes de champ de  $\vec{E}$

- c. Application en mécanique (1 p.146)

## II. Symétries des lois et des interactions

### 1. Invariance d'échelle (5 chap.46)

- a. Grandeurs pertinentes et réduites
- b. Théorème II de CARVALLO-VASCHY

"Les lois de la Physique sont invariantes par changement du système d'unités"

- c. Loi de similitude (2)

Maquettes, facteur d'échelle et nombre de FROUDE

### 2. Symétries continues et lois de conservation (5 chap.45)

- a. Théorème de NOETHER
- b. Exemple : conservation du moment cinétique
- c. Diffusion de RUTHERFORD

Conservation de  $\vec{L}$  et E (attention à la Thermodynamique quand on invoque l'invariance par renversement du temps!), pas de  $\vec{p}$

- d. Adaptation à la MQ (3 p.263)

Via le théorème d'ERHENFEST

3. Covariance relativiste : groupe des transformations spéciales de LORENTZ-POINCARÉ (4 chap.6)

- a. Principe de relativité : covariance
- b. Homogénéité de l'espace-temps
- c. Isotropie de l'espace
- d. Structure de groupe
- e. Causalité et vitesse limite

Phrase du Lochak en conclusion

## III. Brisures de symétrie

### 1. Bifurcateur

- a. Présentation
- b. Analyse dimensionnelle
- c. Diagramme de bifurcation

### 2. Principe de CURIE généralisé (5 chap.40)

Régimes laminaire / turbulent, théorie de LANDAU des transitions de phase

**Conclusion** Le postulat de symétrisation en MQ ( $\{N \text{ bosons}\}$  symétrique par permutation) (3 p.551); NOETHER en Physique des particules; brisures de symétries en transition de phase et approche universaliste de LANDAU; symétries du groupe  $SO(3)$  (groupe des rotations) en MQ, d'algèbre de LIE identique à celle de  $SU(2)$  (mx de PAULI)  $\Rightarrow$  le spin  $\frac{1}{2}$  est un moment angulaire qui obéit à certaines relations de commutation et, par le théorème de WIGNER, sera proportionnel à un moment magnétique  $\Rightarrow$  LP51 proprement, enfin! (3 p.551)

### Bibliographie :

1. Desmond Méca fonda I.
2. HPrépa
3. Le Bellac MQ
4. Semay Relativité restreinte
5. Sivardière

### Remarques :

- En prérequis (rappelés en Intro), un cours sur la description des grandeurs physiques : grandeurs polaires et axiales (dépendance vis-à-vis de l'orientation de l'espace, 2<sup>ème</sup> homogénéité...) (5 p.47) et systèmes d'unités (1<sup>ère</sup> homogénéité, notation de MAXWELL...). On ajoute à cela une bonne connaissance des transformations usuelles (miroir, translation, rotation, inversion) et la notion de chiralité
- Une symétrie doit être considérée comme une transformation qui, relativement à un objet mathématique (par exemple un vecteur) donné, laisse cet objet invariant par cette transformation
- Réflexion passionnante sur les groupes, et qui aboutit à la relation de DE BROGLIE à partir de celle de PLANCK (!) dans le Lochak La géométrisation de la Physique p.187. "Si 2 gran-

deurs physiques sont égales ou proportionnelles pour tout observateur galiléen, il en sera de même pour les grandeurs qui leur sont liées par appartenance à un même tenseur". Métaphore des ombres des bâtons : pour s'assurer de l'égalité des longueurs entre bâtons, soit on projette leur image sur les 3 directions d'espace (méthode primitive), soit on les fait tourner (méthode covariante) ( $\Rightarrow$  méthode du cristal tournant). Dans cette métaphore, chaque ombre est une composante tensorielle et la rotation est une transformation de LORENTZ

- Principe de relativité : les lois de la Physique sont invariantes par transformation de LORENTZ (= covariantes)
- Transformations isométriques : transformations de l'espace(-temps?) qui conservent la norme (pseudo-norme du 4-vecteur espace-temps?). Elles peuvent toutes s'exprimer en fonction d'un produit de translations, de rotations et d'inversions
- Transformations conformes : transformations qui conservent les angles
- Transformations d'échelle : transformations qui conservent les rapports de longueurs
- Au-delà des grandeurs polaires et axiales, il existe aussi des grandeurs paires et impaires respectivement invariantes et covariantes (ie changent de signe) vis-à-vis du renversement du temps ( $\Rightarrow$  3<sup>ème</sup> homogénéité). Ainsi, le couple polaire / axial est lié aux symétries d'espace et le couple pair / impair, à celle de temps. Quel couple pour les symétries d'espace-temps?
- Le théorème II tient son nom du fait que II est adimensionné...
- Transition II.2. / II.3. : ce sont ces considérations esthétiques qui guident EINSTEIN lorsqu'il tente d'assurer la covariance de l'équation de MAXWELL-GAUSS. Relat' basée sur les transformations de LORENTZ que l'on va pouvoir construire à partir des symétries

# Leçons de Chimie

Ileyk EL MELLAH

1<sup>er</sup> juillet 2011

# Table des matières

I.	LC01 : Solutions électrolytiques ; mise en solution d'espèces ioniques ou moléculaires . . . . .	4
II.	LC02 : Le squelette carboné des hydrocarbures : relations structure - propriétés (nomenclature exclue) . . . . .	6
III.	LC03 : Les grandes familles de réactions en chimie organique illustrées sur l'exemple des alcools . . . . .	7
IV.	LC04 : Molécules de la santé : acides aminés et peptides . . . . .	9
V.	LC05 : Principe et applications de la spectrophotométrie . . . . .	11
VI.	LC06 : Equilibre chimique en solution aqueuse : cas des couples acido-basiques . . . . .	13
VII.	LC07 : Indicateurs colorés acido-basiques : étude, choix pour un dosage acide-base . . . . .	15
VIII.	LC08 : Cinétique de réaction (catalyse exclue) . . . . .	17
IX.	LC09 : Catalyse et catalyseurs ; applications . . . . .	19
X.	LC10 : Estérification et hydrolyse des esters . . . . .	20
XI.	LC11 : Saponification des esters ; applications . . . . .	21
XII.	LC12 : Synthèse et dosage d'un composé d'usage pharmaceutique . . . . .	22
XIII.	LC13 : Piles : mise en jeu de transformations chimiques spontanées . . . . .	23
XIV.	LC14 : Electrolyses et accumulateurs : mise en jeu de transformations chimiques forcées . . . . .	24
XV.	LC15 : Etude qualitative et quantitative des espèces acido-basiques dans les liquides alimentaires et dans les liquides ménagers . . . . .	26
XVI.	LC16 : Contrôle de qualité des produits de la vie courante . . . . .	27
XVII.	LC17 : Colorants et pigments : extraction, synthèse, identification . . . . .	28
XVIII.	LC18 : Arômes et conservateurs : extraction, synthèse, dosage . . . . .	29
XIX.	LC19 : Dosages directs et indirects (L) . . . . .	30
XX.	LC20 : Etude expérimentale du caractère évolutif des propriétés physico-chimiques dans la classification périodique (CP) . . . . .	32
XXI.	LC21 : Illustrations expérimentales des relations structure - propriétés des molécules . . . . .	34
XXII.	LC22 : Cristaux ioniques : du modèle à la réalité . . . . .	36
XXIII.	LC23 : Métaux et alliages : structures . . . . .	38
XXIV.	LC24 : Enthalpie de réaction : mesures et applications . . . . .	39
XXV.	LC25 : Illustrations expérimentales et applications des réactions de complexation . . . . .	41
XXVI.	LC26 : Illustrations expérimentales et applications des réactions de précipitation . . . . .	42
XXVII.	LC27 : Principe et illustrations des dosages potentiométriques (pH-métrie exclue) . . . . .	44
XXVIII.	LC28 : Cinétique homogène : étude expérimentale . . . . .	46
XXIX.	LC29 : Mécanismes réactionnels en cinétique homogène ; illustrations . . . . .	48
XXX.	LC30 : Illustrations expérimentales et applications des lois de déplacement des équilibres . . . . .	50
XXXI.	LC31 : Mélanges binaires : équilibres liquide-vapeur ; applications (liquides non miscibles exclus) . . . . .	51
XXXII.	LC32 : Lecture et utilisation des diagrammes d'ELLINGHAM ; application à la pyrométallurgie . . . . .	53
XXXIII.	LC33 : Hydrométallurgie . . . . .	55



XXXDC34 : Applications des diagrammes potentiel-pH (construction exclue) . . . . .	57
XXXVC35 : Applications des courbes intensité-potentiel . . . . .	59
XXXVC36 : Corrosion humide et protection des métaux contre la corrosion . . . . .	60
XXXVC37 : Exemples de mécanismes en chimie organique : additions électrophiles sur la double liaison carbone-carbone. . . . .	62
XXXVC38 : Conformations et configurations ; illustrations expérimentales . . . . .	64
XXXDC39 : Macromolécules . . . . .	66

# I. LC01 : Solutions électrolytiques ; mise en solution d'espèces ioniques ou moléculaires

Binôme : **Nayélie**

Date de passage : 19/09/10

Correcteur : Z

## I. Mise en solution de solides ioniques (1, 3)

### 1. Solide ionique

a. Cristaux ioniques

b. Interactions coulombiennes

c. Propriétés physiques

### 2. Mise en solution

XP : NaCl et caractérisation (3 p.26, 2 p.225)

### 3. Solution électrolytique et électrolytes

XP : circulation d'un courant (3 p.26, 2 p.225) => NaCl électrolyte

## II. Mise en solution d'espèces moléculaires (1, 3)

### 1. Polarité d'une molécule

a. Notion d'électronégativité

b. Polarité d'une molécule diatomique

c. L'eau, un solvant polaire

XP : déviation par un bâton en ébonite électrisé par frottements

### 2. Mise en solution...

a. ... de gaz

XP : dissolution de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) dans l'eau (2 p.238). Peu de courant

XP : dissolution du HCl dans l'eau, "la fontaine" (3 p.27, 2 p.238).

Beaucoup de courant => HCl (très polaire) électrolyte

b. ... d'un liquide

XP :  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dans l'eau (1 p.40, 2 p.243). Acide dans l'eau, jamais l'inverse (effet thermique).  $\text{H}_2\text{SO}_4$  électrolyte

c. ... d'un solide

XP : glucose (2 p.225). Pas de courant

## III. Mécanismes de la dissolution d'un électrolyte

### 1. Les 3 étapes (3 p.31)

Eau ionisante et dispersante (4 p.676)

a. Dissociation

b. Solvatation

c. Dispersion

d. Cas particulier de  $\text{H}^+$

### 2. Bilan thermique (où ça?)

### 3. Saturation : notion de solubilité (3 p.32)

XP : NaCl (2 p.226)

### 4. Notion de concentration molaire... (1, 3)

a. ... en soluté apporté

b. ... effective en ions

## **Bibliographie :**

1. Bréal, 1<sup>ère</sup>

2. Le Maréchal, I.Chimie générale

3. Parisi, 1<sup>ère</sup>

4. Tec et Doc PCSI

## **Remarques :**

- Lors de la dissolution d'un composé ionique, les ions préexistent dans le solide, pas pour un composé moléculaire. Ainsi, il arrive qu'il ne se forme pas d'ions en solution (glucose, acétone), qu'il s'en forme partiellement (ammoniac) ou totalement (acide chlorhydrique). Le II. 2. montre cette différence majeure. De façon générale, il n'y a pas de lien entre la **dissolution** et l'**ionisation** (en solution ou dans le solide). Par exemple, certains composés ioniques ne se dissolvent pas ( $\text{AgCl}$ )
- Problème : comment se fait-il qu'un composé ionique fortement polarisé ne se dissolve pas nécessairement (ex :  $\text{AgCl}$ ) ? Vrai ou

faux : "c'est la polarité d'un composé moléculaire qui explique sa capacité de dissolution (= solubilité)" ? Réponse partielle : ce qui explique que  $\text{Ag}^+$  et  $\text{Cl}^-$  sont peu liés, c'est la théorie HSAB qui l'explique ( $\text{Ag}^+$  mou  $\neq$   $\text{Cl}^-$  dur)

- Problème : qu'est-ce que la théorie HSAB ?
- Penser à toujours caractériser les produits formés
- Pouvoir expliquer les choses en termes d'interaction (VAN DER WAALS)
- Les 3 étapes sont : 1. La dissociation des 2 ions (endo) 2. La

solvatation par les molécules de solvant (exo) 3. La dissipation (endo)

- Le sulfate de cuivre ( $\text{SO}_4\text{Cu}$ ) a les mêmes propriétés que le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ) en termes de dissolution (mais tests caractéristiques différents)
- Problème : comment se fait-il que l'on puisse électriser un objet (bâton d'ébonite) par frottements ?

## II. LC02 : Le squelette carboné des hydrocarbures : relations structure - propriétés (nomenclature exclue)

Binôme : **Cécile bis**

Date de passage : 15/11/10

Correcteur : Z

**Intro** Définir les molécules organiques ( $\ni$  les hydrocarbures  $\ni$  les alcanes, les alcènes...)

### I. Structures (3 chap.10)

1. Les hydrocarbures

2. Chaînes saturées et insaturées

a. Présentation

Modèles moléculaires

b. Caractérisations de la double liaison C-C (3 p.149, 5 p.36)

Rx dues à la forte densité électronique au niveau de la double liaison

3. Chaînes linéaires, ramifiées et cycliques

4. Stéréoisomérisation Z/E des alcènes (4 p.339)

E + stable que Z

XP : Z et E-but-2-ène. L'un est polaire, l'autre non (l'un bout à 1°C, l'autre à 4°C ; différence de solubilité dans l'eau ?)

### II. Propriétés physiques (1 p.174)

1. Densité

2. Solubilité

3. Température de changement d'état

Etat physique

### III. Application à la pétrochimie

1. Distillation fractionnée (1 p.176)

XP : séparation de l'hexane et du pentane (2 p.185)

2. Déshydrogénation des alcanes (3 p.169)

Styrène

3. Craquage (3 p.168)

a. Craquage thermique

b. Craquage catalytique

XP : craquage de la paraffine (3 p.164)

c. Hydrocraquage

d. Vapocraquage

4. Reformage catalytique (2 p.195)

5. Polymérisation en masse (2 p.199)

XP : polystyrène (5 p.111, 3 p.166)

**Conclusion** Mais comment faire pour ajouter des groupes fonctionnels aux hydrocarbures (car les squelettes carbonés ont des fonctionnalités proches) ?

### Bibliographie :

1. Bréal, 1<sup>ère</sup>

2. Durupthy, 1<sup>ère</sup>

3. Parisi, 1<sup>ère</sup>

4. Tec et Doc PCSI

5. Le Maréchal, II. Chimie orga'

### Remarques :

- Les alcènes ont des constantes physiques légèrement plus élevées que les alcanes car la polarisabilité du doublet  $\pi$  est plus grande et il existe un faible moment dipolaire pour les stéréoisomères asymétriques
- Indice d'octane expliqué p.627 du Perrin de Chimie industrielle

# III. LC03 : Les grandes familles de réactions en chimie organique illustrées sur l'exemple des alcools

Binôme : **Anais**

Date de passage : 18/10/10

Correcteur : Z

**Intro** On a vu comment modifier le squelette carboné. Maintenant, comment modifier leurs fonctionnalités? Urée en 1828 : 1<sup>er</sup> composé organique synthétisé => vitalistes déboutés. Définition de la classe d'un alcool

## I. Oxydation

1. Principe (2 p.214, 3 p.186, 1 p.203)

2. Oxydation ménagée (4 p.967)

XP : permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>) en milieu acide avec 3 classes d'alcool. Caractérisation : 2,4-DNPH (dinitro-2,4-phénylhydrazine) pour aldéhyde et cétone et réactif de TOLLENS pour aldéhyde

3. Oxydation totale (3 p.180, p.186)

XP : combustion de l'éthanol. Caractérisation : eau de chaux => CO<sub>2</sub>

**II. Substitution : synthèse d'un dérivé halogéné** (2 p.228, p.234, 1 p.199, p.207)

1. Principe

2. Manipulation

XP : 2-méthylpropan-2-ol + HCl concentré -> 2-chloro-2-méthylpropane. Séparation, lavage et séchage. Purification par distillation fractionnée. Caractérisation : nitrate d'argent (I) (=> halogénure d'alkyle) et indice de réfraction

**III. Elimination : réaction de déshydratation**

1. Principe (2 p.227)

2. Manipulation (2 p.233)

XP : déshydratation du cyclohexanol. Caractérisation : eau de Brome (=> alcène) et CCM

**Conclusion** Arbre synoptique et application à la Chimie du méthanol (1 p.205)

## Bibliographie :

1. Bréal, T<sup>ale</sup>

2. Duruphty, T<sup>ale</sup>

3. Parisi, T<sup>ale</sup>

4. BUP n°865

## Remarques :

- Oxydoréduction en prérequis
- Phénols et énols ne sont pas des alcools
- 2,4-DNPH caractérise les aldéhydes et les cétones (Daumarie p.66 pour le mécanisme)
- Liqueur de FEHLING envisageable pour caractériser un aldehyde
- Attention! Le cyclohexène a l'odeur du gaz
- 2-chloro-2-méthylpropane écotoxique! Enorme pour le laïus bidon!
- Cristallisateur de thiosulfate de sodium (Na<sup>+</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>) pour neutraliser l'eau de brome
- Dessiner la molécule d'urée sur transparent pour anticiper la question
- Dessiner sur transparents les mécanismes de tous les tests caractéristiques réalisés
- Sulfate de magnésium anhydre plus rapide que sulfate de calcium anhydre pour le lavage (séchage?)
- Pourquoi, au I. 2. a., verser KMnO<sub>4</sub> dans les alcools et pas l'in-

verse? Parce que  $\text{KMnO}_4$  doit rester en très large défaut sans quoi, il y a rétrodismutation entre les ions  $\text{Mn}^{2+}$  et les  $\text{MnO}_4^-$  pour donner un précipité brun noir de  $\text{MnO}_2$ . Si l'on souhaite travailler avec plus de  $\text{KMnO}_4$ , il faut se placer en milieu plus acide pour éviter la formation de  $\text{MnO}_2$  mais alors, l'alcool ter-

tiaire réagit aussi => à ne pas faire

- Le test à la 2,4-DNPH est à éviter dans cette XP car trop peu d'aldéhyde ou de cétone formé pour voir un précipité, surtout avec l'alcool II
- Les forces de VAN DER WAALS expliquent le principe de la CCM

## IV. LC04 : Molécules de la santé : acides aminés et peptides

Binôme : **Tuhiti**

Date de passage : 13/12/10

Correcteur : Thérèse ZOBIRI

### Intro Aspartame

#### I. Les acides aminés

##### 1. Présentation

a. Définition

b. Principaux acides  $\alpha$ -aminés

##### 2. Propriétés chimiques

a. Propriétés acido-basiques

b. Caractérisation à la ninhydrine des acides  $\alpha$ -aminés

XP (Nathan p.32, Hach p.135)

c. Test des ions cuivre (II)

##### 3. Propriétés stéréochimiques

a. Carbone asymétrique

b. Chiralité et énantiomères

c. Représentation de FISCHER et configurations D et L

Transition : aa obtenus par hydrolyse de l'aspartame par exemple, un peptide

#### II. La liaison peptidique

##### 1. Présentation

a. Sur l'aspartame, un dipeptide

b. Définition

c. Structure plane

d. Caractérisation : le test du biuret

XP (Hach p.153, Blanchard?)

##### 2. Amides

a. Définition

b. Nomenclature

c. Préparation à partir d'un acide carboxylique

3. Hydrolyse acide de l'aspartame (Hach p.132, Nathan p.23)

a. Manipulation

XP

b. Interprétation

c. Caractérisation par CCM

Penser à asperger de ninhydrine pour pouvoir révéler aux UV ensuite

#### III. Synthèse peptidique

##### 1. Définition

a. Peptides et protéines

b. Structures

Structure plane de la liaison peptidique => plan de 6 atomes à chaque fois => feuillets  $\beta$  et hélices  $\alpha$

##### 2. Synthèse sélective d'un dipeptide (Tec p.611)

a. Protection de fonctions

b. Activation de fonctions

c. Création de la liaison peptidique

d. Déprotection de fonctions

##### 3. Des polypeptides aux protéines

#### **Bibliographie :**

Tec et Doc Chimie organique, Lecoecue Physique Chimie Tale SMS éditions Hachette, Busnel Physique Chimie Tale SMS éditions Nathan, 1. Livre

2. Livre

3. Livre

4. Livre

5. Livre

#### **Remarques :**

- 1

- 2  
- 3  
- 1  
- 2  
- 3  
- 1

|

- 2  
- 3  
- 1  
- 2  
- 3



# V. LC05 : Principe et applications de la spectrophotométrie

Binôme : Léa

Date de passage : 08/11/10

Correcteur : Z

**Intro** Listing des méthodes physiques et chimiques de dosage connues. Citer des espèces colorées et les limitations de l'oeil

## I. Couleur d'une solution

1. Spectre d'absorption en lumière blanche (3 p.54, 2 A2?)  
XP rétro + fente +  $\text{KMnO}_4$  + PVD (5 p.11)
2. Couleurs complémentaires (3 p.54)

## II. Absorbance (3 p.54)

1. Définition (6 p.47)  
Comme le log des intensités. Additive ( $\Rightarrow$  possible de faire le blanc)

### 2. Facteurs

- a. Concentration
- b. Epaisseur de la cuve
- c. Nature de la solution

Dépend de TOUTE la solution, même du solvant!  $\text{I}_2$  dans cyclohexane : violet, pas jaune!

- d. Longueur d'onde
- e. Température

### 3. Loi de BEER-LAMBERT

Valable aux faibles concentrations

4. Spectrophotomètre (8 p.88)
  - a. Principe (3 p.47)

Valeurs limites

- b. Faire le blanc (3 p.56)

Faire le blanc avec le solvant (ex : vin blanc)

- c. Choix d'un  $\lambda$

Se placer à  $\lambda_{MAX}$  d'absorption  $\Rightarrow$  moins d'incertitude

## III. Applications

1. Dosage par étalonnage des ions permanganate ( $\text{MnO}_4^-$ ) dans une solution de Dakin (8 p.296)
2. Suivi cinétique de la réaction rédox autocatalysée entre les ions permanganate ( $\text{MnO}_4^-$ ) et l'acide oxalique ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) (8 p.236)

**Conclusion** Méthode physique de dosage non destructive. Etude spectrophotométrique d'un IC, le BBT, dans la LC07

## Bibliographie :

1. BUP n°775
2. Document d'accompagnement
3. Durupthy, T<sup>ale</sup>
4. HPrépa Chimie PCSI 1ère période annexe spectrophotomètre
5. Parisi, T<sup>ale</sup>
6. Sirius, T<sup>ale</sup>
7. Le Maréchal, I.
8. Cachau

## Remarques :

- Utiliser du papier JOSEPH pour nettoyer les faces de la cuve du spectro
- A noter qu'il existe des réflexions et des absorptions par la cuve qui altèrent la valeur de l'absorption  $\Rightarrow$  faire le blanc permet de s'en affranchir
- Connaître les mécanismes de l'absorption (transition électronique entre OM  $\pi/\pi^*$ , entre niveaux rotationnels, comme pour  $\text{CO}_2$ , ou vibrationnels)
- Dans le plastique ( $\sim$  polystyrène), il existe du benzène qui absorbe dans l'UV  $\Rightarrow$  cuve différente dans l'UV
- Dès qu'il y a une espèce organique, penser à prendre une cuve en verre. Autrement, le plastique est attaqué

- Peroxyde d'H =  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Peroxodisulfate =  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$  (formule de LEWIS délicate. Ion sulfate =  $\text{SO}_4^{2-}$ )
- Solution tampon : solution dont le pH varie peu, autour du  $\text{pK}_a$  du couple, par ajout d'acide ou de base
- Très délicat d'avoir une solution de concentration fixée à partir de diode solide car solubilité très faible dans l'eau. En fait, on travaille avec  $\text{I}^{3-}$ , qui absorbe dans l'UV, ce qui biaise l'étude. En résumé :  $\text{I}_2$  dissous dans  $\text{K}^+\text{I}^-$  en très large excès donne exclusivement du  $\text{I}^{3-}$
- Document sur le titrage de l'acidité totale d'un vin blanc dans vieux Duruphty p.168
- A retenir : plus il y a de doubles liaisons dans une molécule, plus la  $\lambda$  des photons absorbés est grande
- La couleur d'un complexe peut changer selon le ligand => certaines espèces ont des couleurs différentes selon le solvant
- La loi de BEER-LAMBERT est mise en défaut dès que l'équilibre

de formation d'une espèce dépend des concentrations (7 p.132 pour un cas)

- Lors du dosage par étalonnage, le point (0;0) doit être un point expérimental
- En spectrophotométrie moléculaire, les vibrations entre atomes d'une molécule lèvent la dégénérescence ce qui multiplie les écarts énergétiques possibles lors d'une transition => on obtient un spectre de bandes. Au contraire, la spetrophotométrie atomique donne des spectres de raies
- En spectro, travailler TOUJOURS avec le même cuve ! L'absorbance de la cuve varie d'une cuve à l'autre !
- Dosage par étalonnage des ions Fe(III) dans un vin blanc (1, 7 p.133, vieux Duruphty p.168, vieux Tomasino p.103) : casse ferrique. Travailler en milieu acide pour éviter la formation d'un précipité. Test caractéristique des ions Fe(III) : thiocyanate de potassium KSCN => complexe rouge de  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  si positif

# VI. LC06 : Equilibre chimique en solution aqueuse : cas des couples acido-basiques

Binôme : Sébastien

Date de passage : 27/09/10

Correcteur : Z

**Intro** Dissociation d'un acide dans l'eau peut être totale (HCl) ou non (acide éthanoïque). Pourquoi? Rappels sur les acides et les bases (2 p.48)

## I. Transformations totales ou limitées

1. Mise en évidence expérimentale par pH-métrie

a. Notions de pH-métrie

papier pH, pH-mètre. Précision (1 p.104)

b. Manipulation (3 p.102, 1, 2)

XP : acide éthanoïque (CH<sub>3</sub>COOH) et acide chlorhydrique (HCl)

2. L'équilibre chimique : un équilibre dynamique

a. Définition (2 p.55)

Nuance entre " $\rightarrow$ " et "="

b. Sens d'évolution d'un système chimique (1 p.107)

XP : ajouter réactif ou produit à l'XP précédente (2 p.52)

c. Interprétation microscopique (2 p.55)

Permet de mieux saisir en quoi une réaction totale est un cas idéal

Transition : quantifions cet équilibre

## II. Etat d'équilibre d'un système en solution aqueuse

1. Quotient de réaction (3 p.125)

a. Définition

Pour un système ne comportant que des espèces dissoutes

b. Cas du solvant et des espèces solides

Cas des gaz hors programme

2. Constante d'équilibre de réaction

a. Définition (2 p.73)

b. Propriétés (2 p.74, 3 p.129)

Lien avec T. Inverse pour réaction inverse

c. Loi d'évolution spontanée vers l'équilibre (2 p.74)

Lien avec Q à l'équilibre

3. Taux d'avancement final

a. Définition (2 p.54, 3 p.130)

Dépend de  $\bar{K}$  et de  $\tau$

b. Influence de l'état initial du système (2 p.74)

XP : calcul de  $\tau$  sur l'exemple initial pour plusieurs concentrations initiales différentes

## III. Equilibres acido-basiques

1. Autoprotolyse de l'eau (2 p.89)

a. Définition

b. Taux d'avancement final

c. Produit ionique de l'eau

XP : mesure de la conductivité d'une eau bouillie (4 p.158)

2. Couples acido-basiques en solution aqueuse (1 p.141)

Q d'une rx acido-basique, force d'un acide (2 p.93), constante d'acidité  $K_a$

3. Diagrammes de prédominance et de distribution (2 p.94)

a. Définition quantitative du pH

b. Diagrammes

c. Application aux indicateurs colorés (1 p.146)

**Conclusion** Souligner l'aspect cinétique de l'équilibre dynamique (interprétation microscopique) => intérêt de suivre l'évolution vers l'équilibre. Ouvrir sur les IC et la LC suivante

## Bibliographie :

1. Duruphty, T<sup>ale</sup>

2. Parisi nouvelle édition, T<sup>ale</sup>

3. Sirius, T<sup>ale</sup>

4. Le Maréchal, I.

**Remarques :**

- Couples acido-basiques en prérequis
- Stipuler que le pH doit être introduit via la conductimétrie mais que là, on peut pas
- Fonctionnement de l'électrode au calomel saturé et de l'électrode

- de verre à connaître (Tec MPSI p.295)
- Au I. 1., on met en évidence le caractère non total d'une réaction tout en initiant les élèves à la pH-métrie
- pH-mètre précis à 5%

# VII. LC07 : Indicateurs colorés acido-basiques : étude, choix pour un dosage acide-base

Binôme : Cécile

Date de passage : 04/11/10

Correcteur : Z

**Intro** On a vu dans LP05 que l'analyse de la lumière transmise permettait d'en déduire des choses quant au pH. Mais spectrophotomètre encombrant. Teintes du chou rouge OU XP du thé + citron + bicarbonate de soude => la couleur indique le pH. Etoile des couleurs complémentaires et la couleur absorbée caractérise les espèces en présence

## I. IC acido-basiques

### 1. Généralités

a. Définition (5 p.96)

b. Equilibre acido-basique en solution aqueuse (5 p.96)

c. Exemples (3 p.0)

### 2. Domaines de prédominance

a. Loi de BEER-LAMBERT

Elle fait intervenir les concentrations =>  $\exists$  domaines

b. Domaines de prédominance (5 p.96)

Zone de virage, teinte sensible. XP : choux rouges

3. Conditions d'utilisation pour un titrage colorimétrique d'un couple acido-basique (7 p.778)

La réaction de l'IC doit être rapide!

## II. Etude spectrophotométrique d'un IC : le BBT

### 1. Origine de la couleur d'un IC (1)

Liaisons conjuguées et lien longueur de la chaîne conjuguée / fréquence d'absorption

2. Spectre d'absorption (6 p.154)

3. Diagramme de distribution (2 p.320)

a. Absorbance en fonction des concentrations

b. Expression du  $pK_a$

## III. Choix d'un IC pour un dosage acido-basique : applications

### 1. Evaluation d'un pH

Ulcère (Sirius p.162), piscines, mélange d'IC = indicateur universel (ex : papier pH)

2. Titrage colorimétrique de l'acide éthanoïque d'un vinaigre (3 p.166, 5 p.122)

XP : avec un IC pertinent et un non (4). Méthodes de la fonction dérivée et des tangentes. Incertitudes

**Conclusion** IC + rapide que spectro mais ne permet pas de suivi cinétique... Il convient de bien réfléchir aux conditions expérimentales qui conditionnent ce choix. Quand ce n'est pas acido-basique, il existe d'autres IC associés à des couples oxydo-réducteurs (orthophénantroline de fer)

## Bibliographie :

1. BUP n°732

2. BUP n°801

3. Duruphty,  $T^{ale}$

4. Le Maréchal, Chimie générale et expérimentale

5. Parisi,  $T^{ale}$

6. Sirius,  $T^{ale}$

7. Tec et Doc PCSI

## Remarques :

- IC de complexation :  $Zn^{2+}$  dosé par l'EDTA

- IC de précipitation : MOHR et VOLAR
- Formule de LEWIS du BBT sous forme acide et sous forme ba-

sique (BUP n°732 p.494)

## VIII. LC08 : Cinétique de réaction (catalyse exclue)

Binôme : **Luthmilla**

Date de passage : 06/12/10

Correcteur : Z

**Intro** Titrage colorimétrique évoqués à la LC précédente at-  
trayante mais risquée si les espèces colorées réagissent lentement...  
XP : dismutation des ions thiosulfate ( $S_2O_3^{2-}$ ) en milieu acide (5  
p.194)

### I. Transformations lentes ou rapides

1. Définitions (6 p.13)
2. Facteurs cinétiques (6 p.13)

Reprendre l'XP ci-dessus

- a. Température
- b. Concentration en réactifs
3. Applications (4 p.33)

### II. Suivi cinétique

1. Méthode chimique : par titrage (7 p.61, 3 A1b?)

XP (en trop ?) : oxydation des ions iodures ( $I^-$ ) par les ions per-  
oxodisulfates ( $S_2O_8^{2-}$ )

2. Méthode physique

Evoquer la pH-métrie, la mesure de pression ou de volume d'un  
gaz, de masse d'une espèce

- a. Par conductimétrie (1 p.167, 2 p.71, 5 p.209)

XP : hydrolyse du chlorure de tertiobutyle ( $(CH_3)_3CCl$ )

Attention ! Il se pourrait qu'il faille remplacer l'acétone par l'étha-  
nol sans quoi la réaction est trop lente

- b. Par spectrophotométrie (5 p.199)

XP : oxydation des ions iodures ( $I^-$ ) par les ions peroxodisulfates  
( $S_2O_8^{2-}$ )

### III. Vitesse de réaction (6 p.32)

Exploitation des données précédentes

1. Vitesse volumique de réaction
  - a. Définition
  - b. Détermination graphique
2. Temps de demi-réaction

### IV. Interprétation microscopique des facteurs cinétiques (7 p.70, 4 p.76)

XP : simulation avec Réachim

1. Chocs efficaces
2. Température
3. Concentration en réactifs
4. Surface des réactifs solides

### Conclusion Catalyseurs

### Bibliographie :

1. Blanchard, Chimie organique et expérimentale
2. Daumarie, Florilège de Chimie pratique
3. Document d'accompagnement
4. Durupthy, T<sup>ale</sup>
5. Mesplède, 100 manip'
6. Parisi, T<sup>ale</sup> (nouvelle édition)
7. Sirius, T<sup>ale</sup>

### Remarques :

- Il existe l'XP de la bouteille bleue (Le Maréchal p.265) mais le  
processus est relativement complexe...
- Rouille :  $Fe + O_2 \rightarrow Fe(III)$
- Influence de T par ARRHENIUS
- Point équivalent : équivalence mathématique  $\neq$  point de fin de  
titrage : équivalence expérimentale, après le point équivalent

- Diode devient bleu en présence d'empois d'amidon car les 2 forment un complexe
- Titrage possible ssi réaction unique et rapide

- Caractérisation des ions  $\text{Zn}^{2+}$  : avec les ions  $\text{HO}^-$ , précipité blanc
- Caractérisation des ions  $\text{I}^-$  avec les ions  $\text{Pb}^{2+}$ , précipité jaune  $\text{PbI}_2$



# IX. LC09 : Catalyse et catalyseurs ; applications

Binôme : **Thomas**

Date de passage : 17/01/11

Correcteur : Z

**Intro** On a vu lors de l'étude de l'estérification qu'ajouter quelques gouttes d'acide sulfurique permet d'accélérer la réaction

## I. Rôle d'un catalyseur

1. Définition

2. Propriétés (5, 2, 3, 7)

a. Conservation

Est soit inchangé tout au long (même si participe) OU change mais est régénéré (=> petite quantité suffit) : XP du sel de Seignette (7 p.304)

b. Cinétique  $\neq$  thermodynamique

Pas d'influence sur K. Accélère la transformation dans les 2 sens (ex : acide sulfurique accélère l'estérification comme l'hydrolyse) => nécessité d'extraire le produit au fur et à mesure de sa formation

c. Sélectivité

XP : de l'éthanol (4 p.213, 7 p.306)

## II. Différents types de catalyses

1. Catalyse homogène

a. Définition (3 p.227)

b. Expérience (5 p.244, 4 p.212)

XP : décomposition du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) par le nitrate de fer (III) ( $(NO_3)_3Fe$ ). Influence de la concentration

2. Catalyse hétérogène

a. Définition (3 p.227)

b. Expérience (5 p.244)

XP : décomposition du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) par du platine. Influence de la surface de contact (évoquer les pots cataly-

tiques (3 p.223))

3. Catalyse enzymatique

a. Définition (3 p.228)

b. Expérience (5 p.244)

XP : décomposition du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) par la catalase des pommes de terre. Influence de la température et du pH

## III. Applications industrielles (1)

1. Synthèse de l'ammoniac (6 p.342)

2. Synthèse de l'acide sulfurique (6 p.359)

3. Pots catalytiques (3 p.223)

## **Bibliographie :**

1. Bréal, T<sup>ale</sup>

2. Durupthy, T<sup>ale</sup>

3. Hélios, T<sup>ale</sup>

4. Mesplède, 100 manip'

5. Parisi, T<sup>ale</sup>

6. Perrin, Chimie industrielle neuf

7. Sirius, T<sup>ale</sup>

## **Remarques :**

- La catalyse enzymatique doit être traitée en détail
- Rôle essentiel des catalyseurs pour synthétiser  $NH_3$  et  $H_2SO_4$  (traitement des minerais et des phosphates, utilisés pour faire des engrais), principaux tonnages en industrie chimique, avec lesquels on réalise des engrais
- Facteurs cinétiques abaissent les barrières de potentiel  $\neq$  catalyseurs changent le chemin réactionnel
- L'eau de brome se décolore en présence d'un alcène
- Evoquer l'auto-catalyse comme cas particulier de catalyse homogène
- Mécanisme de l'expérience du sel de SEIGNETTE ?

# X. LC10 : Estérification et hydrolyse des esters

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Esters étudiés au XIX<sup>ème</sup> siècle par BERTHELOT. Substances odorantes et participent à de nombreuses synthèses (saponification)

## I. Formation et réaction des esters

1. Groupe caractéristique ester (1 p.241)

a. Définition

b. Nomenclature

2. Estérification (4 p.203)

Limitée => réaction inverse possible

3. Hydrolyse d'un ester (4 p.203)

Transition : réactions non totales et équilibre dynamique

## II. Equilibre chimique des deux réactions

1. Mise en évidence (3 p.184, p.187, 5 p.272)

XP : estérification de l'acide éthanöique et de l'éthanol en acétate d'éthyle, et vice versa (6 p.187, 1 p.244, 2 p.263)

2. Notion de rendement (3 p.188)

## III. Contrôle de la réaction

1. Contrôle cinétique (1 p.246)

a. Influence de la température

XP : comme l'estérification précédente mais à froid. Dosage => pas de réaction quantitative

b. Influence de la catalyse

2. Contrôle thermodynamique (2 p.280)

a. Réactif en excès

b. Elimination d'un produit

DEAN-STARK OU XP : (3 p.185)

**Conclusion** Substances odorantes. Possible de rendre totale et rapide une estérification en remplaçant l'acide carboxylique par un anhydride d'acide, et inversement pour l'hydrolyse : les corps gras sont des triesters qui participent à la synthèse du savon (saponification)

## Bibliographie :

1. Bréal, T<sup>ale</sup>

2. Durupthy, T<sup>ale</sup>

3. Hélios, T<sup>ale</sup>

4. Parisi, T<sup>ale</sup>

5. Sirius, T<sup>ale</sup>

6. Blanchard

## Remarques :

- Attention! Lors d'une estérification ou d'une hydrolyse, l'enthalpie de réaction est nulle et la température n'est donc pas un facteur d'équilibre, seulement un facteur cinétique!
- La dernière expérience présentée nécessite que l'ester soit l'espèce la plus volatile
- Mécanisme d'une estérification à connaître (Le Maréchal 2. Chimie organique et minérale p.74)
- -OR' vient toujours de l'alcool pour les I, pas nécessairement pour les II ou les III
- BEAUCOUP de commentaires dans les notes...
- Pour rendre totale l'estérification (et l'accélérer), l'acide carboxylique peut être remplacé par l'anhydride d'acide

# XI. LC11 : Saponification des esters ; applications

Binôme : **Simon**

Date de passage : 11/10/10

Correcteur : Z

**Intro** On a vu que l'on peut déplacer l'équilibre par ajout d'un réactif ou retrait d'un produit. Et en changeant le pH du milieu ? Hydrolyse en milieu basique (=saponification) a des propriétés particulières et l'on peut dépasser le rendement de 37%

## I. Saponification des esters

1. Définition (8 p.292)
2. Mise en évidence expérimentale du caractère ...
  - a. ... rapide

XP (2 p.266)

- b. ... total

XP plus loin

## II. Les savons

1. Définitions (8 p.292)
  - a. Corps gras
  - b. Savon
2. Propriétés (2 p.267)
  - a. Solubilité

XP : eau distillée  $\neq$  solution ionique. Application au relargage

- b. Propriétés acido-basiques

XP : papier pH

- c. Propriétés détergentes (2 p.270)

XP : eau + huile  $\neq$  savon + huile (3 p.327)

3. Synthèse

XP : synthèse d'un savon de Marseille (6 p.99, doc ac D3 ?)

4. Procédé industriel : exemple du savon de Marseille (7

p.680, 5 p.204)

- a. Empâtage
- b. Cuisson
- c. Relargage
- d. Liquidation

## III. Autres applications

1. Indice de saponification d'une huile (Didier p.229 ?, Winnacker p.243 ?, 4 p.191)

XP ?

2. Synthèse d'alcools gras ?
3. Phénolphtaléine (1 p.559)

**Conclusion** Inversement, on peut rendre une estérification totale en utilisant un anhydride d'acide plutôt qu'un acide carboxylique => synthèse de l'aspirine possible

## **Bibliographie :**

1. Atkins
2. Bréal, T<sup>ale</sup>
3. Durupthy, T<sup>ale</sup>
4. Durupthy, T<sup>ale</sup> neuf spé
5. Hélios, T<sup>ale</sup>
6. Le Maréchal, I.Chimie générale
7. Perrin, Chimie industrielle
8. Sirius, T<sup>ale</sup>

## **Remarques :**

– L'ion carboxylate formé à l'issue d'une hydrolyse ne réagit pas avec l'alcool, contrairement à l'acide carboxylique associé => réaction totale

## XII. LC12 : Synthèse et dosage d'un composé d'usage pharmaceutique

Binôme : **Carole**

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** On a vu dans la LC précédente l'hydrolyse basique qui déplace l'équilibre, voyons l'inverse et appliquons-la à la synthèse de l'aspirine

### I. Composé d'usage pharmaceutique

1. Principe actif (5 p.206)
3. Formulation (3 p.230 et après)
  - a. Excipient
  - b. Solubilité selon le pH
  - c. Autres
4. Cas de l'aspirine (4 II. p.150)
  - a. Historique
  - b. Acide acétylsalicylique
  - c. Mode d'action

### II. Hémisynthèse (4. p.150, 1 p.272, 2 p.53)

1. Protocole
2. Purification
3. Interprétation

Rendement

4. Caractérisation par CCM

### III. Dosage (4 p.150, 1 p.274, 2 p.186)

1. Dosage direct
2. Dosage en retour

**Conclusion** LC19 pour  $\neq$  dosages directs et indirects

### **Bibliographie :**

1. Bréal, T<sup>ale</sup>
2. Daumarie
3. Durupthy, T<sup>ale</sup> neuf spé
4. Le Maréchal, II.
5. Parisi, T<sup>ale</sup> neuf (spé?)

### **Remarques :**

- Dérivés de l'acide salicylique provoque des lésions => nécessité d'absorber le plus vite possible l'acide acétylsalicylique
- Abaissement cryoscopique du à la formation d'un azéotrope => abaissement de la température de fusion
- Pour couper le vide (via la trompe à eau du robinet), on retire le tuyau puis on coupe l'eau

# XIII. LC13 : Piles : mise en jeu de transformations chimiques spontanées

Binôme : **Julien Petit Ours**

Date de passage : 22/11/10

Correcteur : Z

**Intro** La généralisation de l'électricité à la plupart des outils du quotidien n'était possible qu'à condition de disposer de sources autonomes. C'est au début du XIX<sup>ème</sup> que VOLTA dompte le mystérieux phénomène d'électrisation mis en évidence par son compatriote GALVANI en mettant au point la première pile. XP : transfert direct d'électrons (1 p.189)

## I. Principe d'une pile électrochimique

1. Spécificités des couples rédox ion métallique / métal (1 p.188)

2. Mise en évidence expérimentale d'un transfert indirect d'électrons : la pile de DANIELL (7 p.217, 8 p.190, 2 p.219)

3. Constitution d'une pile

Représentation symbolique d'une pile

4. Fonctionnement (2 p.223)

a. Réactions rédox

b. Transfert de charges

c. Evolution spontanée

## II. Caractérisation d'une pile

1. Fem, polarité et résistance interne

XP : caractéristique d'une pile DANIELL (7 p.217, 8 p.190, 1 p.201 p.202, 4 p.145)

2. Nature des couples rédox

a. Mise en évidence expérimentale

b. Interprétation en termes de  $K^\circ$

c. Influence de la concentration

XP (1 p.201)

3. Quantité d'électricité, intensité, durée de vie et capacité (1 p.193)

## III. Piles usuelles (voir tous les bouquins, 6)

1. Piles salines et alcalines (3 p.152)

a. Structure

b. Propriétés comparatives

c. Piles au lithium (6 p.266)

2. Pile à combustible (1 p.198, 5 p.223)

a. Fonctionnement

b. Applications

c. Limites

**Conclusion** Il existe aussi des piles rechargeables, ce qui laisse présager l'existence d'une réaction inverse qui ne saurait être spontanée => électrolyse

## **Bibliographie :**

1. Bréal, T<sup>ale</sup>

2. Durupthy, T<sup>ale</sup>

3. Hélios, T<sup>ale</sup>

4. Mesplède, 100 manip'

5. Miomandre, Electrochimie

6. Sarrazin

7. Cachau, rédox

8. Le Maréchal I.

## **Remarques :**

– Résistance interne de la pile due au mouvement des ions (viscosité) et, dans une moindre mesure, aux interfaces

– On ne doit donc pas agiter quand on mesure la fem sans quoi, on modifie la résistance interne

# XIV. LC14 : Electrolyses et accumulateurs : mise en jeu de transformations chimiques forcées

Binôme : **Damien**

Date de passage : 10/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Il existe aussi des piles rechargeables, ce qui laisse présager l'existence d'une réaction inverse qui ne saurait être spontanée => électrolyse

## I. L'électrolyse

1. Evolution vers l'équilibre

a. Evolution spontanée

XP : Cu dans l'eau de dichlore => coloration bleutée (4 p.164, p.168)

b. Inversion du sens d'évolution : transformation forcée

XP : électrolyseur en U avec électrodes en graphite et indigo (4 p.164, p.168)

c. Définition (3 p.243)

2. Constitution d'un électrolyseur (1 p.214)

3. Fonctionnement (1 p.214)

4. Caractéristiques (1 p.214)

5. Exemple : électrolyse d'une solution aqueuse d'acide sulfurique (3 p.244)

a. Protocole (7 p.187, 1 p.219, 5 p.154)

b. Etude qualitative

XP : mesure expérimentale de la constante de FARADAY

c. Etude quantitative

d. Applications (6 p.331)

## II. Les accumulateurs

1. Principe (1 p.216)

2. Accumulateur au Plomb (2 p.271, 6 p.229, 7 p.201)

a. Description (4 p.171)

(lancer la charge? 1h ou 10mns? Prendre plutôt les intensités pendant la décharge)

b. Manipulation

XP : décharge d'un accumulateur au plomb

c. Discussion

3. Accumulateur Nickel / Cadmium (6 p.231)

## III. Autres applications

1. Synthèse du dichlore et de la soude

a. Electrolyse d'une solution de chlorure de sodium (3

p.245)

XP (8 p.264, 5 p.158, 7 p.176)

b. Exploitation (6 p.322)

Eau de Javel, désinfectant, PVC

2. Restauration d'objets archéologiques (1 p.211, p.231)

**Conclusion** Galvanostégie, production d'aluminium, électrozingage, biologie (photosynthèse)... La synthèse de l'aluminium, métal léger, n'était possible qu'après la découverte de l'électrochimie

**Bibliographie :** 1. Bréal, *T<sup>ale</sup>*

2. Daumarie

3. Durupthy, *T<sup>ale</sup>*

4. Hélios, *T<sup>ale</sup>*

5. Mesplède, 100 manip'

6. Miomandre, Electrochimie

7. Le Maréchal I.

8. Cachau rédox

**Remarques :**

– La décoloration de l'indigo caractérise la présence d'un dihalo-

gène

– La phénolphtaléine est rose en milieu basique, incolore sinon

– Garder en tête le rôle cinétique de la nature des électrodes

# XV. LC15 : Etude qualitative et quantitative des espèces acido-basiques dans les liquides alimentaires et dans les liquides ménagers

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Titrage colorimétrique de l'acide lactique dans un lait

(6 p.128, 4 p.171, 5 p.190, doc ac C10?)

Degré DORNIC

### 1. Le lait (2 p.199)

a. Composition

b. Acide lactique

c. Lait frais ou caillé

### 2. Choix d'un IC acido-basique

### 3. Manipulation

### 4. Concentration en acide lactique : degré DORNIC

Comparaison entre un lait frais et un non

Transition : colorimétrique car mélange complexe d'acides dont les  $pK_a$  sont proches => pH-métrie n'aurait rien donné

## II. Dosage pH-métrique de l'acidité totale d'un vin (2

p.184, 3 p.23, 1, doc ac C10?)

### 1. Composition

a. Acides volatils

b. Autres acides

### 2. Manipulation

a. Décarbonation

b. Dosage pH-métrique particulier

On se contente d'amener le pH à 7 (définition légale)

### 3. Acidité neutralisée lors du dosage et acidité totale

## III. Dosage conductimétrique de la soude dans un déboucheur de canalisations, le Destop (2 p.211)

1. Synthèse par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium (cf LC14)

### 2. Composition

a. Ions  $HO^-$

b. Ammoniac

### 3. Manipulation

### 4. Pourcentage en masse de soude

## Bibliographie :

1. BUP 775
2. Cachau acide-base
3. Le Maréchal, I.
4. Parisi
5. Tomasino
6. Vieux Tomasino

## Remarques :

- Indice d'acide d'une huile (Duruphty p.191, Sirius p.181) envisageable (mais semble marginal)
- Coca (Daumarie p.179, Cachau p.273?) envisageable (mais délicat car les sauts de pH sont peu marqués : on dose plein de choses ensemble)
- Problème : quelle différence entre un dosage et un titrage?



## XVI. LC16 : Contrôle de qualité des produits de la vie courante

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Etude acido-basique dans LC précédente mais réglementations portent aussi sur d'autres aspects. Généralisons le contrôle de qualité des produits de la vie courante à d'autres espèces

**I. Dosage par étalonnage spectrophotométrique des ions permanganate ( $\text{MnO}_4^-$ ) dans une solution de Dakin (2 p.296)**

**II. Dosage par précipitation par la méthode de MOHR des ions chlorures d'une eau minérale (5 p.88, 6 p.103, p.42, 9 p.101, 8 p.174, doc ac TP C15 ?)**

1. Méthode de MOHR

Ce que l'on peut doser comme ça, rôle du chromate de potassium ( $\text{KCrO}_4$ ) dosage colorimétrique

2. Manipulation

3. Titre en ions chlorures

**III. Dosage iodométrique indirect de l'eau de Javel : mé-**

**thode de BUNSEN** (2 p.292, 6 p.90, 3 p.182, 7 p.168, doc ac C6 ?)

1. Synthèse par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium (cf LC14)

2. Manipulation

3. Degré chlorométrique

**Bibliographie :**

1. BUP 775

2. Cachau rédox

3. Durupthy

4. Vieux Duruphty

5. Le Maréchal I.

6. Mesplède 100 manip'

7. Parisi

8. Sirius

9. Vieux Tomasino

**Remarques :**

– Ouvrir pour le laius bidon sur les risques que représente l'ajout d'eau de Javel à une solution acide

## XVII. LC17 : Colorants et pigments : extraction, synthèse, identification

Binôme : **Joris**

Date de passage : 31/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Sensibilité aux couleurs de l'oeil humain => intérêt pour les colorants. Mais pas seulement (1 p.44)

**I. Extraction des pigments des épinards** (document d'accompagnement TP A9)

1. Protocole expérimental

CCM => plusieurs colorants

2. Séparation et extraction des colorants

Chromatographie sur colonne

3. Identification spectrophotométrique

**II. Colorants alimentaires**

1. Extraction sur laine du colorant d'un sirop de menthe (4 p.143)

2. Chromatographie sur couche mince : choix de l'éluant

Tester plusieurs éluants. Plusieurs colorants => séparation nécessaire

3. Séparation des colorants par chromatographie sur colonne (1 p.51, 3 p.166, 2 p.135)

**III. Colorants textiles** (1, 5)

Indigo

1 p.83 et p.106

1. Synthèse de l'indigo (p.106)

2. Utilisation en teinture (p.83, p.112)

a. Agrégats insolubles dans la fibre

b. Processus de fixation de l'indigo aux fibres

**Conclusion** Colorants peuvent avoir des rôles analytiques en Chimie (indigo caractérise un dihalogène). Rôle alimentaire combiné à celui des arômes et conservateurs

**Bibliographie :**

1. Capon Chimie des couleurs et des odeurs

2. Parisi, T<sup>ale</sup>

3. Tomasino neuf, T<sup>ale</sup>

4. Vieux Tomasino 1995, T<sup>ale</sup>

5. Le Maréchal

**Remarques :**

- Dès qu'il y a une espèce organique, penser à prendre une cuve en verre. Autrement, le plastique est attaqué
- CCM expliquée (Durupthy spé p.130)
- Pigments sont insolubles dans le milieu de suspension  $\neq$  colorants
- Consulter aussi les documents d'accompagnement
- Problème : il faut encore travailler les aspects théoriques de cette leçon afin d'étoffer le liant
- Formule de l'indigo et réaction avec dichlore (Le Maréchal I. p.176)

## XVIII. LC18 : Arômes et conservateurs : extraction, synthèse, dosage

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Chiralité des sens, notions sur l'odorat (1). Nécessité sanitaire des conservateurs

### I. Extraction d'un arôme : l'eugénol du clou de girofle (2 p.140, 3 p.132, 4 p.160)

1. Extraction par entraînement à la vapeur de l'huile essentielle de clou de girofle
2. Séparation de l'eugénol
  - a. Hydrolyse basique de l'eugénol
  - b. Régénération de l'eugénol
  - c. Extraction liquide-liquide
3. Caractérisation par CCM
4. Pourcentage massique

### II. Synthèse d'un arôme : l'acétate d'éthyle (6 p.187, 2, Bréal, Hélios, Sirius)

1. Estérification  
Chauffage à reflux
2. Lavage
3. Distillation
4. Caractérisation
  - a. Spectrophotométrie infrarouge
  - b. Indice de réfraction

### III. Dosage d'un conservateur : la vitamine C (7 p.213)

Identification quantitative

1. Propriétés de la vitamine C

2. Dosage direct par le diode (3 p.168)

Imprécis car réaction lente

3. Dosage en retour par iodométrie (5 p.145, 3 p.168)

### **Bibliographie :**

1. Capon Chimie des couleurs et des odeurs
2. Durupthy, T<sup>ale</sup>
3. Parisi, T<sup>ale</sup>
4. Tomasino neuf, T<sup>ale</sup>
5. Vieux Tomasino, T<sup>ale</sup>
6. Blanchard
7. Daumarie

### **Remarques :**

- Synthèse d'un conservateur, l'acide benzoïque (Durupthy p.150, vieux Tomasino p.147, Tomasino neuf p.176), eut été envisageable à la place du II. Mais le principe a l'air plus délicat qu'une simple estérification...
- Extraction de la trimyristine (Tomasino neuf p.162, Durupthy p.142) envisageable à la place du I. (mais moins de biblio)
- Extraction du limonène (Capon p.203) envisageable à la place du I.
- acétate d'isoamyle = éthanoate de 3-méthylbutyle
- L'acétate d'isoamyle est un phéromone d'alarme qui peut déclencher un comportement agressif chez les abeilles (d'où l'adage qui voudrait que les abeilles attaquent les gens qui sentent le parfum)
- Introduire chaque grande partie par un laïus général quant aux propriétés de l'espèce sur laquelle on va travailler
- Problème : il faut encore travailler les aspects théoriques de cette leçon afin d'étoffer le liant

# XIX. LC19 : Dosages directs et indirects (L)

Binôme : **Vivien**

Date de passage : 20/09/10

Correcteur : Z

**Intro** Définition d'un dosage, rôle dans les contrôles de qualité. Direct ou non quand l'équivalence est difficile à détecter, pour des raisons cinétiques par exemple

## I. Atouts et insuffisances des dosages directs

1. Principe

2. Dosage colorimétrique par manganimétrie d'une eau oxygénée (2 p.289, 7 p.100, 4 p.184)

XP

Simplicité

3. Dosage pH-métrique de l'acide acétysalicylique de l'aspirine (2 p.174, 3 p.186, 6 p.150, doc ac D4?)

XP

4. Dosage par précipitation par la méthode de MOHR des ions chlorures d'une eau minérale (5 I. p.88, 7 p.103, p.42, 10 p.101, 9 p.174, doc ac TP C15?)

a. Méthode de MOHR

Ce que l'on peut doser comme ça, rôle du chromate de potassium ( $\text{KCrO}_4$ ) dosage colorimétrique

b. Manipulation

XP

c. Titre en ions chlorures

## II. Les apports d'un dosage indirect

1. Principe

2. Dosage indirect par saponification de l'acide acétysalicylique de l'aspirine (2 p.171, 6 p.150)

XP

3. Dosage par différence par la méthode de CHARPENTIER-

VOHLARD des ions chlorures d'une eau minérale (7 p.103, p.42, 1 p.253, 5 p.90)

XP

**III. La nécessité d'un dosage indirect : dosage iodométrique de l'eau de Javel par la méthode de BUNSEN** (2 p.292, 7 p.90, 4 p.182, 8 p.168, doc ac C6?)

1. Synthèse par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium (cf LC14)

2. Manipulation

XP

3. Degré chlorométrique

## **Bibliographie :**

1. Brénon-Audat, Chimie inorganique et générale (même collection que les FR en Physique)

2. Cachau (x2)

3. Daumarie

4. Durupthy

5. Le Maréchal I.

6. Le Maréchal II.

7. Mesplède 100 manip'

8. Parisi

9. Sirius

10. Vieux Tomasino

## **Remarques :**

– Dosage du dioxygène dans l'eau du robinet (méthode indirecte de WINKLER) (Ecolochimie), dosage direct de l'eau oxygénée (titre en volume) envisageables

– Dosage direct maladroit et indirect pertinent de l'acide ascorbique (vitamine C) dans un jus de citron envisageable

– MOHR se trouve aussi dans Durupthy p.200 et Tomasino p.192

- Problème : quelles sont les différences réelles entre MOHR et VOHLARD ? Pourquoi choisir l'une plutôt que l'autre ?
- Problème : pourquoi l'eau de Javel ne peut-elle pas être dosée directement ?

- Ouvrir pour le laius bidon sur les risques que représente l'ajout d'eau de Javel à une solution acide
- Le Cachau, ça claque

# XX. LC20 : Etude expérimentale du caractère évolutif des propriétés physico-chimiques dans la classification périodique (CP)

Binôme : Joris

Date de passage : 04/10/10

Correcteur : Z

**Intro** Cours précédent : configuration électronique des atomes. S'avère coller avec leur classement par propriétés de MENDELEÏEV (1869). Histoire de la classification des éléments (1 p.15)

## I. Répartitions électronique et énergétique des éléments dans la classification périodique

### 1. Construction électronique (1 p.17)

Selon les configurations électroniques

a. Périodes

b. Familles

XP : halogènes + Ag<sup>+</sup> puis lampe UV (2 p.60)

c. Blocs (3 p.47)

### 2. Propriétés énergétiques (1)

Passer vite sur les 2 premiers

a. Energie d'ionisation (sur transparents)

b. Affinité électronique (sur transparents)

c. Électronégativité

XP : déviation d'un jet d'eau => H<sub>2</sub>O polaire

XP : (halogènes + Ag<sup>+</sup>) + NH<sub>3</sub> (2 p.60)

Transition : il existe donc des différences physiques ET chimiques. Voyons qu'elles sont en adéquation les unes avec les autres

## II. Propriétés acido-basiques des oxydes (2 p.46 à 49, 3 p.48)

### 1. Définition

a. Métaux et non métaux

b. Oxydation et oxydes

### 2. Oxydes métalliques

XP : combustion du Mg

a. Manipulation

b. Interprétation en termes de différence d'électronégativité

Oxyde ionique

c. Caractère basique de l'oxyde

### 3. Oxydes non métalliques

XP : combustion du carbone

a. Manipulation

b. Interprétation

Oxyde covalent

c. Caractère acide

Transition : ça colle avec la CP. Et pour les propriétés oxydo-réductrices ? Sont-elles effectivement liées à l'électronégativité ?

## III. Propriétés oxydo-réductrices (2 p.46 à 49, 3 p.53)

### 1. Les alcalins

XP : Na dans l'eau

a. Manipulation

b. Interprétation

c. Caractère réducteur

### 2. Les halogènes (1 p.21)

XP (solution de Fe<sup>2+</sup> fraîche nécessaire)

a. Manipulation

b. Interprétation

c. Caractère oxydant

### 3. Au sein des halogènes

XP : mélange d'halogènes

**Conclusion** Les propriétés physiques et chimiques sont en adé-

quation. Prédiction des réactivités possible. Il existe un lien entre l'évolution énergétique des éléments dans la CP et leurs rayons, concepts introduits à la suite de l'étude du modèle quantique de l'atome. Formule empirique de SLATER (1930) permet de calculer les énergies d'ionisation

**Bibliographie :**

1. HPrépa neuf PCSI

2. Tec et Doc PCSI

3. Tout-en-un PCSI

**Remarques :**

- Rincer tous les ustensils entrés en contact avec le sodium, immédiatement après avoir manipulé, avec de l'éthanol à 95% (donne  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2$  et cie)
- $\text{H}_2\text{SO}_3$  (acide sulfureux)  $\neq$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  (acide sulfurique)

# XXI. LC21 : Illustrations expérimentales des relations structure - propriétés des molécules

Binôme : **Ivan**

Date de passage : 18/10/10

Correcteur : Z

**Intro** On se limite aux éléments des 3 premières périodes (5 p.67)

## I. Modèle de LEWIS des liaisons covalentes localisées

1. Expérience introductive : caractère réducteur du sodium

a. Manipulation

XP : Na dans l'eau (5 p.50)

b. Interprétation : règles du duet et de l'octet

Va guider la construction de liaisons covalentes entre atomes

2. Liaison covalente : mise en commun conditionnée d'électrons

a. Illustration expérimentale

XP : déplacement thermique d'équilibre du  $\text{NO}_2$  (2)

b. Interprétation

Loi de VAN'T HOFF  $\Rightarrow \Delta_r H_{\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4} > 0$  (endothermique). En résumé, quand T plus basse, on se place dans l'état d'énergie minimal

c. Définitions (3)

Liaisons covalentes localisées, simples ou multiples, électrons de valence, célibataires

3. Représentation de LEWIS (3 p.40)

a. Méthode d'obtention de la formule de LEWIS

b. Charges formelles

## II. Géométrie des édifices polyatomiques : méthode VSEPR (3, 5)

1. Nécessité (3 p.52)

Différence entre  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  .. Csq :

a. Moment dipolaire d'une molécule

XP : filet d'eau dévié par bâton électrisé, pas pour le cyclohexane (configuration chaise  $\Rightarrow$  centre d'inversion)

b. Propriétés de solvant

L'eau est un bon solvant pour les espèces polaires  $\neq$  le cyclohexane est un bon solvant pour les alcanes

2. Méthode VSEPR

a. Cas des liaisons simples

b. Présences de doublets non liants

et d'un électron célibataire

c. Cas des liaisons multiples

3. Propriétés

a. Angles de liaison

b. Distances interatomiques

c. Energie de liaison

Température d'ébullition des alcènes  $>$  celle des alcanes ?

d. Polarité

XP : dissolution de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) dans l'eau (4 p.238)

## III. Limites du modèle de LEWIS

1. Liaisons délocalisées : mésomérie

LEWIS ne donne pas de priorité aux différentes formes possibles. Effet stabilisateur de la mésomérie

XP : dosage sur Simulwin pour avoir les  $\text{pK}_a$  de  $\text{HClO}$ ,  $\text{HClO}_2^-$  et  $\text{HClO}_3^-$

Les distances interatomiques sont toutes les mêmes dans le benzène

2. Diastéréoisomérisation Z / E (1)

Pas de priorité dans LEWIS, en particulier pour des composés présentant des symétries

XP :  $T_{\text{fusion}}(\text{acide maléique}) \neq T_{\text{fusion}}(\text{acide fumarique})$  au banc KOFFLER



### 3. Paramagnétisme de $O_2$

XP : filet de  $O_2$  dévié entre 2 aimants, pas de  $N_2$

**Conclusion** Il faudra attendre la MQ et la CLOA pour lever ce dernier mystère...

#### **Bibliographie :**

1. BUP n°777
2. BUP n°879
3. HPrépa neuf PCSI
4. Le Maréchal, Chimie générale
5. Tec et Doc PCSI

#### **Remarques :**

- LC de PCSI
- Utiliser des modèles moléculaires
- "Edifices polyatomiques" comprend, en plus des molécules, les complexes
- Citer l'hypervalence du phosphore et l'hypovalence de  $BH_3$  comme une autre limite du modèle de LEWIS
- $Cu(NH_3)_4^{2+}$  est un complexe à la géométrie octaédrique
- Connaître les conditions de miscibilité dues aux interactions de DEBYE, LONDON et KEESOM
- Savoir expliquer le paramagnétisme de  $O_2$  via la CLOA (diagramme non corrélé)

## XXII. LC22 : Cristaux ioniques : du modèle à la réalité

Binôme : **Nicolas**

Date de passage : 24/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Principales propriétés des cristaux ioniques (2 p.24, p.34).  
Différence des cristaux ioniques avec les métalliques : conductivité

### I. Modèle du cristal ionique

#### 1. Liaisons ioniques

##### a. Mise en évidence expérimentale

XP : dissolution du NaCl ( $\neq$  glucose) dans l'eau => conductivité non nulle

##### b. Définition

Lignes d'isodensité électronique

##### c. Pourcentage ionique

#### 2. Rayons ioniques

##### a. Définition

##### b. Approche de PAULING (1 p.432)

#### 3. Hypothèses du modèle (tout)

Electroneutralité, sphères dures, les petits ions occupent les sites interstitiels du réseau formé par les gros et surtout, règle sur la coordinence qui doit être maximale!

#### 4. Aspects énergétiques (1 p.440, 4 p.259)

##### a. Energie électrostatique

##### b. Terme répulsif

=> réseaux non compacts

### II. Exemples de structures (3 p.281, 4 p.265, 6 p.425)

#### 1. Structure type Chlorure de Césium (CsCl)

Structure, coordinence (surtout), paramètre de maille, compacité, masse volumique, condition sur les rayons

#### 2. Structure type Chlorure de Sodium (NaCl)

#### 3. Structure type blende (ZnS)

Le paramètre de maille ne colle pas... Partiellement covalent!

#### 4. Structure type fluorine (CaF<sub>2</sub>)

Optionnelle

### III. Au-delà du modèle du cristal ionique

#### 1. Energie réticulaire (1 p.446)

##### a. Définition

##### b. Propriétés

##### c. Détermination expérimentale via un cycle de BORN-

HABER (5 p.75, 6 p.657)

XP : mesure d'une énergie réticulaire avec la ddp d'une pile en fonction de la température (5 p.75)

#### 2. Pouvoir polarisant (1 p.449)

a. Evolution de l'écart entre théorie et expérience pour différents cristaux ioniques

##### b. Déformation des OA

##### c. Recouvrement d'OA : liaisons covalentes

**Conclusion** En outre, il existe des défauts (1 p.455) qui peuvent être exploités dans le dopage de semi-conducteurs

### **Bibliographie :**

1. BOTTIN, MALLET et FOURNIÉ vieux Cours de Chimie II.
2. Vieil HPrépa vieux vert PC
3. HPrépa PC
4. MALLET et FOURNIÉ Cours de Chimie II.
5. Porteu - de Buchère, L'épreuve orale du capes de Chimie
6. Tec et Doc PCSI

### **Remarques :**

- Diffraction de rayons X pour avoir les paramètres de maille et les rayons ioniques tabulés. Reste à avoir une référence...

- Pouvoir spécifier les réseaux de BRAVAIS des différentes structures (cfc pour NaCl, cc pour CsCl, plus dur pour ZnS)
- Leçon de PSI ou de MPSI ?
- Cristaux métalliques en prérequis (empilements compacts, cfc, hc...)
- Possible d'axer le III. sur le cas de la wustite (4 p.276)
- Pour une manipulation au principe analogue à celle du III. 1. c. (et qui aurait presque sa place dans la LC24), cf la pile de CLARK (Sarrazin p.78)

- Problème : quel niveau pour cette leçon ? Car les limites du modèle de cristal ionique ne sont qu'au programme de PC ! A vérifier...
- Bien différencier "structure cfc" et "structure de type cfc" (le 2<sup>nd</sup> n'est pas compact)
- Dans le cycle de BORN-HABER, on ne peut pas invoquer le fait que toutes les phases sont condensées (car ce n'est pas le cas) pour dire que les enthalpies de réaction sont standards

## XXIII. LC23 : Métaux et alliages : structures

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Modèle de DRUDE, propriétés macroscopiques différentes traduisent des structures microscopiques différentes

### I. Première description des métaux

1. Rappels sur les différents types de cristaux (Tec, HPrépa)

Définition d'un cristal parfait

2. Liaison métallique et énergie de cohésion par atome (2 p.24, p.34, 3 p.412, exo 4 p.36)

3. Propriétés des cristaux métalliques (HPrépa p.24)

a. Propriétés chimiques

b. Propriétés physiques

### II. Structure des cristaux métalliques

1. Empilements compacts de sphères dures (2 p.44)

a. Association de symétrie hexagonale

b. Association de symétrie cubique

2. Structure hexagonale compacte (2 p.47, 3 p.387)

a. Maille élémentaire

b. Population

c. Paramètre de maille

d. Compacité

3. Autres structures (2 p.47, 3 p.387)

a. Cfc compacte

XP : mesure du paramètre de maille du plomb

b. Cc non compacte

4. Mise en évidence expérimentale de l'existence de variétés allotropiques

XP : recalescence du fer

### III. Alliages

1. Sites cristallographiques (2 p.42)

Reprendre l'hc et la cfc

a. Site tétraédrique

b. Site octaédrique

c. Sites interstitiels préférentiels

2. Différents types d'alliages (1 p.407)

a. Alliages d'insertion

b. Alliages de substitution

3. Propriétés hybrides des alliages ?

### **Bibliographie :**

1. Bottin, II.

2. Vieil HPrépa PC

3. Vieux Tec et Doc jaune et bleu PC

4. Bénayoun Physique de la matière condensée

### **Remarques :**

– Utiliser tout un tas de modèles moléculaires pour présenter les structures

## XXIV. LC24 : Enthalpie de réaction : mesures et applications

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Enthalpie => modélisation isobare ( $\neq$  énergie interne => isochore)

### I. Enthalpie de réaction : rappels (9 p.633, 4 p.44)

Passer vite

#### 1. Définitions

- a. Enthalpie et énergie interne
- b. Enthalpie et énergie interne de réaction
- c. Enthalpie et énergie interne standards de réaction

#### 2. Lois d'évolution avec la température (4 p.446)

- a. Lois de KIRCHOFF
- b. Approximation d'ELLINGHAM
- c. Relation entre  $\Delta_r^0U$  et  $\Delta_r^0H$  (9 p.636)

### II. Mesures d'enthalpies de réaction

#### 1. Mesure directe par calorimétrie isobare adiabatique

- a. Conditions d'utilisation (4 p.456)
- b. Manipulation

XP : mesure de l'enthalpie de la réaction d'oxydation du Zinc par le Cuivre (3 p.187, 8 p.76). Méthode de compensation de RUMFORD

c. Bilan enthalpique et température de flamme adiabatique (9 p.660, 4 p.452)

2. Réacteur isochore adiabatique : la bombe calorimétrique (9 p.660)

Mesure indirecte, pour des gaz

- a. Conditions d'utilisation (mêmes que ci-dessus)
- b. Bilan enthalpique, température et pression d'explosion adiabatiques

Transition : et si ces conditions ne sont pas respectées ?

3. Détermination indirecte par combinaison linéaire d'équations-bilan : loi de HESS

#### a. Manipulation

XP : double réaction Mg et MgO / H<sup>+</sup> (3 p.190)

#### b. Principe (4 p.458)

4. Mesure par la loi de VAN'T HOFF (5 p.112, p.104)

#### a. Loi de VAN'T HOFF

Attention, pas au programme de 1<sup>ère</sup> année

#### b. Dissociation du phosgène (COCl<sub>2</sub>)

### III. Applications

1. Dosage calorimétrique (6)

2. Énergie réticulaire (2 p.446)

#### a. Définition

#### b. Propriétés

c. Détermination expérimentale via un cycle de BORN-HABER (7 p.75, 9 p.657)

XP : mesure d'une énergie réticulaire (= enthalpie de réaction à 0 K) avec la ddp d'une pile en fonction de la température

3. Nutrition et transpiration (1 p.53)

**Conclusion** Possible de mesurer des enthalpies standard de réaction par précipitation et complexation, les thèmes qui nous occuperont pour les 2 LC suivantes (9 p.662)

### Bibliographie :

1. Atkins, Chimie physique troisième édition
2. BOTTIN, MALLET et FOURNIÉ vieux Cours de Chimie II.
3. Cachau rédox
4. HPrépa neuf PCSI
5. Vieil HPrépa vert PC "Thermodynamique chimique" p.112
6. Le Maréchal I.

7. Porteu-de Buchère
8. Sarrazin
9. Tec et Doc PCSI

**Remarques :**

- Leçon de MPSI
- Réflexion intéressante sur la nature d'une flamme dans le Tout-en-un de PCSI p.346

- "... de flamme" = "à P cste" et "... d'explosion" = "à V cst"
- La manip' de la ddp en fonction de la température, réalisée dans la LC22, serait légèrement tendencieuse ici car elle porte sur l'énergie réticulaire, concept dont le lien avec l'enthalpie de réaction n'est pas forcément évident (Tec p.656)... A tenter ? Yep, dans les applications
- Connaître l'état standard (Tec p.620)
- Tous les systèmes sont fermés
- S'attendre à 10% d'erreur avec la calorimétrie

# XXV. LC25 : Illustrations expérimentales et applications des réactions de complexation

Binôme : Tom

Date de passage : 08/11/10

Correcteur : ZOBIRI

## Intro ?

### I. Equilibre de complexation

1. Rappels (8 p.225, 4 p.524)

2. Equilibres successifs

a. Définitions

b. Diagrammes de prédominance

c. Mise en évidence expérimentale

XP : complexes successifs du Nickel (7 p.104)

3. Détermination spectrophotométrique de la stoechiométrie : méthode de JOB

XP : complexation de  $\text{Ni}^{2+}$  par l'EDTA (7 p.91)

(OU XP : complexation de  $\text{Fe}^{3+}$  par  $\text{SCN}^-$  (7 p.118))

### II. Compétition entre équilibres

Dosage complexométrique : dureté d'une eau minérale

1. Compétition entre plusieurs ligands

a. Principe (4 p.536, 8 p.237)

b. Manipulation

XP : détermination colorimétrique (EDTA) de la dureté d'une eau ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) (6 p.45, 8 p.237, 7 p.44, doc acc TP C12?)

c. Interprétation

2. Compétition avec un équilibre de précipitation

a. Principe (4 p.537, 3 p.254)

b. Manipulation

XP : dosage colorimétrique (EDTA et NET) par la méthode de

CHARPENTIER-VOHLARD des ions chlorures d'une eau minérale (6 p.103, p.42, 3 p.253, 7 p.90)

c. Interprétation

### III. Applications

1. Extraction de l'or (exo 5 p.626)

2. Testeur d'humidité (7 p.96)

XP

3. Hémoglobine (2 p.649)

Conclusion Référence à un NOBEL récent (1 p.354)

### Bibliographie :

1. Cours de Paul Arnaud
2. Atkins, Chimie inorganique
3. Brénon
4. HPrépa neuf PCSI
5. Précis PCSI Mesplède
6. 100 manip', Mesplède
7. Le Maréchal I.
8. Tec MPSI

### Remarques :

- Théorie du champ cristallin : à connaître dans ses grandes lignes (Le Maréchal général)
- Leçon de MPSI
- Formule du NET (100 manip' p.53)
- Tampon ammoniacal résiste à la dilution lors du dosage
- LC suivante en prérequis

# XXVI. LC26 : Illustrations expérimentales et applications des réactions de précipitation

Binôme : **Julien LB**

Date de passage : 04/11/11

Correcteur : Clo'clo

## Intro ?

### I. Equilibre de précipitation

1. Rappels (2 p.550, 6 p.250)

a. Produit de solubilité

b. Solubilité

Tableau d'avancement

c. Condition de précipitation

2. Précipitations compétitives - Echelles de  $pK_s$  (6 p.255)

Règle du  $\gamma$

XP : compétition entre précipités d'halogénures de plomb (2 p.555)

### II. Influence de différents facteurs sur la solubilité

La solubilité dépend bien sûr du solvant !

1. Effet d'ion commun (2 p.553)

=> domaines d'existence (Tec p.254)

XP : NaCl avec  $H^+$  (4 p.188)

2. Influence de la température

a. Mise en évidence expérimentale

XP : KCl

b. Interprétation (6 p.253)

Rigoureuse en 2<sup>ème</sup> année

3. Influence du pH

a. Principe (2 p.559)

b. Mise en évidence expérimentale

XP : changement de solubilité de l'acétate d'argent avec le pH ( $CH_3COOAg$ ) (référence?)

4. Solubilité et complexation

a. Principe (2 p.537, 1 p.254)

b. Cas des hydroxydes amphotères

XP : suivi pH-métrique de l'évolution de l'ion  $Al^{3+}$  avec le pH (3 p.109)

c. (Manipulation)

(XP : dosage colorimétrique (EDTA et NET) par la méthode de CHARPENTIER-VOHLARD des ions chlorures d'une eau minérale (4 p.103, p.42, 1 p.253, 3 p.90))

### III. Applications

1. Dosage de MOHR (lié au I. 2.) (5 p.174, 4 p.103, p.42, 7 p.101, doc ac TP C15?)

Evoquer CHARPENTIER-VOHLARD

XP : ions chlorures dans une eau minérale. Précipitation compétitive

2. Recristallisation : la pluie d'or (3 p.229)

Conclusion II. 2. b. lié aux déplacements d'équilibre en deuxième année

### Bibliographie :

1. Brénon
2. HPrépa neuf PCSI
3. Le Maréchal I.
4. 100 manip' Mesplède
5. Sirius
6. Tec MPSI
7. Vieux Tomasino

### Remarques :

– Leçon de MPSI



- LC précédente en prérequis
- Les échelles de  $pK_s$  doivent être écrites avec 1 particule échangée (donc attention à la stœchiométrie)
- A la place de CHARPENTIER-VOHLARD, il serait envisageable d'effectuer une étude pH-métrique sur l'évolution de l'Alumi-

- nium (II. 3. c.)
- Fonctionnement d'une cellule pH-métrique : annexe d'un HPrépa
- On fixe la concentration d'une espèce pour tracer des diagrammes E/pL (remarque dans la marge 6 p.255)

# XXVII. LC27 : Principe et illustrations des dosages potentiométriques (pH-métrie exclue)

Binôme : **Nayélie**

Date de passage : 17/01/11

Correcteur : Z

## I. Principe de la potentiométrie

### 1. Définition théorique du potentiel

- a. Définition d'une ddp (9 p.285)
- b. Formule de NERNST (4 PCSI p.583)

### 2. Définition pratique de la potentiométrie

a. Choix d'une électrode de référence : l'électrode standard à hydrogène (ESH) (4 p.581)

Convention de mesure (9 p.285)

b. Différents types d'électrodes (2 p.96, 9 p.290, 4 p.584)

Précautions à respecter

## II. Dosage potentiométrique des ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) par cérimétrie (4 p.594, 9 p.317)

Dosages colorimétrique (5 p.149, 6 p.259) et spectrophotométrique (3 p.227) envisageables

### 1. Validation qualitative du dosage (HPrépa)

- a. Espèces en présence
- b. Une réaction quantitative
- c. Une réaction rapide

XP :  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Ce}^{4+}$  donnent  $\text{Fe}^{3+}$  caractérisé par un complexe rouge sang avec  $\text{SCN}^-$

### 2. Manipulation : suivi potentiométrique

XP (6 p.259, 8 p.81). Dosage colorimétrique (ortho-phénantroline de fer(II)) pour avoir à peu près l'équivalence

3. Etude du potentiel en fonction du volume de solution titrante ajouté (4 p.596)

- a. Avant l'équivalence

b. A l'équivalence

c. Après l'équivalence

4. Détermination du point d'équivalence : méthode de GRAN (9 p.319, BUP n°704 ?)

5. Retour sur le choix de l'IC rédox (4 p.598)

## III. Dosage potentiométrique avec précipitation d'un mélange d'ions halogénures par une solution de nitrate d'argent

### 1. Précipitation sélective

XP : mise en évidence de la différence de solubilité entre  $\text{AgCl}$  et  $\text{AgI}$  (exo 4 p.606)

### 2. Manipulation

XP (2 p.277, 1 p.264)

3. Interprétation (2 p.277, 1 p.264, compléments dans 5 p.85)

a. Evolution des concentrations et de la ddp au cours du dosage

b. Déterminations

4. Mise au point d'une électrode de référence (7 p.138)

Si reste du temps

- a. Idée
- b. Etude potentiométrique
- c. Résultats

## **Bibliographie :**

1. Brénon
2. Cachau rédox
3. Daumarie
4. HPrépa neuf PCSI
5. Le Maréchal I.

6. Le Maréchal II.
7. 100 manip'
8. Sarrazin
9. Tec MPSI

**Remarques :**

- Leçon MPSI
- L'électrode à hydrogène, si elle sert de référence, n'est néanmoins pas utilisée car l'hydrogène est particulièrement inflammable. De plus, il faut se placer à pH nul (?)
- Lorsqu'on écrit la fem d'une pile comme une ddp, cette ddp fait intervenir les potentiels des électrodes (et celui de la solution

ainsi que, en toute rigueur, celui dit "de jonction" introduit par la paroi poreuse ou par le pont salin) (Tec MPSI p.285)

- Il est peu probable que le dosage des ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) par les ions cerriques ( $\text{Ce}^{4+}$ ) donne bien 0.77V comme ordonnée du point stationnaire (à la demi-équivalence, annulation de la dérivée). En effet, en milieu sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), il y a complexation des ions Fer (lesquels?) (la force ionique joue un rôle minoritaire). On trouve plutôt 0.68V
- Il est tentant de présenter le dosage en retour des ions ferreux par les ions dichromates... S'y risque qui l'ose (Tec MPSI p.320, exo HPrépa neuf p.605, reste à trouver un protocole fiable)
- Les couples  $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  sont rapides sur électrode de platine

## XXVIII. LC28 : Cinétique homogène : étude expérimentale

Binôme : **Gladys**

Date de passage : 31/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Prérequis (3 p.67)

### I. Suivi expérimental du zob d'une réaction

1. Rappels et objectifs (5)

2. Suivi spectrophotométrique

XP : oxydation des ions iodures ( $I^-$ ) par les ions peroxodisulfates ( $S_2O_8^{2-}$ ) (4 p.199)

a. Manipulation

b. Commentaires sur la méthode

3. Suivi conductimétrique

XP : hydrolyse du chlorure de tertiobutyle ( $(CH_3)_3CCl$ ) (4 p.209, 1 p.167, 2 p.71)

Attention ! Il se pourrait qu'il faille remplacer l'acétone par l'éthanol sans quoi la réaction serait trop lente

a. Manipulation

Acquisition avec Graph2D

b. Commentaires sur la méthode

c. Influence de la constante diélectrique du milieu réactionnel

4. Autres méthodes

a. Autres méthodes physiques

Suivi de la pression, de l'activité optique

b. Méthodes chimiques

Suivi du pH

### II. Détermination d'une loi de vitesse (5, 4)

1. Dégénérescence de l'ordre : variante de la méthode d'isolement d'OSTWALD

a. Principe (5)

b. Détermination de l'ordre partiel par rapport aux ions peroxodisulfates

XP : suivi par horloge chimique (4)

c. Détermination de l'ordre partiel par rapport aux ions iodures

XP : suivi par horloge chimique (4)

2. Exploitation graphique des résultats par la méthode...

Avec  $(CH_3)_3CCl$ , sauf la dernière, avec  $S_2O_8^{2-}$

a. ... intégrale

b. ... différentielle

c. ... de GUGGENHEIM

d. ... des temps de demi-réaction

e. ... des vitesses initiales

Méthode imprécise

f. Comparaison des k du  $(CH_3)_3CCl$

### III. Mesure d'une énergie d'activation (5, 4)

1. Influence de la température

2. Influence d'un catalyseur : le sel de MOHR

**Conclusion** Le chemin réactionnel est lié aux mécanismes microscopiques, qui doivent être compris pour pouvoir comparer les propriétés catalytiques de différents produits. Ce pourrait aussi permettre la compréhension de la synthèse préférentielle d'un produit plutôt qu'un autre en Chimie organique mais il s'avère que plusieurs réactions chimiques composées interviennent simultanément => nécessité du chapitre suivant

### **Bibliographie :**

1. Blanchard
2. Daumarie
3. HPrépa neuf PCSI
4. Mesplède, 100 manip'

## 5. Tec et Doc PCSI

### Remarques :

- Attention ! Grosse précaution expérimentale à prendre dans l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle ! Le mélange eau / acétone étant exothermique, il faut attendre quelques instants que le mélange soit revenu à température ambiante, sans quoi le  $k$  merde !
- Une trempe freine une réaction par diminution de la température mais aussi par dilution

- Dans l'eau lourde, l'oxygène est au degré d'oxydation -I
- Spécifier que l'unité de  $k$  dépend de l'ordre global de la réaction
- Les méthodes par dégénérescence, contrairement à celles par stœchiométrie, permettent de remonter à l'ordre partiel
- Il semblerait qu'il soit difficile d'exploiter le suivi spectrophotométrique sans une connaissance précise des  $\epsilon_\lambda$ , fonctions de la température
- Manipulations nombreuses : savoir quoi présenter en live et quoi préparer en coulisses

# XXIX. LC29 : Mécanismes réactionnels en cinétique homogène ; illustrations

Binôme : Anaïs

Date de passage : 06/12/10

Correcteur : Z

**Intro** Le chemin réactionnel est lié aux mécanismes microscopiques, qui doivent être compris pour pouvoir comparer les propriétés catalytiques de différents produits. Ce pourrait aussi permettre la compréhension de la synthèse préférentielle d'un produit plutôt qu'un autre en Chimie organique mais il s'avère que plusieurs réactions chimiques composées interviennent simultanément. De plus,  $H_2 + I_2$  (élémentaire) OU  $Br_2$  (complexe) n'ont pas la même loi cinétique (4 p.189)

## I. Processus élémentaires (4, 3)

### 1. Définitions

- a. Processus élémentaire
- b. Molécularité
- c. Collision efficace

### 2. Description microscopique d'un processus élémentaire

- a. Hypersurface d'énergie potentielle
- b. Etat de transition
- c. Critère d'efficacité énergétique : loi d'ARRHÉNIUS
- d. Critère d'efficacité stérique

Loi de VAN'T HOFF (4 p.191) et orientation. Vidéo

- e. Autres processus élémentaires (3 p.132)

Ionosphère (3 p.136)

## II. Réactions complexes (3, 4)

### 1. Illustration expérimentale (Bréal Tale p.288 ?)

XP : sel de SEIGNETTE. IR isolable par trempe ( $\neq$  ET)

### 2. Intermédiaires réactionnels

- a. Définition (4 p.196, 3 p.135)
- b. Formation et nature des IR (4 p.197)

3. Approximation de l'étape cinétiquement déterminante (3 p.136, 4 p.199)

XP : Cinéwin

4. Approximation de BODENSTEIN de l'état quasi-stationnaire

Temps d'induction

## III. Exemples de mécanismes (4, 3)

### 1. Mécanismes par stades

a. Définition

b. SN1 : hydrolyse du chlorure de tertiobutyle (4 p.201, 3 p.138)

XP (1 p.167, 2 p.71)

### 2. Mécanismes en chaînes

a. Définition

b. Synthèse thermique de HBr (4 p.206)

**Conclusion** Une fois compris les mécanismes réactionnels, on peut ainsi envisager de favoriser la synthèse d'un produit plutôt que d'un autre en travaillant dans les conditions adéquates (catalyseur, pH...). Tout ceci sera déterminant lors de l'étude des mécanismes réactionnels en Chimie organique LC37

## Bibliographie :

1. Blanchard
2. Daumarie
3. HPrépa neuf PCSI
4. Tec et Doc PCSI

## Remarques :

- IR : minimum local d'énergie potentielle dans toutes les directions  $\neq$  ET : maximum dans une direction et minimum dans toutes les autres

- ARRHÉNIUS vient de la théorie cinétique des gaz ainsi que de celle du... complexe activé (?)
- Mécanisme de l'expérience du sel de SEIGNETTE ?

- Avec plus d'acétone dans l'hydrolyse du chlorure de tertio-butyle, on rend le milieu moins polaire donc moins propice à la stabilisation du carbocation, IR => on ralentit la réaction

# XXX. LC30 : Illustrations expérimentales et applications des lois de déplacement des équilibres

Binôme : **Ileyk**

Date de passage :

Correcteur : ZOBIRI

**Intro** Rôle de base des facteurs d'équilibre dont le nombre est fixé par la variance (1 p.78)

## I. Influence des paramètres physiques température et pression sur un système fermé

### 1. Influence de T

a. Dimérisation du dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) en tétraoxyde de diazote ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) (BUP 879?)

XP : chaud  $\neq$  froid

b. Solubilité de l'iodure de plomb ( $\text{PbI}_2$ )

XP : tout juste trop, le mettre au chaud, puis retour au froid (2 p.229)

Application à la recristallisation

c. Thermochromie (2 p.96)

XP : complexation avec hexaaquacobalt (II) (4 p.184)

### 2. Influence de P

XP : ouverture d'une bouteille de boisson gazeuse

3. Application à l'optimisation de la synthèse industrielle...

(5)

A approfondir

a. ... du trioxyde de soufre ( $\text{SO}_3$ ) (1 p.86, 6 p.145)

b. ... de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) (1 p.90, 6 p.159)

## II. Influence de l'ajout ou du retrait d'un constituant

### 1. Ajout d'un réactif (6 p.150)

XP : souffler avec une paille dans de l'eau de chaux => lait de chaux

2. Ajout d'un constituant inactif : effet de la dilution (6 p.147)

Ex : AgCl. Loi d'OSTWALD

3. Retrait d'un produit : montage DEAN-STARK XP : estérification pour de l'éthanoate d'éthyle (3 p.86)

**Conclusion** Comprendre ce qu'il s'est passé dans le mélange binaire eau / cyclohexane dans la prochaine leçon

## **Bibliographie :**

1. HPrépa PSI
2. Le Maréchal I.
3. Le Maréchal II.
4. 100 manip'
5. Perrin
6. Tec PC

## **Remarques :**

- Demander à Cécile, en particulier pour le mélange binaire dans l'estérification
- Les étapes qui suivent une estérification : 1. Refroidir le mélange pour éviter l'hydrolyse de l'ester. 2. Laver au NaCl saturé (re-largage) : on diminue ainsi la solubilité (déjà faible) de l'ester dans la phase aqueuse. 3. Lavage à l'hydrogencarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) pour neutraliser l'acide de la phase organique. 4. Séchage. 5. Evaporateur rotatif pour séparer le cyclohexane de l'ester



# XXXI. LC31 : Mélanges binaires : équilibres liquide-vapeur ; applications (liquides non miscibles exclus)

Binôme : **Florian**

Date de passage : 24/01/11

Correcteur : Z

**Intro** A plusieurs reprises, on a vu des entraînements à la vapeur, des distillations (extraction, purification...). Mais quel équilibre liquide-vapeur quand ce n'est pas un corps pur mais un mélange binaire ? Définition (4 p.149). Présenter eau+éthanol ( $\neq$  eau+cyclohexane) dont la température d'ébullition  $\neq$  de celle de l'eau ou de l'éthanol (3 p.207)

## I. Mélanges binaires liquide-vapeur idéaux

### 1. Définition et paramètres d'étude

- a. Solution liquide idéale (4 p.150)
- b. Variables de composition (3 p.207)

### 2. Variance d'un mélange binaire liquide-vapeur (3)

S'appuyer sur une courbe d'analyse de température. Conclure sur la possibilité de diagrammes binaires

### 3. Loi de RAOULT (3 p.55, p.217, 4 p.151)

La démontrer. Evoquer la loi de DALTON, déjà vue

### 4. Construction des diagrammes binaires idéaux

a. Diagramme isotherme : courbes d'ébullition et de rosée

Détermination analytique (4 p.152, 3 p.217)

### b. Diagramme isobare

Obtention expérimentale via les courbes d'analyse de température (4 p.156, 3 p.212)

### 5. Lecture des diagrammes binaires (4 p.153)

- a. Théorème de l'horizontale
- b. Théorème des moments chimiques

Le démontrer

## II. Mélanges binaires non idéaux - Azéotropie

### 1. Solutions liquides non idéales (4 p.158, 3 p.57)

Rester superficiel

- a. Définition
- b. Interprétation microscopique
- c. Potentiel chimique

### 2. Diagrammes expérimentaux... (3 p.215, 4 p.159)

- a. ... à 1 fuseau
- b. ... à 2 fuseaux

Evoquer l'(homo)azéotrope sans le définir. Azéotropie positive / négative

### 3. Azéotrope (4 p.160)

- a. Définition
- b. Différence avec un corps pur

## III. Applications

### 1. Distillation fractionnée

#### a. Manipulation (Durupthy 1<sup>ère</sup>)

XP : comparaison des efficacités des colonnes à distiller de VI-GREUX, de DUFTON, et à garnissage en réalisant la séparation du pentane et de l'heptane mais avec les 3 colonnes. En comparant les indices de réfraction, on compare les efficacités des colonnes

b. Caractérisation au réfractomètre et interprétation (4 p.167)

#### c. Applications industrielles

Raffinage du pétrole brut (manuels de lycée) et du zinc (1 p.100 procédé "New Jersey"  $\rightarrow$  zéro référence)

### 2. Distillation avec azéotrope

#### a. Manipulation

XP : distillation de l'éthanol d'un vin (azéotrope avec l'eau). Montrer que la composition varie selon la pression à laquelle est réalisée la distillation ? Evaporateur rotatif ?

#### b. Caractérisation de l'azéotrope au réfractomètre

**Conclusion** Nécessité d'envisager les mélanges à la miscibilité partielle ou nulle : eau+cyclohexane, hydrodistillation de l'eugé-nol (4 p.168). En outre, une détermination analytique des courbes d'un diagramme isobare est possible via la loi de VAN'T HOFF. Nous verrons en TD que l'expression obtenue montre qu'une mesure de la température d'ébullition d'un mélange binaire (plus élevée) permet de remonter à sa composition : c'est l'ébulliométrie (exo 3 p.235)

#### **Bibliographie :**

1. BUP 770
2. Durupthy 1<sup>ère</sup>
3. HPrépa PC

#### 4. Tec MP

#### **Remarques :**

- Leçon MP
- L'agitation lors de l'ébullition d'une solution sert à éviter tout retard à l'ébullition qui se solderait par l'explosion de grosses bulles (cavitation)
- Jamais de point anguleux pour un azéotrope à maximum / minimum
- Dépendance en température de l'indice de réfraction : de l'ordre de  $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$
- Pour différencier un azéotrope d'un corps pur, on fait varier la pression : la composition de l'azéotrope va alors changer

# XXXII. LC32 : Lecture et utilisation des diagrammes d'ELLINGHAM ; application à la pyrométallurgie

Binôme : **Luciani**

Date de passage : 03/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Les métaux natifs ( $\neq$  nobles) se rencontrent sous forme oxydée. Exemple : l'hématite amorphe  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . L'hématite, dont l'étymologie renvoie au sang, servait de pigment rouge et donne à la surface de Mars sa couleur si caractéristique. Définir pyrométallurgie

## I. Thermodynamique de la formation des oxydes : construction des diagrammes d'ELLINGHAM

Passer vite (limite HS)

1. Enthalpie libre standard de formation  $\Delta_r G^\circ(T)$

a. Convention de stoechiométrie du dioxygène (4 p.183)

b. Approximation d'ELLINGHAM (2 p.305)

Relations de KIRCHOFF, ce qui est négligeable et validité

c. Expression simplifiée de  $\Delta_r G^\circ(T)$

Définition d'un diagramme d'ELLINGHAM

2. Tracé d'un diagramme d'ELLINGHAM (2 p.307)

a. Signe de la pente

b. Influence d'un changement d'état

Du métal puis de l'oxyde

c. Propriétés du diagramme (4 p.184)

Continuité de  $\Delta_r G^\circ(T)$ , discontinuité de  $\Delta_r S^\circ$  et segments  $\sim$  ||

## II. Exploitation des diagrammes d'ELLINGHAM

1. Domaines de stabilité (4 p.186, 2 p.311)

a. A l'état condensé

b. En présence d'une phase gazeuse

Domaine de prédominance ( $\neq$  d'existence exclusive)

2. Pression de corrosion d'un métal

a. Définition

b. Prévission thermodynamique du sens d'évolution (2 p.316)

A température fixée puis à pression partielle en dioxygène fixée

3. Réduction d'un oxyde métallique... (4 p.188)

a. ... sans changement de phase

b. ... avec changement de phase

XP : aluminothermie (Souil XP de Chimie tome II. p.193? doc ac?)

4. Coexistence de plusieurs oxydes d'un même élément : cas du fer et de ses oxydes (2 p.324)

Transition : Aluminium coûteux à produire (par électrolyse)

## III. Application à la pyrométallurgie du Zinc (1, 4 p.195, 2 p.330)

1. Etapes industrielles

2. Grillage de la blende

XP

3. Réduction de l'oxyde de zinc ( $\text{ZnO}$ )

XP : réduction de principe de l'oxyde de Cu (Souil ? 3)

**Conclusion** Nécessité de tenir compte de l'aspect cinétique (XP?). Omniprésence des métaux dans le monde moderne  $\Rightarrow$  nécessité de les protéger contre la corrosion, notamment humide, ce que nous apprendrons à faire lors des leçons suivantes et qui nécessitera parfois... du zinc!

## Bibliographie :

1. BUP 766

2. HPrépa PC

3. Parisi 1<sup>ère</sup>

#### 4. Tec

##### **Remarques :**

- Introduction border line... Y a-t'il jamais eu suffisamment de dioxygène sur Mars pour oxyder le Fer? Si non, quels sont les mystérieux "ions oxydants" auxquels Wikipedia fait référence?...
- Généralités (classification, terminologie, équation d'obtention d'un oxyde) en prérequis

- Dans  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , on a 2 types d'ions Fer
- En toute rigueur, ce que l'on appelle le diagramme d'ELLINGHAM, c'est le diagramme APRES avoir précisé quels étaient les domaines de stabilité (sans quoi, certaines courbes se croisent)
- Méaux en bas / Oxydes en O
- "Immunité du fer contre la corrosion par le dichlore" (exo HPrépa p.336, quel intérêt industriel?) en II. 2.?
- Métallurgie : art d'extraire les métaux de leurs minerais

## XXXIII. LC33 : Hydrométallurgie

Binôme : **Sébastien**

Date de passage : 29/11/10

Correcteur : Z

**Intro** Dans la LC précédente, nous avons présenté la pyrométallurgie du Zinc. Mais en pratique, 80% de la production se fait par hydrométallurgie, où nous retrouvons l'étape de grillage de la blende déjà présentée et où s'ensuivent de nouvelles étapes à partir de la calcine obtenue. Définir hydrométallurgie

### I. Du minerai à la calcine : en amont de l'hydrométallurgie

1. Le minerai (4 p.195)
2. La flottation (4 p.196, 1)
3. Le grillage de la blende (1, 4 p.196)

### II. Préparation d'une solution électrolytique de sulfate de zinc ( $Zn^{2+} + SO_4^{2-}$ )

1. Première lixivation acide (2, 4 p.261)
2. Élimination des ions Fer(III)
  - a. Lixivation neutre (2, 4 p.261)

Réalisée en même temps que la précédente. Calculer le pH frontière  $Fe^{3+} / Fe(OH)_3$  (travailler avec convention du Tec p.262 pour les concentrations) (HPrépa PC p.352), ainsi que celui de  $Zn^{2+} / Zn(OH)_2$  (pour expliquer pourquoi on s'arrête à pH=5) (4 p.259)

- b. Deuxième lixivation acide (2)
3. Modélisation expérimentale (2 p.111)
    - a. Lixivation

XP

- b. Élimination des ions Fer(III)

XP

4. Cimentation (2 p.105, 3 p.393)
  - a. Nécessité cinétique (3 p.395)

b. Aspects thermodynamiques

c. Manipulation (2 p.112)

XP

### III. Préparation du zinc par électrolyse (1 ou 2 p.106, 3 p.393)

1. Prévission thermodynamique des réactions aux électrodes
2. Utilisation des courbes intensité - potentiel
3. Manipulation (1 ou 2 p.113)

XP

4. Réalisation industrielle

Taux de pureté exceptionnel via l'hydrométallurgie

**Conclusion** Rôle du zinc, assez réducteur, pour protéger les métaux moins réducteurs (Fer, Cuivre) contre la corrosion (anode sacrificielle). Exemple : l'acier galvanisé (BUP 790 ?)

### **Bibliographie :**

- BUP 766
- BUP 770
- HPrépa PC
- Tec MP

### **Remarques :**

- Leçon de MP
- Diagrammes potentiel-pH et intensité-potential en prérequis
- Métal de 1<sup>ère</sup> fusion obtenu directement à partir du minerai  $\neq$  métal de 2<sup>ème</sup> fusion obtenu par recyclage
- Lixivation : attaque d'un minerai par une solution aqueuse réactive
- Cimentation : réduction d'un cation métallique par un métal
- Problème : lors de la première lixivation acide, on augmente le pH par consommation de  $H^+$ . Pourtant, lors de la lixiva-

tion neutre (simultanée dans l'industrie), l'ajout d'un oxydant se solde par la transformation des ions Fer(II) en... ions Fer(III) et pas en  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , alors que le pH frontière est seulement de 1.67! La simultanéité des 2 étapes pourrait être la réponse...

- Construction du diagramme E-pH du Fer dans le HPrépa et le Tec et du Zinc dans le Tec
- On s'arrête à pH=5 lors de la lixivation neutre pour éviter que l'hydroxyde de Zinc(II) ne précipite (BUP 770)
- Lors de la 2<sup>ème</sup> lixivation acide, on utilise l'acide sulfurique produite lors du grillage de la blende
- Consulter aussi les BUP 766 et 790 pour ponctuer la leçon de références à d'autres types d'hydrométallurgie

- Connaître l'architecture cristalline de la blende
- Problème : lors de l'électrolyse, "l'ion  $\text{SO}_4^-$  est électroinerte". Qu'est-ce que ça signifie ?
- L'électrolyse de la solution de sulfate de zinc met en évidence un cas intéressant de contrôle cinétique qui s'oppose et surpasse l'aspect thermodynamique. Cette dernière prévoit la réduction des ions hydrogénosulfates ( $\text{H}_2\text{SO}_4^-$ ) en dioxyde de soufre à la cathode et non pas du Zinc! Mais la cinétique assure la réduction de  $\text{Zn}^{2+}$  et bloque celle des ions hydrogénosulfates (HPrépa p.394)
- Les concentrations ont peu d'influence sur l'allure des diagrammes superposés du II. 2. a.

## XXXIV. LC34 : Applications des diagrammes potentiel-pH (construction exclue)

Binôme : X

Date de passage : 03/01/11

Correcteur : Z

**Intro** Couplage de 2 types d'échanges : d'électrons et de protons. Rappels (8 p.244)

### I. Exploitation des diagrammes E-pH (8 p.256)

#### 1. Lecture du diagramme E-pH de l'élément chlore

a. Convention (8 p.244)

b. Evolution de la nature des espèces en présence avec

le pH

Lecture de  $pK_a(\text{HClO}/\text{ClO}^-)$  et dismutation du dichlore (car domaines de prédominances séparés => réaction)

c. Potentiels des couples rédox

Ordonnée à l'origine + convention => potentiels standards

#### 2. Nature et propriétés de l'eau de dichlore (6 p.326)

a. Superposition avec le diagramme E-pH de l'eau (3 p.348)

b. Composition de l'eau de Javel

On comprend pourquoi il ne faut pas verser d'eau de Javel dans une solution acide ( $\text{Cl}_2(g)$  suffocant) (2 p.294)

c. Stabilité thermodynamique vis-à-vis du solvant

Blocage cinétique

d. Caractère oxydant

#### 3. Diagramme E-pH du diode

XP : dismutation de l'iode en milieu basique (7 p.128, diag E-pH Tec et Doc Chimie 2 Bio Veto p.204?) et sa médiamutation en milieu acide (2 p.178)

### III. Contrôle de la qualité d'une eau (4 p.77, 5 p.101, 1 p.292, 8 p.268)

XP. Dosage indirect iodométrique avec plein de subtilités et de

difficultés, tant théoriques qu'expérimentales. Bonne chance

### II. Protection du fer contre la corrosion : approche thermodynamique

1. Diagramme E-pH de corrosion du Fer (8 p.302, 3 p.356)

2. Diagramme E-pH de corrosion du Zinc (8 p.302)

3. Couche protectrice (de zinc (3 p.401)

a. Galvanisation

b. Electrozingage

c. Effet d'un défaut ponctuel du revêtement

### IV. Hydrométallurgie du zinc : la lixivation

cf LC précédente

**Conclusion** Nécessité de tenir compte de l'aspect cinétique. Essentiels pour l'hydrométallurgie du zinc

### **Bibliographie :**

1. Andre, Ecolochimie
2. Cachau
3. HPrépa
4. Le Maréchal I.
5. 100 manip'
6. Miomandre, Electrochimie
7. Sarrazin
8. Tec MP

### **Remarques :**

- Leçon de MP
- Construction des diagrammes E-pH en prérequis => les parachuter
- Eau de dichlore :  $\text{Cl}_2$  dissous dans une solution aqueuse  $\ni$  Eau de Javel (= hypochlorite de sodium) : dismutation du  $\text{Cl}_2$  dissous

dans la soude

- $\text{HClO}$  : acide hypochloreux (propriétés bactéricides)  $\neq \text{ClO}^-$  : ions hypochlorites. Le  $\text{pK}_a$  de ce couple vaut 7.5  $\Rightarrow$  l'acide hypochloreux devient majoritaire dès lors que l'on verse de l'eau de Javel dans une solution neutre
- Compléments sur l'origine de l'eau de Javel (Cachau rédox p.266)
- XP introductive délicate à expliquer... A la limite, opter pour la médiamutation et l'XP de l'encre sympathique

- Dismutation : transformation d'un composé qui donne le réducteur d'un couple rédox de cet élément et l'oxydant d'un autre couple de ce même élément
- Médiamutation : formation d'un composé qui est à la fois le réducteur d'un couple rédox de l'élément considéré et l'oxydant d'un autre couple de ce même élément. C'est juste la réaction inverse d'une dismutation
- On tient plus souvent compte de l'oxyde que de l'hydroxyde dans un diagramme E-pH car le 1<sup>er</sup> est plus stable



# XXXV. LC35 : Applications des courbes intensité-potentiel

Binôme : **Licari**

Date de passage : 22/11/10

Correcteur : Z

**Intro** Rappels et aspects industriels

## I. Cas d'évolutions spontanées

### 1. Potentiel mixte (8, 4)

#### a. Action des acides sur les métaux

XP : zinc impur dans HCl concentré => ça réagit  $\neq$  plomb dans HCl concentré => blocage cinétique

b. Micropiles de corrosion et protection cathodique par anode sacrificielle (8 p.303, 7 p.275)

XP : fer et zinc dans un verre à pied (7 p.287)

### 2. Fem effective d'une pile (8 p.294)

< à celle prévue par la  $\theta$ D. Pile oxhydrique

## II. Cas d'évolutions forcées : l'électrolyse

1. Electrolyse d'une solution aqueuse d'acide sulfurique : mesure de la constante de FARADAY

XP (5 p.187, 1 p.154)

2. Synthèse du dichlore et de la soude par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium

XP (2 p.264)

### 3. Accumulateur au Plomb

XP (3 p.271, 6 p.229, 5 p.201)

## III. Hydrométallurgie du zinc

### 1. Cémentation (8, 4)

2. Electrolyse d'une solution de sulfate de zinc et d'acide sulfurique (4)

**Conclusion** Rôle des diagrammes i-E et de la cinétique en général pour protéger contre la corrosion dans la leçon suivante

## **Bibliographie :**

1. 100 manip'
2. Cachau
3. Daumarie
4. HPrépa PC
5. Maréchal
6. Miomandre
7. Sarrazin
8. Tec MP

## **Remarques :**

– Leçon de MP

# XXXVI. LC36 : Corrosion humide et protection des métaux contre la corrosion

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Combien ça coûte? Diagrammes d'ELLINGHAM => étude de la corrosion sèche. Corrosion humide?

## I. Approche qualitative de la corrosion humide

### 1. Mise en évidence expérimentale

XP : paille de fer dans ballon retourné (référence?)

### 2. Différents types de corrosion (7, 3)

#### a. Corrosion uniforme

XP : fer dans acide chlorhydrique =>  $H_2(g)$  (1 p.172)

#### b. Corrosion différentielle

XP : mesure du courant entre fer et cuivre dans verre à pied plein d'acide chlorhydrique (= clou enroulé de cuivre dans gel agar-agar)  
Bateaux, rouille, corrosion caverneuse, corrosion galvanique (tube en cuivre / radiateur en fer) et auréole de rouille autour d'une goutte d'eau (6 p.270, 5 p.254)

## II. Approche quantitative

### 1. Etude thermodynamique : corrosion du fer

Diagramme E-pH du fer dans l'eau (3 p.398)

Immunité, corrosion, passivité

Discussion sur l'XP du I. 2. a.

### 2. Etude cinétique

#### a. Corrosion par aération différentielle (7 p.308)

XP : tube en U avec et sans  $O_2$  (2 p.156, 6 p.290), ~ pile d'EVANS à aération différentielle (7 p.308)

XP : goutte d'EVANS (7, 3)

#### b. Zones d'écrouissage (3, 6 p.290)

Clous tordus dans gel agar-agar. Autre forme de corrosion par aération différentielle

### c. Corrosion galvanique : micropile de corrosion (7

p.303)

Discussion sur l'XP du I. 2. b.

## III. Protection contre la corrosion

### 1. Traitements de surface

#### a. Passivation du fer

XP : fer dans acide nitrique très concentré puis concentré => pas de corrosion (4 p.220)

#### b. Méthodes de dépassivation du fer

XP (4 p.220)

#### c. Galvanisation et électrozingage (7 p.302, p.311)

Le zinc forme une couche d'oxyde imperméable

### 2. Protection par anode sacrificielle

XP du I. 2. b. mais avec du zinc à la place du cuivre => quand 2 métaux sont en contact, c'est le plus électropositif qui se corrode (= clou enroulé de zinc dans gel agar-agar)

### 3. Autres formes de protection (5)

#### a. Protection cathodique à courant imposé

#### b. Utilisation d'inhibiteurs de corrosion

**Conclusion** Un dernier facteur capable d'initier une corrosion différentielle, c'est un gradient de température par effet SEEBECK, à la base du fonctionnement des thermocouples

## **Bibliographie :**

1. 100 manip'
2. Cachau
3. HPrépa PC
4. Maréchal
5. Miomandre
6. Sarrazin
7. Tec MP

**Remarques :**

- Toujours décaper les métaux avant de les utiliser
- Potentiel de FLADE (100 manip' p.174) pour interpréter en pro-

- fondeur la passivation du fer d'un point de vue cinétique
- Bleu de TURNBULL ( $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ , précipité bleu) se forme en présence d'ions  $\text{Fe}^{2+}$

# XXXVII. LC37 : Exemples de mécanismes en chimie organique : additions électrophiles sur la double liaison carbone-carbone

Binôme : **Geoffrey**

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Alcènes et dérivés ethyléniques

### 1. Définitions (2 p.205)

a. Alcènes

b. Dérivés ethyléniques

Cyclènes, polyènes...

### 2. Réactivité

a. Règle de stabilité (3 p.339)

"Un alcène est d'autant plus stable qu'il est substitué" et " $Z < E$ "

b. Nature électronique de la double liaison (2 p.208)

Liaisons  $\pi$  et  $\sigma$

c. Modes d'attaque (2 p.208)

Doublet est base de LEWIS et nucléophile

## II. Addition des dihalogènes : halogénéation

### 1. Equation-bilan

### 2. Exemples expérimentaux de bromations

a. Bromation du cyclohexène

XP (3 p.351). Test caractéristique de la double liaison C-C

b. Bromation du stilbène

XP (1 p.87). Mesure de la température de fusion au banc KOFFLER

3. Interprétation en termes de mécanismes réactionnels (3 p.348)

a. En solvant polaire et dispersant

1. Polarisation du dibrome, attaque par le nuage  $\pi$  et formation d'un ion ponté bromium

2. Attaque nucléophile anti

Profil réactionnel énergétique et ECD. Réactivité des différents dihalogènes (3 p.352)

b. En solvant apolaire ou peu polaire, et peu dispersant

c. Bilan stéréochimique (3 p.350, 2 p.213)

Diastéréospécifique et diastéréosélective. Retour sur la température de fusion

Transition : bien qu'apolaires, les dihalogènes étaient polarisables via l'influence du nuage  $\pi$ . Voyons maintenant des polaires

## III. Addition des halogénures d'hydrogène : hydrohalogénéation

### 1. Equation-bilan

### 2. Observations expérimentales

a. Régiosélectivité : règle de MARKOVNIKOV (3 p.342)

S'appuyer sur un exemple (HPrépa p.220). Carbocation et postulat de HAMMOND

b. Cinétique chimique (2 p.216)

c. Stéréochimie : rien

### 3. Mécanisme réactionnel (2 p.217)

a. Description

b. Stabilité des carbocations

(2 p.218, p.220)

## IV. Addition d'eau : hydratation

### 1. Equation-bilan

### 2. Réalisation expérimentale

(XP : hydratation de l'hexène (1 p.90). Mesure de la température d'ébullition)

### 3. Mécanisme réactionnel (2 p.221)

a. Description

b. Régiosélectivité MARKOVNIKOV

Conclusion On s'est restreint aux additions ioniques, on verra

aussi des additions radicalaires et une réaction d'ozonolyse oxydante. Ethène et propène sont utilisés comme "synthons" (ie intermédiaires de synthèse), notamment dans la synthèse des polymères que nous étudierons dans la LC39

**Bibliographie :**

1. Blanchard
2. HPrépa
3. Tec

**Remarques :**

- La forte densité électronique attire aussi les oxydants => ozo-

nolyse coupe la double liaison C-C

- Hydrogénation catalytique par ajout de dihydrogène en présence de Nickel de RANEY possible aussi
- Les additions, exclusivement ioniques, présentées dans cette leçon se font sous contrôle de charges et avec des coupures hétérolytiques
- Dans les additions de dihalogènes, on ne considère ni le difluor, trop réactif, ni le diode, trop inerte
- Bromation et chloration sont exothermiques
- Attention à la manipulation du méthanol
- Avoir un cristalliseur de thiosulfate de sodium pour éliminer le dibrome (et travailler avec de l'eau de brome)

# XXXVIII. LC38 : Conformations et configurations ; illustrations expérimentales

Binôme : **Luthmilla**

Date de passage : 04/10/10

Correcteur : Z

**Intro** Première séparation (d'énantiomères) par PASTEUR en 1848 dans des cristaux de tartrate de sodium et d'ammonium constitués de 2 types de cristaux différents

## I. Stéréoisomères de conformations

1. Définition (4 p.280, 2 p.173)
2. Analyse conformationnelle du butane (2 p.168)
  - a. Géométrie

XP : modèles moléculaires

Evoquer la gêne stérique en comparant les rayons de VAN DER WAALS aux distances interatomiques

b. Etude énergétique

Eclipsée moins stable que décalée

c. Distribution statistique de BOLTZMANN

3. Analyse conformationnelle du cyclohexane (2 p.169)

a. Géométrie

Conformations chaises, bateaux, croisées, enveloppe

b. Etude énergétique

c. Cyclohexanes mono et disubstitués (4 p.289, 2 p.172)

Passer vite, hors programme

## II. Stéréoisomères de configuration

1. Définition (2 p.175)
  - a. Cas d'un atome assymétrique C\*
  - b. Cas d'une double liaison C-C
  - c. Définition générale
2. Règle séquentielle de CAHN, INGOLD et PRELOG (CIP) (2

p.175)

a. Enoncé des 3 règles

b. Nomenclature (Z)/(E)

c. Nomenclature (R)/(S)

## III. Enantiomères & diastéréoisomères

### 1. Enantiomères

a. Chiralité : principe de PASTEUR (2 p.181, 4 p.258)

Lien avec C\*

b. Définitions (2 p.183)

Enantiomères, mélanges racémiques

c. Propriétés physico-chimiques (2 p.184)

XP : pouvoir rotatoire (du limonène ? de la nicotine ? du glucose ?) (4 p.257, 3 p.17). Attention à avoir des concentrations suffisamment faibles pour s'assurer de la valeur de l'angle

### 2. Diastéréoisomères

a. Définition (2 p.185)

Pour une double liaison C-C et pour plusieurs C\*

b. Propriétés physico-chimiques (2 p.186, 1)

Solubilité,  $pK_a$

XP : températures de fusion mesurées au banc KOFFLER

3. Relation pour 2 C\* non inclus dans un cycle (2 p.186, 4 p.261)

a. Pour des C\* différemment substitués

b. Pour des C\* identiquement substitués

Composés méso achiraux (4 p.264)

**Conclusion** Organigramme de recherche d'isomères (2 p.188). On va maintenant pouvoir étudier la stéréochimie dynamique, essentielle à la réalisation de produits pharmaceutiques (fin du 4 et du 2)

## **Bibliographie :**

- BUP 777
- HPrépa PCSI neuf

3. Le Maréchal II.

4. Tec PCSI

**Remarques :**

- Leçon de PCSI
- Représentations en prérequis
- Prendre plutôt du limonène (+) et du (-) pour le pouvoir ro-

tatoire afin de faire vérifier au public la chiralité de l'odorat humain

- On peut aisément séparer des diastéréoisomères par distillation. Bien plus délicat pour des énantiomères qui ont les mêmes propriétés physico-chimiques (à l'exception de leur réaction face à des composés chiraux ou à la lumière polarisée). On peut donc se ramener à des diastéréoisomères par réaction, les séparer puis revenir aux énantiomères

## XXXIX. LC39 : Macromolécules

Binôme : Clélia

Date de passage :

Correcteur : Z

Intro (1 p.285). Définir macromolécule

### I. Généralités

#### 1. Définitions (1, 4)

- a. Motif constitutif
- b. Polymère
- c. Monomères
- d. Degré de polymérisation
- e. Indices de polymérisation
- f. Masse molaire moyenne et polymolécularité

#### 2. Structures (4 p.314)

3. Relations structure - propriétés macroscopiques (1 p.298, 4 p.330)

Liaisons intermoléculaires : interactions de VAN DER WAALS, liaisons hydrogène, réticulation. Taux de cristallinité. Propriétés thermiques. Autres propriétés : densité, solubilité, propriétés mécaniques et chimiques

#### 4. Différents types de polymérisation (1 p.288)

- a. Polymérisation par étapes

Polyaddition et polycondensation (4 p.315)

XP : polycondensation du nylon (3 p.119, 5 ?)

- b. Polymérisation en chaîne

Transition : le PMMA est obtenu par polymérisation en chaîne

### II. Poly méthacrylate de méthyle (PMMA) (1 p.289, 4 p.324)

#### 1. Méthacrylate de méthyle

- a. Structure
- b. Synthèse (Perrin ?)

#### 2. Polymérisation anionique du MAM

- a. Conditions
- b. Mécanisme

Amorçage, propagation, rupture

- c. Régiosélectivité : addition tête à queue
- d. Cinétique globale

#### 3. Propriétés stéréochimiques du PMMA et de sa synthèse

- a. Tacticité
- b. Tacticité liée aux C\*
- c. Stéréosélectivité de la polymérisation du PMMA

#### 4. Synthèse industrielle? (Perrin ?)

### III. Protéines (cf LC04)

Conclusion Evoquer la polymérisation radicalaire (4 p.317, 3 p.111, 2 p.199, 5 p.166) avec la synthèse du polystyrène. Nanotubes de Carbone (liaisons covalentes C-C) représentent une sorte de macromolécules aux propriétés surprenantes (alignements sous l'effet des forces de VAN DER WAALS => "cordes" => très résistants)

### Bibliographie :

1. HPrépa PSI
2. Durupthy
3. Le Maréchal II.
4. Olivier PSI
5. Parisi 1<sup>ère</sup>

### Remarques :

- Leçon de PSI
- PMMA transparent (ex : Plexiglass)



- Polymérisation par des complexes de métaux de transition possible aussi
- Evoquer les aspects industrielles (XP : pots de yaourts chauffés => plats)
- Thermoplastiques  $\neq$  thermodurcissables

- Une expérience en plus serait la bienvenue... Mais comment faire vu que la synthèse du polystyrène serait hors sujet ? Est-il envisageable de synthétiser le PMMA ? Peu probable... Consulter le Parisi

# Montages de Physique

Ileyk EL MELLAH

1<sup>er</sup> juillet 2011

# Table des matières

I.	MP01 : Quantité de mouvement, moment cinétique et énergie en mécanique classique . . . . .	4
II.	MP02 : Phénomènes de surface . . . . .	7
III.	MP03 : Dynamique des fluides . . . . .	8
IV.	MP04 : Thermométrie . . . . .	9
V.	MP05 : Transitions de phase . . . . .	10
VI.	MP06 : Instrument(s) d'optique . . . . .	11
VII.	MP07 : Interférences lumineuses : conditions d'obtention . . . . .	13
VIII.	MP08 : Diffraction des ondes lumineuses . . . . .	15
IX.	MP09 : Spectrométrie optique . . . . .	16
X.	MP10 : Milieux optiquement actifs : biréfringence, pouvoir rotatoire . . . . .	17
XI.	MP11 : Production et analyse d'une lumière polarisée. . . . .	19
XII.	MP12 : Emission et absorption dans le domaine optique . . . . .	21
XIII.	MP13 : Lasers. . . . .	23
XIV.	MP14 : Photorécepteurs . . . . .	25
XV.	MP15 : Production et mesure de champs magnétiques. . . . .	27
XVI.	MP16 : Milieux magnétiques . . . . .	29
XVII.	MP17 : Métaux . . . . .	30
XVIII.	MP18 : Matériaux semi-conducteurs . . . . .	31
XIX.	MP19 : Condensateurs et effets capacitifs - Applications . . . . .	33
XX.	MP20 : Induction, auto-induction . . . . .	35
XXI.	MP21 : Conversion de puissance électrique-électrique . . . . .	37
XXII.	MP22 : Exemples de conversion électrique - mécanique . . . . .	39
XXIII.	MP23 : Capteurs et transducteurs . . . . .	41
XXIV.	MP24 : Mesures électriques (mesure des fréquences exclue). . . . .	42
XXV.	MP25 : Amplification de signaux . . . . .	43
XXVI.	MP26 : Mise en forme, transport et détection de l'information . . . . .	45
XXVII.	MP27 : Acquisition, analyse et traitement de signaux . . . . .	47
XXVIII.	MP28 : Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu) . . . . .	49
XXIX.	MP29 : Mesure de longueurs . . . . .	51
XXX.	MP30 : Systèmes bouclés (oscillateurs exclus) . . . . .	52
XXXI.	MP31 : Instabilités et phénomènes non-linéaires . . . . .	54
XXXII.	MP32 : Ondes : propagation et conditions aux limites. . . . .	56
XXXIII.	MP33 : Ondes acoustiques. . . . .	58

XXXMP34 : Résonance . . . . .	60
XXXMP35 : Oscillateurs auto-entretenus . . . . .	62
XXXMP36 : Couplage des oscillateurs . . . . .	64
XXXMP37 : Filtrage de signaux . . . . .	66
XXXMP38 : Régimes transitoires. . . . .	68
XXXMP39 : Phénomènes de transport . . . . .	70
XL. MP40 : Phénomènes dissipatifs . . . . .	72

# I. MP01 : Quantité de mouvement, moment cinétique et énergie en mécanique classique

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Principe fondamental de la dynamique et quantité de mouvement

### 1. Chute libre d'un corps

Chute d'un aimant dans des tubes : avec l'aimant léger (2g, pas 7g), on travaille avec le tube en PVC dans lequel le régime permanent n'est pas atteint. Cf MP20 Induction

## II. Moment cinétique

1. Mouvement à force centrale : conservation du moment cinétique dans  $R_t$  et loi des aires

Mobiles avec bouées répulsives

### 2. Gyroscope

Commencer par l'équilibrer statiquement à l'horizontal (très délicat, au mieux, réglage à 3° près). Bien serrer la petite masse qui a tendance à se déplacer. Pour vérifier qu'il est approximativement équilibré, lancer la rotation propre (ficelle) en maintenant la tige à l'autre extrémité. Lâcher la tige à environ 90° (horizontal) et observer qu'il n'y a pas de précession appréciable sur 30s, même s'il peut y avoir nutation (que l'on peut provoquer en impliquant un léger angle de nutation. Ceci étant fait, on va déséquilibrer le système en rotation propre en accrochant une masse de quelque 100g après la grosse roue. Ceci provoque l'apparition d'un couple  $\vec{\Gamma} = \vec{OM} \times m\vec{g}$  (tenir compte de l'angle qui peut apparaître avec l'horizontal et donne un  $\cos(\theta)$ ) avec O le point fixe et M, le point où est accrochée la masse. Par conservation du moment cinétique, il apparaît un mouvement de précession à  $\Omega$  qui donne un couple

opposé à  $\vec{\Gamma}$ ,  $\vec{\Gamma}'$  dont le module vaut  $I\omega\Omega$  (moment cinétique  $\times$   $\Omega$ , c'est la variation temporelle du module de  $\Gamma'$  induite par le couple  $\Gamma$ ) où  $\omega$  est la vitesse de rotation de la grosse roue (rotation propre) et I, le moment d'inertie de la grosse roue

Le soucis tient essentiellement à la non constance de la vitesse de rotation propre au cours d'un tour de précession (environ 1% de perte de la vitesse de rotation à chaque tour)... Pour s'affranchir au mieux de ce problème, écrivons la relation que nous souhaitons vérifier :  $\omega\Omega = \frac{2mdg \cos \alpha}{MR^2}$ , avec R le rayon de la roue (13cm) et M sa masse (1735g) Pour faire un tour de précession en un minimum de temps à vitesse de rotation propre fixée, il faut maximiser la masse que l'on ajoute à l'extrémité (m=135.71g) ainsi que la distance à laquelle on la fixe (d=21cm, à 1 près). Ainsi, on fait un tour en 15s et on passe de 550 à 450 tours par mn en rotation propre. On obtient une pente théorique, pour la droite représentant  $\Omega$  en fonction de  $\omega$ , de 19SI. Sur Igor, la droite tracée donne une pente de 17.9SI! Pour des incertitudes telles que les nôtres, de l'ordre de 10% au moins, c'est parfait. Les incertitudes portent principalement sur la prise du temps pour faire un tour

## III. Conservation de l'énergie mécanique

### 1. Pendule simple

Accrocher un maximum de masses (2kg) au bout de la tige pour ne pas considérer le pendule comme pesant

Pendule pesant (ou simple ?) : inutile pour ce montage  $\rightarrow$  (vérification de la loi de BORDA sur le tracé de la période en fonction du carré de l'angle de départ. L'ordonnée à l'origine donne  $T_0$  (et nous permettra donc de trancher entre simple et pesant, ie  $T_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$  et  $T_0 = \sqrt{\frac{mgl}{J}}$  respectivement). En pratique,  $T_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} = 1.48s$  colle plutôt avec les valeurs à faibles  $\theta$ , mais difficile de calculer préci-

sément l'autre alors... Sans masse au bout du tout et avec 2kg au bout, on obtient respectivement pour les périodes isochrones 1.46s et 1.48s (après mesure au chrono sur 20 périodes). Est-ce vraiment la peine de s'emmerder avec cette question à 2 sous? Attention, boîtier PASCO overchiant. Utiliser DataStudio. Penser à allumer le PC après avoir allumé le boîtier. Quand on lance Datastudio, choisir "expérience" puis "choisir une interface" puis la 750 (ou la 700)

A partir de là commencent les mesures. Lancer les oscillations à un angle  $\theta_0$  aussi grand que faire se peut ( $70^\circ$  pour une masse de 2kg en bas) puis lancer l'acquisition dans la foulée. Bien spécifier "haute résolution" et "500Hz" (si pas assez, mesures sur la période trop imprécises et si trop, palier pour les valeurs des angles) pour l'échantillonnage en angle et en temps au préalable! Acquérir pendant quelques minutes, le temps de s'être ramené dans un régime d'isochronisme des petites oscillations. On trace sur DataStudio la courbe obtenue et on procède comme suit afin de mesurer les périodes en fonction des  $\theta_0$  : se restreindre à une trentaine de secondes. Prendre la moyenne de la période sur 5 périodes (pas trop de périodes sinon elle varie trop du fait des amortissements) puis l'amplitude pic à pic du 1<sup>er</sup> pic et celui du 5<sup>ème</sup>. L'amplitude correspondant à la période mesurée (à 4 chiffres significatifs près) est la moyenne de ces deux-là. On trace enfin la période en fonction du carré de la demi-amplitude (ie de  $\theta_0$ ) et on doit obtenir une droite d'ordonnée à l'origine  $T_0$ . Méfiance... Ici, l'équation de la droite est :  $T = T_0(1 + \frac{\theta_0}{16})$ . Donc  $\theta_0$  intervient au carré. Les incertitudes relatives sur  $\theta_0$  sont donc désastreuses pour cette droite! Ainsi, on est conduit à prendre surtout des points où  $\theta_0$  est suffisamment grand pour que l'erreur relative soit faible (ne pas descendre en-dessous de  $40^\circ$ !). La droite obtenue (sur une demi douzaine de points) donne des valeurs intéressantes (13.5 à la place du 16 de la formule de BORDA)

2<sup>ème</sup> traitement (à mettre dans le MP01) : conservation de l'énergie mécanique du pendule simple. On relève au boîtier PASCO la position et la vitesse angulaires. Ainsi, on peut avoir l'énergie cinétique,

$E_c = \frac{1}{2}mv^2$ , et l'énergie potentielle,  $E_p = mgl(1 - \cos\theta + 20\text{r!})$ . L'origine du  $20^\circ$  est quelque peu mystérieuse... Mais l'on s'aperçoit que sans elle, il y a des variations de l' $E_m$  dues au fait que l'une des énergies n'atteint jamais le maximum de l'autre. Y penser. Possible d'estimer le temps de relaxation en travaillant dans le régime où les forces de viscosité sont proportionnelles à la vitesse et non pas à son carré (ie quand l' $E_m$  a suffisamment diminué). On fit l' $E_m$  à partir de 50s environ et on trouve un temps de relaxation d'environ 120s : pour des temps très petits devant 120s (et pour des amplitudes suffisamment faibles), on peut donc supposer le système isolé, pas au-delà

a. Conservation de l'énergie mécanique

b. Deux régimes

Sur des temps courts : approximation du système isolé. Sur des temps longs : amortissements fluides et solides (liaison non parfaite)

2. Cas d'un solide : roulement sans glissement d'une bille sur un plan incliné

Manip' très intéressante, met en évidence les différences entre mécaniques du point et du solide. On lâche une bille (celle du bifurcateur) sur un plan incliné, dans un tube en verre, le long d'une règle (pas forcément graduée) et on filme le tout à 1m du sol avec une Webcam. Sur PC, on récupère le tout sur Cinéris puis on extrait les données du film avec Régressi puis on traitera les données sur Igor. (Prendre soin de bien lâcher la bille sans vitesse initiale au niveau de l'entrée du tube en verre (que l'on aura pris soin de fixer à l'origine de la règle graduée? Serait préférable pour s'affranchir de la vitesse initiale mais ne semble pas possible...)). On récupère la position en fonction du temps sur une trentaine de valeurs (après avoir étalonné sur Regressi et avoir fixé l'origine). On trace la position en fonction du carré du temps (auquel on aura soustrait la valeur du temps lors du passage en 0) sur Igor et on obtient une droite. Conclusion :  $x = at^2$  et donc  $v = 2at$ . Si conservation de l'énergie mécanique il y a, on a, en tenant compte du terme d'inertie :  $mg \sin\theta at^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\Omega^2$ , avec  $I = \frac{2}{5}mr^2$

le moment d'inertie de la bille. Puisqu'on suppose un mouvement de roulement sans glissement, on a :  $mg \sin \theta \alpha t^2 = \frac{7}{5} \frac{1}{2} m v^2$ , ce qui nous donne un  $\alpha$  théorique :  $\alpha = \frac{5}{7} \frac{g \sin \theta}{2}$ , à comparer avec la valeur de la pente de la droite initiale. Résultat à quelques pourcents près

**Conclusion** Le gyroscope sur le tabouret : mécanique dans des référentiels non galiléens ?

**Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## II. MP02 : Phénomènes de surface

Binôme : **Geoffrey**

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Mesure de $\gamma$ par la méthode d'arrachement de LECOMTE

DE NOÛY

Balance d'arrachement

### II. Manifestations de la tension de surface

#### 1. Loi de JURIN

Ne pas utiliser la cuve cunéiforme mais les tubes

#### 2. Loi de YOUNG-DUPRÉ

Angle de mouillage, qualitatif

### III. Ondes linéaires à la surface d'un fluide parfait

Mesure dynamique de  $\gamma$

Attention à la fréquence! Dur à caler...

### Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

### Remarques :

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3



# III. MP03 : Dynamique des fluides

Binôme : **X** et **Y**

Date de passage :

Correcteur : **Z**

## I. Deux types d'écoulement

1. Cuve en U

2. Vase de MARIOTTE

$\log(\text{perte de charge}(R_e))$  fonction de  $\log(R_e)$

## II. Ecoulements convectifs

1. Effet VENTURI

Balle de ping-pong

2. Vase de TORICELLI

$\sqrt{h}$  en fonction de  $t$

3. Perte de charge

## III. Ecoulements diffusifs

1. Ecoulement de POISEUILLE

Vérifier loi de POISEUILLE, mesure de  $\eta$

2. Chute d'une bille dans le glycérol

Mesure de  $\eta$

## Bibliographie :

1. Bruhat

2. Guyon

3. Perez

4. Quaranta

## Remarques :

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

## IV. MP04 : Thermométrie

Binôme : **Claire-Marie**

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Dftion d'un thermomètre dans DGLR. Thermomètre à alcool => dilatation et rétractation mais repérer  $\neq$  mesurer

### I. Définition d'une échelle thermométrique

1. Thermomètre à gaz SF6 ( $\sim$  GP)

Thermométrie primaire => zéro et température absolus ET indépendant de la nature du gaz. Thermocouple de type K. Manomètre pour P

2. Point triple du diazote

Convention

Citer le pyromètre optique (thermométrie primaire pour des T gds)

### II. Thermométrie secondaire

1. Thermocouple

2. Thermistance

3. Surfusion de l'étain

Thermomètre à résistance de Pt

### **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## V. MP05 : Transitions de phase

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Transitions du 1<sup>er</sup> ordre

1. Chaleur latente de vaporisation du diazote

Marche tout seul et donne un résultat à quelques %. Penser à appliquer 3A pour bien voir la rupture de pente entre le régime "s'évapore à température ambiante" et "s'évapore surtout grâce à l'énergie apportée par la résistance"

2. Solidification de l'étain

3. Point triple du diazote

4. (Isothermes de SF<sub>6</sub> ?)

### II. Transitions du 2<sup>ème</sup> ordre

1. Transition ferro/para

2. Variétés allotropiques du fer

### Bibliographie :

1. Livre

2. Livre

3. Livre

4. Livre

5. Livre

### Remarques :

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

# VI. MP06 : Instrument(s) d'optique

Binôme : X et Y  
Date de passage :  
Correcteur : Z

## I. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## II. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## III. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## **Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# VII. MP07 : Interférences lumineuses : conditions d'obtention

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# VIII. MP08 : Diffraction des ondes lumineuses

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. De FRESNEL à FRAUNHOFFER (Sextant)

Nombre de FRESNEL, on mq l'image change quand l'objet diffractant se déplace dans son plan en FRESNEL

## II. Diffraction de FRAUNHOFFER

### 1. Diffraction par une fente

Mesure du diamètre d'un cheveu. Dépendance en  $\lambda$

### 2. Tâche d'AIRY

Limitation du pouvoir de résolution des télescopes en Astro

### 3. Diffraction par de la poudre de lycopode et speckle (Sextant)

Figure de diffraction indépendante de l'image géométrique en FRAUNHOFFER => même figure que pour AIRY mais en plus lumineux. Parler du speckle : on éclaire la poudre de lycopode directement avec un laser He-Ne, et on éclaire afin d'avoir un speckle et une tache d'Airy des spores de lycopodes. On peut à ce titre calculer la taille moyenne des spores et surtout introduire la notion d'addition cohérente d'amplitude et de convolution de figure. Ici c'est la convolution d'un disque micrométrique avec un réseau aléatoire d'amplitude (facteurs de forme et de structure). On montre aussi l'invariance de la figure par translation de l'objet (on ne change que la phase). Enfin en focalisant le laser plus ou moins sur les grains ou sur diffuseur on met en évidence les propriétés du speckle (taille des tâches dépend de la surface éclairée)

## III. Applications

### 1. Optique de FOURIER et filtrage spatial

a. Filtre passe-bas : l'épurateur du laser

b. Filtre passe-haut : strioscopie

### 2. Diffraction par un réseau : structure d'un CD

## Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## Remarques :

- Utiliser des doublets permet de limiter les aberrations
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3



# IX. MP09 : Spectrométrie optique

Binôme : **X** et **Y**

Date de passage :

Correcteur : **Z**

## I. Spectroscopes à fentes

### 1. Caractérisation d'un spectromètre à réseau

a. Etalonnage à partir d'une lampe à vapeur de mercure

$\sin \theta = f(\lambda)$ . La pente donne le nombre de traits par unité de longueur du réseau

b. Raie bleu-verte du cadmium

c. Limitation du pouvoir de résolution

Diffraction et distinction des pics (dispersion anormale angulaire)

### 2. Spectre de l'hydrogène : série de BALMER

Retrancher 10nm aux résultats obtenus sur Avantès (problème d'étalonnage?). On observe des raies à 436, 488 et 657nm qui correspondent respectivement aux désexcitations vers le niveau 2 des niveaux 3, 4 et 5, en accord avec la formule de RITZ. Problème : on observe une raie à 778nm, qui ne correspond à aucune des raies de l'hydrogène! Qu'est-ce? Il existe du deutérium dans la lampe! Serait-ce ça?

## II. Caractérisation spectrale...

La partie variable de l'intensité est la TF de la partie spectrale de la source

### 1. ... d'un filtre coloré vert

a. Par interférométrie

MICHELSON avec moteur pour chariot

b. Par le spectroscope à fibre

c. Comparaison avec le spectre de la lampe quartz-iode

2. ... du doublet du sodium

## Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## Remarques :

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# X. MP10 : Milieux optiquement actifs : biréfringence, pouvoir rotatoire

Binôme : **X** et **Y**

Date de passage :

Correcteur : **Z**

## I. Biréfringence

### 1. Mise en évidence

Lame de quartz (4mm) taillée parallèlement à l'axe ( $\Rightarrow$  biréfringence seule, pas de pouvoir rotatoire) éclairée en lumière blanche, entre 2 polariseurs croisés (pour un contraste optimal), avec PVD en sortie  $\Rightarrow$  spectre cannelé au spectro (du aux interférences entre vibrations ordinaire et extraordinaire qui évoluent avec des indices optiques différents)

2. Mesure de l'écart d'indice par la méthode du compensateur de BABINET

Pour une  $\lambda$  donnée (filtre interférentiel), on compte le nombre de franges  $p$  qui défilent (sur un chemin optique  $p\lambda$ ) pour un chariotage vertical du BABINET de tant de mm. On se place ensuite en lumière blanche et, après avoir centré la frange sombre central entre les 2 lignes de la mire, on rajoute la lame de quartz de  $60\mu m$ . On compense le chemin optique rajouté en décalant le BABINET : une règle de 3 donne le chemin optique rajouté par la lame de quartz et donc, la différence entre les indices

## II. Pouvoir rotatoire

### 1. Mise en évidence : dextrogyre ou levogyre?

Lame de quartz (1.5mm) taillée perpendiculairement à l'axe ( $\Rightarrow$  pouvoir rotatoire seul, pas de biréfringence) éclairée en lumière blanche. Ne pas faire d'hypothèse sur le nombre de tours duquel a tourné la polarisation ! Se fonder sur la loi de BIOT qui indique que :  $\alpha \propto \frac{1}{\lambda^2}$  donc le bleu tourne toujours plus que le rouge. Avec le spectro à fibre, tourner l'analyseur à droite (convention chimie) et observer quelle couleur on annule en 1<sup>er</sup> au spectro. Si la cannelure

(due à l'annulation avec l'analyseur, plus à des interférences!) se déplace du rouge vers le bleu, c'est dextrogyre

2. Mesure du pouvoir rotatoire  $A$  d'un canon de quartz sur le spectre cannelé

Prendre différents  $\lambda$  d'annulation (car non altérés par la réponse spectrale du détecteur), les indiquer du plus haut au plus bas (car l'indice augmente quand  $\lambda$  diminue) puis utiliser que :  $\frac{Ae}{\lambda^2} \propto n \frac{\pi}{2}$ . La pente de la droite pour une quinzaine de  $\lambda$  donne  $A$

### 3. Pouvoir rotatoire induit : effet FARADAY

Diode LASER qui traverse 2 polariseurs avec un barreau de flint entre dans l'électroaimant ( $\vec{B}$  dans le sens de la propagation). On mesure l'angle de rotation pour différents  $\vec{B}$  (après avoir étalonné l'électroaimant)

## Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## Remarques :

- La plupart des quartz sont dextrogyres (plus délicats d'en fabriquer des lévogyres)
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1

- 2  
- 3  
- 1

| - 2  
- 3

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

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XII. MP12 : Emission et absorption dans le domaine optique

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Spectres de raies

#### 1. Spectre du sodium

##### a. Raie d'émission

Bec bunsen + fente + lentille + PVD + lentille + écran. Avec du sel de sodium dans le bec, on voit apparaître la raie jaune

##### b. Résonance optique

Lampe Na + bec bunsen + lentille + miroir vers le plafond. Avec du sel de sodium dans le bec, on voit une réémission isotrope des vapeurs de sodium (plus l'ombre de la flamme au plafond)

=> les spectres sont discontinus (d'ailleurs, doublet du sodium)

#### 2. Caractérisation par diffraction du spectre du mercure

Mesure des  $\lambda$ . Lampe Hg (HP) + condenseur + fente fine + doublet 200mm + réseau (pas un truc trop diffractant, 4000 LPI (Lines Per Inch?) soit 157 traits par mm suffisent à 1m) + écran. Bien focaliser la lampe Hg sur la fente que l'on entrouvre pour conjuguer la fente et l'écran avec la lentille. On voit alors les 2 1<sup>ers</sup> ordres (et la dispersion anormale) sur lesquels on va réaliser les mesures puis remonter aux longueurs d'onde en utilisant que :  $\sin \theta = p \frac{\lambda}{a}$  avec a, l'écart entre 2 traits du réseau et p, l'ordre. On trace  $\sin \theta = l/D$  (avec D la distance réseau / écran et l la demi-distance entre une raie et l'ordre p et la même à -p) en fonction de p. On observe des droites dont la pente vaut  $\frac{\lambda}{a}$  (avec a le pas du réseau) et qui permettent de remonter aux longueurs d'onde à quelques pourcents près (après comparaison avec le spectre au spectro à fibre). Le spectro nous apprend qu'il existe aussi 2 raies au-delà du violet que l'on peut mettre en évidence en faisant fluorescer le papier (qui absorbe ces raies et réemet dans le bleu)

##### a. Diffraction par un réseau des différentes raies

Principe du spectro à fibre

##### b. Etalement des pics

Effet DOPPLER et durée de vie de l'état excité (limitée par les collisions à 1atm, pas par HEISENBERG). HP  $\neq$  BP

#### 3. Spectre de l'hydrogène : séries de BALMER

Retrancher 10nm aux résultats obtenus sur Avantès (problème d'étalonnage?). On observe des raies à 436, 488 et 657nm qui correspondent respectivement aux désexcitations vers le niveau 2 des niveaux 3, 4 et 5, en accord avec la formule de RITZ. Problème : on observe une raie à 778nm, qui ne correspond à aucune des raies de l'hydrogène! Qu'est-ce? Il existe du deutérium dans la lampe! Serait-ce ça?

#### 4. Modes d'un LASER : émission stimulée

##### a. Spectre de fluorescence

Avec le spectro à fibre

##### b. Modes sélectionnés

Analyseur de modes

### II. Spectres d'émission continue

#### 1. Spectre du Soleil - notion de CN

##### a. Loi de déplacement de WIEN

Température de surface

b. Complémentarité avec le spectre d'absorption de l'hydrogène

Composition

2. Cohérence temporelle d'une source thermique : mesure par étalonnage

Après avoir réglé le MICHELSON en coin d'air (ie arriver au contact optique et à la teinte de NEWTON en lumière blanche, appliquer un léger angle), placer une lampe quartz iode (avec son filtre anti calorique) et observer les quelques franges et l'irisation sur une microscopique longueur de chariotage (si on perd le contact optique,

placer un filtre vert pour le retrouver plus facilement). Repérer, à 1m (avec une lentille de focale 15cm pour faire l'image des miroirs en sortie), les deux franges rouges (par exemple) extrémales jusqu'où il n'y a pas brouillage (si elles ne sont pas sur la même image parce que l'interfrange  $i = \frac{\lambda}{\alpha}$  est trop grand, jouer sur l'angle pour le rétrécir). Puis remplacer la lumière blanche par une lampe à mercure que l'on filtre pour ne garder que la raie verte. On compte le nombre de franges entre les 2 repères pris au préalable et on remonte ainsi à la longueur de cohérence temporelle de la lumière blanche (quelques micromètres)

### III. Fluorescence et phosphorescence

A potasser théoriquement

Complémentarité des spectres (spectro à fibre) en transmission et en réémission

#### Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre

4. Livre
5. Livre

#### Remarques :

- Le spectro à fibre c'est : un coax' qui ramène la lumière dans le boîtier noir où des réseaux par réflexion séparent les différentes longueurs d'onde et une caméra CCD les récupère au bout
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XIII. MP13 : Lasers

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Principe de fonctionnement du laser : laser He-Ne en kit

Présentation

Critère géométrique de stabilité

## II. Caractéristiques du laser

Cohérence temporelle (analyseur de modes) : modes transverses et longitudinaux

Cohérence spatiale : speckle

Directivité : waist

Puissance et rendement

## III. Applications

Télemétrie laser

Laser He-Ne en kit (pédagogique) : avec la fibre spectro, on relève le spectre de la fluorescence (pas du laser) dans lequel on note la présence d'un pic à 632.8 nm. On montre théoriquement qu'il existe deux plages de longueur de cavité où il est possible d'observer l'effet laser : en dessous de 60cm et entre 75 et 130cm (les plages effectives sont plus courtes car il est d'autant plus difficile d'amorcer l'effet laser que la longueur de cavité est grande). Ne pas dépasser 85cm ! Au-delà, quasi-impossible d'amorcer l'effet laser. L'amorçage se règle comme suit : placer le diaphragme entre la petite sous-cavité et le miroir M2 de façon à voir la fluorescence centrée sur M2 et de taille maximale. Jouer ensuite sur les vis de M2 pour que le rayon réfléchi par M2 repasse par le diaphragme. Si l'effet laser ne toujours démarre pas, retirer le diaphragme et jouer très délicatement sur les vis de M2. L'effet laser DOIT alors

démarrer

Observation à l'analyseur de modes : placer la photodiode après une lentille qui focalise le rayon laser sur elle. La relier à l'analyseur via la sortie HF. On observe des pics qui correspondent aux battements entre différents modes (mais les modes transverses et longitudinaux peuvent-ils battre ensemble ? N'y a-t'il pas des soucis de polarisation ?). Certains disparaissent lorsqu'on modifie le mode en jouant sur les vis et d'autres (au nombre de 2) subsistent. Il se pourrait bien que ces 2 pic correspondent aux battements entre les modes 1-2 ou 2-3 à ceux entre les modes 1-3. On peut tracer en préparation  $\delta f$  (premier pic) en fonction de l'inverse de la longueur de la cavité (bien peu précise... où est M1 ? Pour s'affranchir de ce biais systématique, prendre plutôt les écarts de longueur de la cavité par rapport à une longueur de référence). La pente de la droite ainsi obtenue doit valoir  $\frac{c}{2} I$ . **Grand titre**

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre



## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XIV. MP14 : Photorécepteurs

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Caractéristique d'une photodiode : montage transconductance  
Comparaison de la linéarité, à une longueur d'onde donnée, de la réponse (ie du courant) de deux capteurs photoniques (la photodiode et la photorésistance) en fonction de l'intensité par utilisation de la loi de MALUS. Utiliser une diode laser, plus stable qu'un laser. La photorésistance merde

Réponse spectrale de la photodiode (Sextant) : on commence par travailler, sur banc optique, avec la lampe quartz-iode et le détecteur pyro pour étalonner (car ce dernier a une réponse plate). Le détecteur pyro n'est sensible qu'aux variations de flux et c'est pourquoi l'on doit travailler avec un hacheur optique en entrée (et un monochromateur pour contrôler la valeur de la longueur d'onde à laquelle on travaille). Le monochromateur doit être checké avec une source de  $\lambda$  connue pour être sûr de la valeur qui indique, foireuse la plupart du temps. Noter que l'on observe l'ordre 2 à travers le monochromateur et que la valeur indiquée par le monochromateur n'en tient pas compte... Conclusion : multiplier la valeur de  $\lambda$  par 2

Si on branche directement le pyro à l'oscillo, on s'aperçoit que le signal est totalement noyé dans le bruit. On passe donc par la détection synchrone (via la boîte noire). Etape mégachiant mais qui permet d'avoir l'allure spectrale de la lampe quartz-iode (et d'en tenir compte après dans la réponse de la photodiode). On règle le hacheur à 10Hz, on utilise le signal du hacheur comme référence sur la boîte noire puis on règle le déphasage avec le signal récupéré sur le pyro pour annuler le signal observé à l'oscillo (très délicat car grosses variations...) puis on rajoute  $90^\circ$ . Prendre soin de régler la sensibilité au minimum ( $100\mu V$  pour 10V en sortie), le temps

de réponse de façon à couper le 50Hz (1s convient mais 3s permet de stabiliser encore le signal) et l'ordre du passe-bas (coupe plus à 12dB qu'à 6dB). Ensuite, pour différentes longueurs d'onde lues sur le monochromateur, on règle le déphasage (en annulant le signal à l'oscillo puis en tapant sur  $+90^\circ$ ) pour avoir  $\cos \Phi = 1$  puis on lit l'amplitude à l'oscillo. On trace alors le flux de la source,  $\Phi(\lambda)$

On répète l'opération, pour les mêmes longueurs d'onde, en remplaçant le pyro par la photodiode (la détection synchrone est maintenant superflue, mais mieux vaudrait peut-être continuer de travailler avec elle pour éviter d'avoir de mauvaises surprises...). On a alors le signal détecté par la photodiode,  $S(\lambda)$ , que l'on divise par la 1<sup>ère</sup> courbe pour avoir la réponse spectrale de la photodiode, linéaire entre 600 et 900nm

### I. Grand titre

#### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XV. MP15 : Production et mesure de champs magnétiques

Binôme : **Julien Petit Ours**

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Visualisation des lignes de champ avec un aimant au milieu de plein de petites aiguilles (projection au rétro) => concept de "champ" magnétique. Aiguille de boussole sur compas tournant : on montre que  $\vec{g}$  n'est pas en cause

## I. Champ magnétique terrestre

### 1. Structure

### 2. Mesure de la composante horizontale à Paris

On travaille avec  $\frac{R}{N}$  le plus grand possible ie R=16cm et N=2 spires. Les principales incertitudes de cette manip' sont : 1. La lecture de l'angle au compas (1°). 2. L'inhomogénéité du champ sur l'étendue spatiale de l'aiguille, partiellement compensée par sa symétrie. 3. L'angle  $\theta_0$  d'alignement initial du plan de la spire avec l'axe Nord-Sud. Ce dernier point peut être quantifié plus précisément. En effet, s'il est non nul, l'angle  $\alpha$  mesuré ne vaut pas  $\frac{B_B}{B_H}$  mais :  $\tan(\alpha) = \frac{B_B + B_H \times \sin(\theta_0)}{B_H \times \cos(\theta_0)}$ . Si l'incertitude sur  $\cos(\theta_0)$  est un infiniment petit d'ordre 2, ce n'est pas le cas de celle sur  $\sin(\theta_0)$  qui est d'ordre 1. On peut, en théorie, l'annuler en prenant + et -  $\alpha$  pour + et - un courant donné (montage élaboré avec interrupteur à guillotine). Problème : quand on passe d'une position à l'autre de l'interrupteur, le courant varie en valeur absolue... La technique tombe donc plus ou moins à l'eau. On choisira donc de mesurer des angles positifs et des angles négatifs pour des valeurs positives et négatives du courant, sans se préoccuper de l'écart à l'axe Nord-Sud réel initial et de commenter a posteriori en notant la non nullité de l'ordonnée à l'origine, qui vaut  $\tan(\theta_0)$ . La pente du graphe de l'intensité en fonction de  $\tan(\alpha)$ , quant à elle, vaut  $\frac{2R \times B_H \times \cos(\theta_0)}{\mu_0 N}$  et donne une valeur proche de la valeur tabulée à

30% près => cool

## II. Principe d'une sonde à effet HALL

Mesure de la tension de HALL avec la plaquette dopée n

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Bobines d'HELMOLTZ A refaire

Anti-helmoltz. Utiliser le gaussmètre LONGITUDINAL, utiliser le guide en bout de bobines mais pas la vis. Opter plutôt pour une potence et une tige que l'on fixe comme on peut (scotch ? blue tack ?) dans l'axe de la sonde. On pourra ainsi envisager de la faire coulisser entre les bobines mais aussi à l'extérieur afin d'avoir tout le profil (au moins d'un côté). Attention au range du gaussmètre qui peut donner des résultats différents selon le range ! Le profil obtenu en helmoltz est bon. A refaire en anti-helmoltz avec le système D décrit ci-dessus

### 1. Titre

- a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

**Bibliographie :**

- 1. Livre

- 2. Livre
- 3. Livre
- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XVI. MP16 : Milieux magnétiques

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Milieux para et diamagnétiques : le tube de QUINCKE

### II. Milieux ferromagnétiques

#### 1. Cycle d'hystérésis d'un transfo

Visualisation du cycle d'HYSTÉRÉSIS (utiliser le gros transfo apparent, avec filtre RC en aval, masse entre la résistance et la capa et on observe la tension aux bornes de la capa à l'oscillo)

#### 2. Pertes fer dans un transfo

#### 3. Transition ferro/para : température de CURIE

Avec plaque en vitrocéramique entre l'aimant et le capteur

### III. Milieux ferrimagnétiques : domaines de WEISS

Visualisation par effet FARADAY et mesure de la taille des domaines

## **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XVII. MP17 : Métaux

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Propriétés thermo-électriques

1. Mesure directe de la conductivité électrique

Loi d'OHM

2. Mesure indirecte de la conductivité électrique

Chute d'un aimant dans des tubes : avec l'aimant léger (2g, pas 7g), on compare les conductivités du laiton et de l'aluminium en utilisant que :  $\frac{1}{v} \propto \sigma$ , qui vient de la loi de LAPLACE qui donne  $\vec{F} = i\vec{dl} \times \vec{B}$  où  $i \propto \frac{1}{R}$  où R est la résistance. On mesure les  $\Delta t$  pour 5 positions relatives du 2<sup>ème</sup> détecteur par rapport au premier, et ce pour les 2 barres. On trace ensuite z en fonction de t, la pente de la droite donne les v dont le rapport est l'inverse de celui des conductivités => la connaissance d'une des 2 conductivités permet d'avoir l'autre. Précaution à prendre : ne surtout pas travailler avec le tube en PVC (le blanc) dans lequel le régime permanent n'est jamais atteint

3. Conductivité thermique

4. Couplage de phénomènes irréversibles : effet PELTIER-SEEBECK

### II. Structure et propriétés mécaniques

1. Structure cristalline : recalescence du fer

2. Célérité du son et ondes de cisaillement

### **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

4. Livre

5. Livre

### **Remarques :**

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

- 1

- 2

- 3

# XVIII. MP18 : Matériaux semi-conducteurs

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre



- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XIX. MP19 : Condensateurs et effets capacitifs - Applications

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Mesures de capacités

### 1. Etalonnage d'un condensateur

Introduction simple de l'effet capacitif dans un condensateur avec le gros condensateur dont la distance entre les armatures est réglable. On le monte dans un circuit RC ( $R=10k\Omega$ ) avec un GBF en crête à quelques kHz et une  $V_{pp}$  de 2V. On mesure à l'oscillo le temps de réponse à 63% et on en déduit C qui vaut alors  $\frac{\tau}{R}$ . On trace alors la droite d'étalonnage de ce condensateur ie C en fonction de e, l'écart entre les 2 armatures (que l'on mesure au pied à coulisse, le vernier indiquant n'importe quoi). Peut-être faudrait-il essayer de monter le RC sans câble coaxial pour éviter d'ajouter des capacités parasites (100pF/m). Mais remplacer les coax' par des fils donne des oscillations merdiques au début... et des résultats piteux. Opter plutôt pour les coax', expliquer que, si l'ordonnée à l'origine est de l'ordre de 100pF, c'est à cause des coax' et dire que ça ne fait rien car l'on ne s'intéresse qu'à la pente... qui est fautive aussi, trop grande d'un facteur 10 (on devrait avoir  $4.7 \cdot 10^{-13}$  mais on a plutôt  $5 \cdot 10^{-12}$ ). L'incertitude principale dont il faut tenir compte porte sur la mesure de l'épaisseur (les plaques ne sont tout simplement pas parallèles... ce qui induit une différence de 3mm entre les 2 extrémités!) et l'erreur systématique pourrait venir du diélectrique négligé qu'est l'air (va dans le bon sens). Montrer l'augmentation de la capacité par ajout d'un diélectrique entre les armatures

### 2. Détermination d'une capacité parasite d'une chaîne de mesure : oscillateur astable (Duffait p.187)

Mise en évidence de l'existence d'une capacité parasite avec l'étude d'un oscillateur astable. Une capa en entrée : c'est l'intégrateur. 3

résistances et un AO en sortie : c'est le comparateur à hystérésis. On observe des oscillations dont la période est proportionnelle à C. Lorsqu'on retire la capacité, on s'aperçoit qu'il y a toujours des oscillations, mais avec une période beaucoup plus faible. Conclusion : il existe toujours une capacité parasite. Pour déterminer la capacité supplémentaire qu'induit une mesure sur une voie de l'oscillo, on retire le coax qui mesure l'entrée (après avoir mesuré la période d'environ  $30\mu s$ ). On constate que la période du signal sur la voie 2 diminue encore pour atteindre  $5.4\mu s$ . On va maintenant rajouter des capacités en parallèles en entrée jusqu'à retrouver la période de  $30\mu s$ . La somme des capacités nous donnera alors la valeur de la capacité parasite de la chaîne de mesure associée à la voie 1

### 3. Capacité de jonction d'une photodiode

## II. Applications

### 1. Aspect énergétique du stockage capacitif

Le petit moteur alimenté par une capa chargée qui fait remonter une masse. On place la capa (de 2F, mesurée par la méthode de mesure du temps de réponse d'un circuit RC, polarisée) entre une alim' 10V et un moteur. On place un interrupteur qui permet d'alterner entre un circuit alim'/capa et un circuit capa/moteur. On place au niveau de la capacité un ampèremètre. On se place en circuit alim'/capa pour charger la capa (la charge est terminée quand le courant mesuré par l'ampèremètre atteint 0). On se place ensuite en circuit capa/moteur, le fil du moteur étant en bas avec une masse et sa position ayant été mesurée. On appuie ensuite sur le bouton du moteur pour faire remonter la masse jusqu'à ce qu'il n'y ait plus suffisamment de puissance. On relève la nouvelle position de la masse et on vérifie que l'on obtient, en ordre-de-grandeur, une coïncidence entre  $\frac{1}{2}CU^2$  et mgz, pourvu que le rendement du moteur soit de l'ordre de quelques pourcents...

Ce que l'on a voulu vérifier avec un wattmètre en faisant faire le même trajet à la masse pendant un certain temps. Le produit du laps de temps par la puissance mesurée (0.33W pour 6V pendant 12s pour 0.8m) donne mgz, au rendement près. On trouve environ 20% (mgz vaut 0.7W et on envoie 4W), ce qui est bien supérieure au rendement que l'on a déduit de la comparaison entre  $\frac{1}{2}CU^2$  et mgz. L'explication : dans le cas de l'alim', on envoie 6V en continue alors qu'avec la capa, on a une décroissance exponentielle de la tension envoyée de 6V à 0V en quelques secondes. Or, le rendement du moteur dépend forcément de l'amplitude et de la forme de la tension envoyée (cf étude de la MCC)! Ainsi, il n'est pas étonnant de trouver deux rendements différents. La solution pour s'affranchir de ce problème serait d'avoir une constante de temps de décharge pour la capacité bien plus grande que les 12s de trajet de la masse! On pourrait donc dire que la tension envoyée par la capa pendant ce laps de temps est quasi-constant! A essayer par jour de beau temps

2. Mesure de microcourants : courant de polarisation d'un AO

### **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XX. MP20 : Induction, auto-induction

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Intro : 1. Grattoir : grand  $\frac{di}{dt}$  donc grande tension induite qui dépasse le champ disruptif de l'air 2. Retournement à  $90^\circ$  d'une bobine pour modifier le flux via le champ magnétique terrestre  
Mutuelle-induction et résonance : cf MP sur les oscillateurs couplés (redondante et moins pédagogique que celle avec le signal en dents de scie)

### I. Mesures d'inductances

Mesure de L par relevé du temps de réponse à 63% : envisageable mais cul-cul. A zapper. Opter plutôt pour les 3 méthodes de mesure suivantes

#### 1. LC-mètre

Mesures approximatives de L et M. Au LC-mètre, on mesure  $2(L-M)$  et  $2(L+M)$

#### 2. Pont de MAXWELL (Quaranta p.55)

Mesure précise d'une induction propre L. Marche très bien. On annule à l'oscillo la tension en jouant sur la boîte à capacités (sans les résistances) puis on branche en parallèle la boîte AOIP et on l'annule encore en jouant sur les résistances. On a trouvé, à 200Hz et 10V pic à pic au GBF, avec une inductance Leybold de 2.7mH,  $C=22\text{nF}$  et  $R=200\text{K}\Omega$ . On en déduit L. Pour plus de précision, il faudrait travailler avec une inductance plus élevée pour que la capacité parasite introduite par les câbles coaxiaux n'altère pas la valeur de la capacité mesurée

#### 3. Réponse inductive à une excitation en dents de scie

Détermination précise de l'inductance mutuelle par envoi d'un signal en dents de scie dans un circuit et observation d'un signal créneau aux bornes d'une autre inductance isolée (circuit dans

lequel on induit le courant) (Quaranta Electricité p.227). On travaille entre 100 et 1000Hz, en prenant garde de ne pas travailler avec des fréquences multiples de 50Hz, avec une résistance de  $100\Omega$  dans le premier circuit. On mesure, pour différentes fréquences, l'amplitude de la tension induite. On trace ensuite ce que propose le Quaranta et la pente donne l'inductance mutuelle avec bien plus de précision que le LC-mètre

### II. Application à l'étalonnage d'un capteur de vitesse

Introduire les 2 manip' qui suivent avec la plaque et le peigne pendule qui passent dans l'entrefer d'un aimant néodyme

#### 1. Etalonnage

Autre application : étalonnage d'une bobine avec l'amplitude des pics en fonction de la vitesse dans le tube en PVC. Pour s'affranchir de la vitesse initiale, placer 2 bobines : une en haut qui sert de référence et l'autre en bas que l'on étalonne. Problème : par étalonnage, on déduit de l'amplitude pic à pic dans la première bobine (celle de référence) la vitesse en ce point, mais ça ne colle pas du tout avec le résultat obtenu quand on trace la position en fonction du temps (par rapport à cette référence) et qu'en fittant par un polynôme, on en déduit la vitesse en ce point. La valeur obtenue par le polynôme, plus grande d'un facteur 2, est sûrement la bonne (cf carnet de notes pour des arguments). Mesurer la distance de la bobine de référence au haut du tube (3 ou 10cm ?). Le deuxième résultat validerait la courbe polynomiale et infirmerait l'étalonnage. La seule explication possible serait alors une différence intrinsèque entre les 2 bobines qui ferait que le passage de l'aimant n'induit pas la même fem dans les 2. A vérifier. Après vérification, c'est bien cela : en permutant les positions des 2 bobines et en faisant les rapports des amplitudes, on trouve un rapport des facteurs de conversion vitesse / amplitude  $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$  (ou l'inverse) d'environ 1.8! Conclusion : il faut tracer  $\Delta V_2$  en fonction de  $\Delta t$

et on obtient une droite d'ordonnée à l'origine  $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \times \Delta V_1$  et de pente  $\frac{g}{\alpha_2}$  où  $g$  est déterminé au préalable en traçant la position en fonction du temps. N.B. : la vitesse initiale peut être inférée de l'écart-type sur plusieurs mesures de l'amplitude pic à pic au niveau de la bobine de référence. Elle vaut quelques cm par seconde et est totalement négligeable devant les vitesses de l'ordre du m par seconde sur lesquelles on travaille

En conclusion, LA démarche à suivre, c'est prendre, en fixant la position de la 1<sup>ère</sup> bobine (celle de référence), 20 mesures (au moins, pour s'assurer des ajustements viables) de la position de la 2<sup>ème</sup> bobine, du temps de vol entre les 2 bobines et de l'amplitude du signal de la 2<sup>ème</sup> bobine. On trace ensuite l'écart en position en fonction de l'écart en temps. L'ajustement donne la valeur du  $g_{effectif}$  ressenti par l'aimant (frottements solides). Penser à fixer le passage de la parabole par le point expérimental (0,0) et ne pas exploiter le dernier coefficient (qui donnerait la vitesse moyenne au niveau de la 1<sup>ère</sup> bobine). Tracer ensuite l'amplitude au niveau de la 2<sup>ème</sup> bobine en fonction de l'écart en temps et remonter à  $\alpha_2$  via la pente de la droite obtenue. Les valeurs obtenues sont bien plus "stables" que celles obtenues en récupérant  $v_1 = \alpha_1 \Delta V_1$  sur la parabole puis en remontant à  $\alpha_2$  via l'ordonnée à l'origine. Par la 1<sup>ère</sup> méthode, on s'affranchit mieux de l'écart sur les vitesses initiales

## 2. (Mesure d'une conductivité)

Chute d'un aimant dans un tube dont on détermine ainsi la conductivité. On observe le freinage par induction à la suite d'apparition

de courants de FOUCAULT

### III. Pertes fer dans un transformateur

cf MP21

#### **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

#### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XXI. MP21 : Conversion de puissance électrique-électrique

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Convertisseur alternatif-alternatif : le transformateur

### 1. Rendement effectif

On trace  $\frac{P_2}{P_1}$  en fonction de  $P_2$ , en faisant varier la résistance de charge (2 rhéostats nécessaires). Penser à relever la tension d'entrée  $U_1$  à laquelle on a travaillé, ainsi que les courants  $i_1$  et  $i_2$  correspondant à chacun des  $P_2$  et  $P_1$

### 2. Résistances d'entrée et de sortie

On travaille en circuit ouvert ( $R_{charge}=\infty$ ) ie sans la sortie pour avoir  $r_1$  et sans l'entrée pour  $r_2$ , avec maintenant une alim' continue. En prenant tension et courant, on a les résistances. Constaté que, même en circuit ouvert, la puissance absorbée  $P_1$  n'est pas nulle => il existe des pertes

### 3. Etalonnage des pertes fer

On travaille avec  $R_{charge}=\infty$  (circuit de sortie ouvert). On relève  $U_1$ ,  $i_1$ ,  $P_1$  en faisant varier  $U_1$  à l'autotransfo. On trace  $P_{fer} = P_1 - r_1 i_1^2$  en fonction de  $U_1^2$  (belle droite)

### 4. Comparaison entre rendements effectif et théorique

Le rendement théorique est donné par  $\frac{P_1 - P_{fer} - r_1 i_1^2 - r_2 i_2^2}{P_1}$ , où  $P_{fer}$  est la valeur, lue sur la droite d'étalonnage, qui correspond au  $U_1$  auquel on a travaillé au début

### 5. Observation du cycle d'hystérésis?

Avec un filtre RC en aval?

## II. Convertisseur continu-continu : le hacheur série

### 1. Mise en évidence des régimes continus ou non

En diminuant la fréquence de hachage, en augmentant la tension d'entrée ou en diminuant le courant de sortie ie en augmentant la résistance

### 2. Rendement

Constant sur la plage de valeurs considérée, mais vaut seulement 90% (faible pour de l'élec' de puissance car pertes JOULE dangereuses dès que rendement < 99%) car on est loin de la tension nominale, celle du secteur

### 3. La part des harmoniques : rôle du filtre LC

Toujours avec le rhéostat ie sans la MCC! Avec le rhéostat à  $20\Omega$ . Sonde de courant (car bande-passante plus grande que celle d'un wattmètre) pour avoir courant efficace (mode AC, correspond aux harmoniques) et courant moyen (mode DC, correspond au fondamental) dans le rhéostat (observation à l'oscillo). Tracer le rapport des carrés de ces deux courants en fonction de la fréquence de hachage (les harmoniques ne sont significatives qu'en-dessous de 2kHz)

### 4. Optimisation du filtrage avec un noyau de fer

Remplacer le rhéostat par une MCC (et placer le rhéostat en aval). Se placer là où les harmoniques sont conséquentes. Avec un noyau de fer dans la bobine, on se débarrasse des harmoniques tout en conservant la même vitesse

## Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

## Remarques :

- 1
- 2
- 3

- 1  
- 2  
- 3  
- 1  
- 2

|

- 3  
- 1  
- 2  
- 3

## XXII. MP22 : Exemples de conversion électrique - mécanique

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Machine à courant continu (MCC)

Coefficient de couplage électromécanique : easy à partir du poly de Léa (on mesure la vitesse à la borne tachy et la tension en entrée)

Résistance d'induit. Branchement du Wattmètre très délicat (cf carnet de notes)! L'ordonnée à l'origine de la courbe obtenue donne la tension seuil et la pente, la résistance d'induit

Paramètres mécaniques : moment d'inertie  $J$  et frottements secs  $C_0$ . On détermine le rapport des 2 avec un montage à vide (deuxième MCC branchée à rien) et une diode de redressement pour éviter de grosses surtensions dans le circuit d'entrée (cf poly JBD). A l'oscillo, on visualise la chute de vitesses (linéaire car frottements secs) dont la pente vaut  $\frac{C_0}{J}$ .  $C_0$  est déterminé à partir de la pente de la puissance des pertes en fonction de la vitesse (somme d'un terme en  $\Omega$ , correspondant aux pertes mécaniques par frottements secs, terme prépondérant; et d'un terme en  $\Omega^2$ , correspondant aux courants de FOUCAULT) que l'on trace en prenant  $U$  et  $I$  en entrée pour différentes vitesses (en génératrice à vide). On a alors  $P_{pertes} = P_{absorbée} - P_{dissipée\ dans\ l'induit} = UI - (V_{seuil}I + R_{induit}I^2)$  que l'on trace en fonction de  $\Omega$  (légère parabole)

Rendement du banc

Rendement de la motrice seule

Pertes

#### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

Etalonnage d'un piézo

### II. Machines asynchrone (MAS)

#### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre



**Bibliographie :**

Quaranta ? HPrépa PSI ? 1. Livre

2. Livre

3. Livre

4. Livre

5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXIII. MP23 : Capteurs et transducteurs

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Quartz piézoélectrique : étalonnage

Quartz piézoélectrique dans une cavité confocale. Sert aussi pour le montage sur les lasers. Grosse galère pour régler la cavité. 1. Bien aligner le laser. On retouchera l'alignement dans les étapes suivantes si nécessaire. 2. Supprimer les réflexions en dehors des miroirs (réglage grossier). 3. Déplacer le piézo pour voir un anneau apparaître. Observer sur le piézo puis sur un écran en sortie, suffisamment loin pour agrandir la figure, suffisamment proche pour voir quelque chose. 4. Ratatiner l'anneau en rassemblant tous les points au centre. 5. Superposer les 2 points (apparition d'anneaux scintillants). 6. Réglage confocal : ... C'EST TOTALEMENT FOIREUX! Opter plutôt pour l'étude de la MCC comme type de transducteur

### II. Photodiode

1. Linéarité : comparaison avec une thermistance
2. Sensibilité spectrale
3. Etude dynamique : temps de réponse et capacité de jonction

### III. Haut-parleur : bande-passante

#### **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

#### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXIV. MP24 : Mesures électriques (mesure des fréquences exclue)

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Influence de la chaîne de mesure : sonde et oscilloscope

Caractérisation de la chaîne de mesure : l'oscilloscope (Duffait). On montre que l'on, dans l'oscillo, une résistance d' $1M\Omega$  et une capacité de  $13pF$  en jouant sur les résistances et les capacités que l'on vient rajouter en entrée, du même odg (boîtes AOIP). S'assurer que le GBF est en "High load" et que l'oscillo n'a pas une impédance d'entrée réglée à  $50\Omega$ ! On travaille d'abord avec une résistance seule, en série entre le GBF et l'oscillo. On constate que, dès lors que cette résistance vaut la même valeur que celle de l'oscillo, le signal (continu) à l'oscillo est divisé par 2. On envoie maintenant un créneau, après avoir rajouté une boîte à capa' en parallèle de la résistance. On règle alors la capacité pour retrouver un beau créneau à l'oscillo (sans dépassement ni temps de retard). Ce réglage de capacité est le même que celui que l'on opère sur une sonde, qui permet de mesurer des impédances élevées (impédance de la sonde de l'ordre de la dizaine de  $M\Omega$ ). La sonde permet aussi de fixer la terre

### II. Mesures de courants faibles

Courant de polarisation d'un AO (Duffait). Attention à la valeur de la capacité : s'assurer qu'elle est grande devant la capacité parasite introduite par le câble coaxial. Ne pas la prendre trop grande quand même si on tient à avoir une variation de pente appréciable sur un temps raisonnable (sans attendre pour autant les dizaines de minutes nécessaires pour voir passer la tension de 0 à 14V avec une capacité de  $10nF$ , tout ce qu'il faut, c'est la pente). Manip'

sûre (pour peu que l'on prenne ces précautions) et qui donne un courant de quelques dizaines de  $pA$

### III. Mesures de tensions sur des signaux bruités

Détection synchrone faite maison (ie sommateur puis multiplieur et filtre passe-bas)

### Bibliographie :

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

### Remarques :

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXV. MP25 : Amplification de signaux

Binôme : **Tuhiti**

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** grande impédance pour le micro (60  $\Omega$ ?) et petite pour le HP, donc puissance minuscule en sortie : on ne peut pas les relier directement

### I. Amplification en tension

Faire le montage AO NON-inverseur (R1 sur le - et Ue sur le +)

#### 1. Impédance

On s'assure que l'impédance d'entrée soit élevée devant l'impédance de sortie afin de perturber un minimum sinon, gros débit de courant et chute de tension => impossible d'amplifier en tension

#### 2. Produit gain-bande

Produit gain-bande : avec un boîtier AOIP en sortie, on fait varier la résistance et donc le gain (que l'on calcule en mesurant Ue et Us à l'oscillo). On obtient la fréquence de coupure en se plaçant à f telle que Us soit diminué de  $\sqrt{2}$  par rapport à la mesure de Us loin de la coupure.  $G=1+(R2)/(R1)$

#### 3. Limitation linéaire : le slew rate

Petit aparté sur le slew rate (car au-delà des fréquences audibles) : mesure approximative du slew rate, la pente maximale en Volts par seconde, celle pour laquelle Us se déforme ( $\sim 15$  V par  $\mu s$ )

#### 4. Limitations non linéaire : l'AO

a. Limite supérieure : saturation en tension de l'AO à 15V

Avec le rhéostat à la place de R2, saturation en tension de Us quand R trop grande (170 k $\Omega$ ) car AO sature (à 13V pic to pic)

a. Limite inférieure : saturation en courant de l'AO avant 15V

Montage un peu différent. Avec le rhéostat en sortie (et R2 à 100

k $\Omega$ ), saturation en intensité (à 7/400 $\sim$ 17mA) de Us avant sa saturation en tension quand R est trop petite (400  $\Omega$ ) (à 7V pic to pic) => on appelle trop de courant => il faut aussi amplifier en courant

On choisit les composants pour fixer la fréquence de coupure à 10kHz (limite du HP et presque limite de l'audible) et pour avoir un gain d'environ 100 en odg

### II. Amplification en courant (en puissance)

Au préalable, mettre en évidence l'amplification en courant d'un transistor sur un circuit simple (Duffait p.66). (Tracer la caractéristique  $i_c$  en fonction  $V_{ce}$ , pour différents  $i_b$ , afin de mettre en évidence les 3 régimes de fonctionnement (bloquant pour  $i_b=0$ , saturant pour  $i_b>i_{bsaturation}$  et amplificateur entre les 2, là on l'on va se placer) : en pratique, très délicat... travailler avec  $i_b$  autour de 100  $\mu A$  éventuellement... Pas indispensable)

#### 1. Distorsion de croisement

=> nécessité du montage avec les diodes et les résistances latérales

#### 2. Gain en courant $\beta$ d'un transistor

(presque pas de gain en tension) => rendement en fonction de  $V_{ce}$

#### 3. Taux de distorsion

Synchroniser 2 GBF à l'oscillo, faire passer le signal de l'un à travers l'amplificateur en courant et observer la TF de la différence à l'oscillo. On essaye ensuite d'annuler le fondamental en jouant sur la tension du signal de référence (puis, éventuellement, sur la phase entre les 2 GBF). On en déduit le facteur de distorsion => compromis rendement / distorsion

En plus,  $\exists$  distorsion autre => nécessité d'un AO en comparateur en amont

**Bibliographie :**

Battesti Physique appliquée Tale STI Génie électronique, Duffait

Expériences électroniques 1. Livre

2. Livre

3. Livre

4. Livre

5. Livre

**Remarques :**

- Produit gain bande constant seulement pour un PB d'ordre 1
- Les diodes du montage push-pull servent à limiter les distorsions pour de faibles valeurs de  $U_e$
- Connaître la caractéristique d'un transistor
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXVI. MP26 : Mise en forme, transport et détection de l'information

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Présenter la bande de CARSON et s'en servir pour déterminer la fréquence maximale des signaux d'une radio (en observant la FFT en persist, à -20dB, on a la bande de CARSON pour différents  $\Delta f$  à régler sur l'oscillo). Possible de mesurer plus précisément avec une modulante sinusoïdale et non plus aléatoire (hauteur des pics en FFT et 98% de la puissance). Mais comment démoduler en fréquence ?

Boucle à verrouillage de phase (PLL) :

1. Faire la caractéristique avec les 2 GBF synchronisés. On les déphase à la main et on mesure la tension en sortie du comparateur pour différents déphasages => droite
2. Tester la VCO (Voltage Controlled Oscillator, participe à la fonction wobulation d'un GBF) en envoyant un signal continu sur la grosse boîte et en constatant qu'une modification de la tension continue en entrée induit une variation de fréquence du signal sinusoïdal en sortie. La relation est, ici encore, linéaire
3. On monte maintenant le tout et on étudie les plages de capture et de verrouillage
4. On joue sur le bouton "amplitude" de la grosse boîte pour avoir la plus grosse plage de verrouillage possible. Mais il y a un compromis à respecter : afin de capter un minimum de bruit, la plage de verrouillage doit être suffisamment fine pour coller avec la bande de CARSON ; 98% du signal est alors de l'information

Manip' qualitative : multiplexage et démultiplexage optique. Grosse boîte noire (qui se charge de la modulation d'amplitude) avec 2 LED dans laquelle on injecte la radio sur une voie et une

sinusoïde à 440Hz (via GBF) sur la voie 2. Avec 2 lentilles de 100, on focalise le faisceau sur une photodiode branchée à un convertisseur tension / courant qu'on injecte finalement dans un haut-parleur. On prend garde de bien régler les 2 offsets des LEDs afin de travailler dans une plage linéaire de fréquences. Les 2 signaux correspondent à l'information, portée par la modulante (basses fréquences) ; les 2 couleurs des 2 LEDs jouent le rôle de porteuses transmises sur un canal commun. En éteignant l'une des 2 LED, on entend en sortie l'information issue de l'autre voie. Pour démultiplexer, on place un réseau entre les 2 lentilles. On sépare ainsi les 2 porteuses et on peut alors démoduler séparément les signaux en déplaçant le couple 2<sup>ème</sup> lentille / photodiode

### I. Grand titre

1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

### II. Grand titre

1. Titre

- a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

### III. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

### **Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre
- 4. Livre
- 5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XXVII. MP27 : Acquisition, analyse et traitement de signaux

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Lecture à l'oscillo : problème de la quantification et du repliement de spectre (critère de SHANNON)

Détermination de la fréquence d'un diapason : FFT (partie analyse) du signal du diapason avec mémoire MAX (partie acquisition) => joli pic sur Igor

Supposons que l'on ait beaucoup moins de points en mémoire. Comment faire pour observer un joli pic ? Multiplier par un signal électrique (GBF) de fréquence proche puis filtrage passe-bas (partie traitement). Acquérir avec moins de points sur Igor => joli pic à une fréquence différence des 2

Détection synchrone (cf MP37)

## I. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre



- a. Petit titre
- a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

**Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXVIII. MP28 : Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu)

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Fréquence-mètre

Corde de melde ou plutôt, cuve à ondes (étalonnage au strobo). Prendre la fréquence telle quelle à l'oscillo, pas de prise de tête inutile. De plus, sur l'écran, on voit les sommets des vagues (avec un grossissement de 1.72 pour l'écart entre les vagues), donc un écartement de  $\lambda$  entre 2 raies lumineuses (tout simplement). Mettre un taquet de flotte car l'incertitude sur la profondeur doit être minimale (ordonnée à l'origine, ie g, très sensible à la profondeur). On trouve toujours 30% de moins que la valeur tabulée pour la tension superficielle de l'eau  
diapason (FFT)  
pendule (au chrono) (attention, une fois équilibré, on a seulement annulé le moment du poids mais il faut tenir compte du moment d'inertie de la tige dans la valeur théorique du moment total auquel on remonte expérimentalement)

Pour le diapason : on observe avec le micro la TF à l'oscillo puis les battements entre 2 diapasons (on travaille cette fois sur Igor pour avoir plus de points car l'oscillo fait les TF à partir de 1000 points alors que sur Igor, on travaille avec tous les points en mémoire de l'oscillo ie des millions => la résolution de la TF est donc toujours meilleure sous Igor). Vérifier avant tout que le micro (le rouge) est bien réglé (rappuyer sur le bouton rouge car il s'éteint souvent automatiquement, le régler en sinusoïdal et vérifier qu'il ne sature pas en le reliant directement à l'oscillo ; l'idéal pour s'assurer qu'il ne sature pas, c'est vérifier l'amortissement exponentiel dès le début des oscillations, s'il y a saturation on note l'existence d'un point d'inflexion). Pour une mesure bien plus

précise de la fréquence du diapason désaccordé, on utilise ensuite, à la place du diapason de référence, un GBF dont on multiplie le signal sinusoïdal (d'amplitude suffisamment élevée, quelques volts) avec celui du diapason désaccordé en utilisant une plaquette. On observe en sortie la somme de 2 sinusoïdes (une de basse fréquence, une de haute fréquence). On souhaite maintenant se débarrasser de la haute fréquence pour pouvoir faire la TF directement à l'oscillo sans avoir à passer par Igor (ie que l'on va faire la TF avec moins de points => il faut se débarrasser des HF pour pouvoir travailler sur une plus longue durée d'acquisition tout en respectant le critère de SHANNON) ; pour cela, on rajoute sur la plaquette un filtre RC avec une fréquence de coupure de quelques dizaines de Hz (ie entre la somme et la différence des fréquences). Ça marche relativement bien mais il est très délicat de régler l'amplitude du GBF, la sensibilité du micro (ie l'amplitude du micro) ainsi que la fréquence de coupure pour avoir le meilleur rapport signal à bruit... Pas vraiment de méthode systématique... On peut alors prendre une base de temps très grande (de durée totale  $T_0$ ). La distance entre 2 points dans la TF vaudra alors  $\frac{1}{T_0}$ . Attention tout de même à ne pas prendre  $T_0$  trop grand sans quoi on ne respecte plus le critère de SHANNON. On récupère quand même les points sous Igor pour un traitement plus propre (visualisation des points par exemple) mais en ne prenant que 1000 points cette fois

### I. Grand titre

#### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

**II. Grand titre**

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

**III. Grand titre**

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

**Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre
- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXIX. MP29 : Mesure de longueurs

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Définition du mètre

Téléométrie LASER et distance Terre-Lune

### II. Mesure géométrique à l'échelle mésoscopique

Mesure du diamètre d'un cheveu au microscope. Mais impossible de mesurer avec l'optique géométrique des objets dont la taille est de l'ordre de la longueur d'onde du visible => optique ondulatoire

### III. Mesures interférentielles

1. Mesure de la longueur d'onde d'un LASER par diffraction sur une fente

Un laser rouge, une fente et un écran. Rien de plus et de bons résultats (622nm au lieu de 632.8nm) après mesure de l'interfrange sur une quarantaine de tâches (attention, la tâche centrale compte pour 2!)

2. Mesure du doublet jaune du Sodium par interférométrie MICHELSON. Spectre discontinu => modèle de BOHR et MQ => ondes de matière

3. Diffraction d'électrons sur du graphite  
On remonte au paramètre de maille

### **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XXX. MP30 : Systèmes bouclés (oscillateurs exclus)

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXXI. MP31 : Instabilités et phénomènes non-linéaires

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Oscillateur à pont de WIEN

Bifurcateur : instabilité avec seuil

Cycle d'hystérésis du transformateur

Pendule pesant (ou simple?) : vérification de la loi de BORDA sur le tracé de la période en fonction du carré de l'angle de départ. L'ordonnée à l'origine donne  $T_0$  (et nous permettra donc de trancher entre simple et pesant, ie  $T_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$  et  $T_0 = \sqrt{\frac{mgl}{J}}$  respectivement). Boitier PASCO overchiant. Utiliser DataStudio. Penser à allumer le PC après avoir allumé le boitier. Quand on lance Datastudio, choisir "expérience" puis "chosir une interface" puis la 750 (ou la 700)

A partir de là commencent les mesures. Lancer les oscillations à un angle  $\theta_0$  aussi grand que faire se peut ( $70^\circ$  pour une masse de 2kg en bas) puis lancer l'acquisition dans la foulée. Bien spécifier "haute résolution" et "500Hz" (si pas assez, mesures sur la période trop imprécises et si trop, palier pour les valeurs des angles) pour l'échantillonnage en angle et en temps au préalable! Acquérir pendant quelques minutes, le temps de s'être ramené dans un régime d'isochronisme des petites oscillations. On trace sur DataStudio la courbe obtenue et on procède comme suit afin de mesurer les périodes en fonction des  $\theta_0$  : se restreindre à une trentaine de secondes. Prendre la moyenne de la période sur 5 périodes (pas trop de périodes sinon elle varie trop du fait des amortissements) puis l'amplitude pic à pic du 1<sup>er</sup> pic et celui du 5<sup>ème</sup>. L'amplitude

correspondant à la période mesurée (à 4 chiffres significatifs près) est la moyenne de ces deux-là. On trace enfin la période en fonction du carré de la demi-amplitude (ie de  $\theta_0$ ) et on doit obtenir une droite d'ordonnée à l'origine  $T_0$

Méfiance... Ici, l'équation de la droite est :  $T = T_0(1 + \frac{\theta_0}{16})$ . Donc  $\theta_0$  intervient au carré. Les incertitudes relatives sur  $\theta_0$  sont donc désastreuses pour cette droite! Ainsi, on est conduit à prendre surtout des points où  $\theta_0$  est suffisamment grand pour que l'erreur relative soit faible (ne pas descendre en-dessous de  $40^\circ$ !). La droite obtenue (sur une demi douzaine de points) donne des valeurs intéressantes (13.5 à la place du 16 de la formule de BORDA

2<sup>ème</sup> traitement (à mettre dans le MP01) : conservation de l'énergie mécanique du pendule simple. On relève au boitier PASCO la position et la vitesse angulaires. Ainsi, on peut avoir l'énergie cinétique,  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ , et l'énergie potentielle,  $E_p = mgl(1 - \cos\theta + 20\check{r}!)$ . L'origine du  $20^\circ$  est quelque peu mystérieuse... Mais l'on s'aperçoit que sans elle, il y a des variations de l' $E_m$  dues au fait que l'une des énergies n'atteint jamais le maximum de l'autre. Y penser

### I. Grand titre

1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## II. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## III. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

### **Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre
- 4. Livre
- 5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3



# XXXII. MP32 : Ondes : propagation et conditions aux limites

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Propagation d'ondes libres :

Mesure de la célérité du son dans l'air à partir d'un émetteur à ultrasons

XP de TUSCH-MALINOWSKI : célérité du son dans l'air en fonction de la température

Cuve à ondes : détermination de la tension de surface de l'eau

Conditions aux limites et propagation guidée :

Guide d'ondes hyperfréquences ?

Célérité d'une onde électromagnétique dans un coax' : capacité linéique, inductance linéique, adaptation d'impédance

Corde de MELDE : quantification des fréquences des ondes stationnaires et célérité dans la corde en fonction de la masse au bout

## I. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

**Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXXIII. MP33 : Ondes acoustiques

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

**Intro** Nature de l'onde acoustique : onde de pression (bougie)

### I. Caractéristiques des ondes acoustiques

1. Dépendance de la transmission avec les milieux

a. Cloche à vide

La cloche à vide permet SEULEMENT de montrer qu'aucune onde acoustique ne peut pénétrer un milieu vide (car désadaptation d'impédance totale). Qualitative : cloche à vide (buzzer dedans, quand la pression diminue, on entend moins de son dehors)

b. Adaptation d'impédance

En collant le diapason à un solide ou un liquide

2. Célérité du son

a. Dans l'éthanol, par diffraction acousto-optique

Sans filtrage spatial, onde pas vraiment stationnaire

b. Dépendance en température

Mesure de la célérité du son dans l'air en fonction de la température : XP de TUSCH-MALINOWSKI (émetteur et récepteur aux 2 extrémités d'un tube thermostaté)

### II. Comportement ondulatoire

1. Interférences

a. Mise en évidence : le kit Moduson

Analogue à l'expérience des trous de YOUNG. Pas d'exploitation quantitative

b. Battements entre 2 diapasons

Permet de les accorder. FFT sur Igor

2. Ondes stationnaires : le tube de KUNDT

NON! TROP DANGEREUX, SEMBLE FOIREUX. TROUVER

UNE AUTRE XP D'ONDES STATIONNAIRES ACOUSTIQUES (= corde de MELDE, mais longitudinal). Passer assez vite

Avec un GBF, envoyer une sinusoïde. A l'oscillo, on observe qu'en plaçant le micro au milieu (à peu près, les graduations sont foireuses) et la tension au maximum (20V), on a une résonance à environ 590Hz. En déplaçant le micro, on s'aperçoit qu'il y a deux autres endroits où on a une résonance => c'est le mode n°3. Les deux premiers ne sont pas observables car les fréquences en question n'appartiennent pas à la bande-passante du haut-parleur (clin d'oeil au montage sur les transducteurs).

a. Mise en évidence

b. Relation de dispersion

On trace les fréquences de résonance en fonction du numéro du mode puis, en fonction du  $\lambda$  que l'on calcule à partir de n et de la longueur du tube (ou que l'on mesure précisément par différence sur la règle graduée, pour éviter d'avoir à faire intervenir la longueur du tube, peu précise)

c. Célérité du son dans l'air

Lié à la pente de la courbe  $f_n = f(n)$

Problème : observer le signal d'entrée du GBF ne permet pas de mettre en évidence la quadrature de phase entre vitesse et pression... Dommage

### III. Modes de propagation dans un solide

Grand bac rouge

Ondes longitudinales et transverses dans les solides (suivre la notice). On commence par mesurer la célérité du son dans l'eau en relevant la plaque et en prenant différents écarts pour différents temps de propagation. La pente de la droite donne la célérité du son dans l'eau

Existence d'angles critiques (lois de DESCARTES acoustiques)

1. Célérité du son dans l'eau

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre
- 2. Célérité du mode longitudinal
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Célérité du mode transversal
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

**Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXXIV. MP34 : Résonance

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Intro ou conclusion : la résonance optique (Cagnac I. p.20). Une lampe Na excite des vapeurs de Na qui diffusent un intense rayonnement. Résonance très aigüe

Résonateur RLC : un suiveur est indispensable pour s'assurer que le niveau de tension soit stable. Un suiveur, c'est le - relié à la sortie de l'AO (et à rien d'autre) et le + relié au GBF.

Résonance en tension aux bornes de la capacité (attention à la masse, le GBF est flottant) : prendre garde à avoir un facteur de qualité suffisamment élevé (de l'ordre de 10) et, lorsqu'on wobule autour de la fréquence de résonance, à choisir un temps de wobulation à l'oscillo adéquat. Pour 1s ou plus, on ne voit pas la résonance qui n'apparaît que pour 100ms. En jouant sur une règle de 3 (après avoir réglé la wobulation en balayage linéaire), on peut "mesurer" la fréquence à laquelle se produit la résonance, qui colle bien avec la valeur théorique. Valeurs : 56mH, 33nF, 50 (valeur parasite) + 40  $\Omega$ , qui donnent un facteur de qualité de 15 et une fréquence de résonance à 3.7kHz

Oscillateurs couplés (plutôt à mettre dans le MP du même nom) :

1. Travailler avec 2 grosses bobines que l'on branche d'abord au LC-mètre. On les met face à face puis dos à dos (ie changement de branchement des fils) pour avoir 2(L+M) et 2(L-M), d'où on déduit le rapport  $\alpha = \frac{M}{L} < 1$ . Le déterminer pour 5 distances différentes

2. On revient au circuit RLC en observant, d'une part la tension envoyée par le GBF et d'autre part, la tension aux bornes de la résistance (image du courant). On s'assure que la fréquence de ré-

sonance est exactement la même dans les 2 circuits indépendants. Pour cela, utiliser le mode XY pour rendre l'ellipse dégénérée (car à la résonance, la tension du GBF et celle aux bornes de la résistance sont en phase)

3. On colle maintenant les 2 bobines et on voit, à l'oscillo en mode wobulation, le pic de la résonance se scinder en deux

4. Pour avoir précisément les fréquences de résonances  $f_+$  et  $f_-$ , utiliser le mode XY pour rendre l'ellipse dégénérée (car à la résonance, la tension du GBF et celle aux bornes de la résistance sont en phase)

5. Mesurer  $f_+$  et  $f_-$  pour 3 distances différentes et, via la courbe d'étalonnage du 1., pour 4  $\alpha$  différents. Vérifier la loi qui donne  $f_+$  et  $f_-$  en fonction de  $\alpha$

Nota benne : un problème majeur intervient dans la mesure de  $f_+$  et  $f_-$ . Les annulations de phase (mode XY) ne correspondent pas aux maxima de la tension aux bornes de la résistance du 1<sup>er</sup> circuit... Mais d'où ça vient ???

Corde de MELDE : infinité de ddl

### I. Grand titre

#### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

#### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## II. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## III. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

### **Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre
- 4. Livre
- 5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

## XXXV. MP35 : Oscillateurs auto-entretenus

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Manip' introductive du vase de TANTALE (siphon), oscillateur à relaxation (= système astable) (Duffait p.187 pour des analogues électroniques)

Oscillateur à pont de WIEN, un oscillateur sinusodal (Duffait, Krob). En BO, on peut repérer la fréquence de résonance en mode XY (contrairement au RLC du montage "oscillateurs couplés", ça coïncide avec le moment où l'amplitude de la sortie est maximale). On se place à gain unité en jouant sur  $R_2$ . On trace trois NYQUIST en relevant la tension de sortie et le déphasage pour différentes fréquences d'excitation du GBF puis en traçant  $Re(G) = -G \times \cos(\phi)$  en fonction de  $Im(G) = -G \times \sin(\phi)$  : on obtient de très beaux cercles qui passent à droite, sur et à gauche de -1 pour  $R_2$  respectivement  $<$ ,  $=$  et  $>$  de  $R_{2,critique}$ . On mesure le facteur de qualité en mesurant la bande de fréquences à -3dB sur le diagramme de BODE. On montre ainsi qu'il vaut bien  $\frac{1}{3}$ , ce qui est relativement minable

On travaille ensuite en boucle fermée, sans le GBF cette fois ; le bruit seul va, pour  $R_2 > R_{2,critique}$  (mais pas trop sinon déformation des sinusoides dues à la NL de l'AO), s'amplifier et donner de belles sinusoides. On peut tracer leur fréquence en fonction de  $R_2$  (cette fois, il faut augmenter  $R_2$  jusqu'à dépasser largement le moment où on voit apparaître des déformations). On montre ainsi que l'on a affaire à un oscillateur non linéaire car la fréquence dépend du gain (ie, de  $R_2$ ). On peut aussi montrer la piètre stabilité en fréquence de l'oscillateur à pont de WIEN en cochant l'option persist à l'oscillo : on constate une distribution  $\sim$  gaussienne des positions des sinusoides autour de leur position d'équilibre (la fré-

quence "naturelle" est imposée par le résonateur, la partie ampli ne fait qu'amplifier)

Enfin, on peut matérialiser le théorème de POINCARÉ-BENDIXON (Krob). Pour cela, il faut observer le potentiel à la sortie + de l'AO, ainsi que sa dérivée. Pour visualiser sa dérivée, on rajoute en parallèle de la capa et de la résistance du filtre (qui sont déjà en parallèles) une résistance et une capa. On a alors créée un dérivateur (ie un filtre PH) dont on aura pris soin de fixer la fréquence de coupure au-delà de la fréquence des oscillations "naturelles" afin de bien faire travailler ce PH dans le régime "dérivateur". On visualise la dérivée aux bornes de la résistance ajoutée. Attention à bien respecter les deux conditions du Krobe sur la résistance et la capa rajoutée. Pour des  $R_2$  suffisamment grand, en XY, on observe une évolution vers une forme patatoïde, d'autant plus rapide que  $R_2$  est grand. Attention, pour des  $R_2$  trop faibles, il semblerait que le régime transitoire dur trop longtemps et que l'on n'ait pas de jolies évolutions du coup (manip' à faire aussi pour conclure la leçon sur les effets NL!)

Le laser (avec analyseur de spectre et longueur variable de la cavité)

### I. Grand titre

1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
3. Titre
  - a. Petit titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## II. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

## III. Grand titre

- 1. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 2. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

- a. Petit titre
- 3. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
- 4. Titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre
  - a. Petit titre

### **Bibliographie :**

- 1. Livre
- 2. Livre
- 3. Livre
- 4. Livre
- 5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3



# XXXVI. MP36 : Couplage des oscillateurs

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

Intro : excitation d'un diapason à 440Hz à côté d'un autre légèrement désaccordé => battements

## I. Couplage de 2 pendules

Attention, une fois équilibré, on a seulement annulé le moment du poids mais il faut tenir compte du moment d'inertie de la tige dans la valeur théorique du moment total auquel on remonte expérimentalement

Pour l'acquisition :

Pendule pesant : réaliser au préalable l'équilibrage statique en l'immobilisant (sans la masse que l'on pèsera et qui interviendra dans les calculs) à l'horizontale (et à la verticale)

### 1. Mesure du moment d'inertie J

On pèse la masse (ainsi que la tige blocante) ( $m=1.1205\text{kg}$ ), on accroche, on mesure la distance à l'axe de rotation ( $L=56\text{cm}$ ) et on retrouve le moment d'inertie par  $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgL}}$ , qui colle assez bien avec le moment d'inertie théorique :  $J = \frac{1}{2}mL^2$

### 2. Mesure du coefficient de couplage C

### 3. Fréquences propres

Les modes correspondent aux vecteurs propres : lancer le système dans un de ces 2 modes l'amène à y rester indéfiniment

#### a. Mode symétrique

#### b. Mode antisymétrique

### 4. Battements

Dans le cas général de conditions initiales au hasard, on obtient une superposition des 2 modes propres et des battements avec des instants où on observe l'immobilisation d'un des deux pendules.

Si on lance les 2 pendules en quadrature de phase, on observe des battements avec une annulation quasi parfaite. Autrement, on a des quasi battements (pas d'annulation)

#### a. Mesure au chronomètre

#### b. Mesure par FFT sous Igor

Récupérer la position angulaire en fonction du temps via le boîtier Pasco "Rotary motion sensor" sur Datastudio puis exporter les données dans un fichier .txt que l'on lit ensuite sur Igor (à savoir faire). Penser à régler l'acquisition en haute résolution et à choisir "détecteur de rotation" dans les instruments. Toutes les mesures précédentes réalisées au chrono peuvent l'être de cette façon pour plus de précision. Problème : Igor ne comprend pas spontanément qu'il faut qu'il calcule la FFT de la position angulaire à partir du temps importé et non pas à partir du numéro du point de mesure. Pour régler ce problème, aller dans "Data" puis "Change scaling" et y spécifier le pas de temps. Et ça marche. Ici, on obtient 2 fréquences qui sont celle du mode symétrique (identique à la fréquence propre d'un oscillateur non couplé) et celle du mode antisymétrique (un peu plus haute). Rien d'étonnant à cela puisque l'on observe le produit d'une sinusoïde à  $\omega_{\text{battements}}$  (qui est associé à une période d'environ 30s) par une autre à  $\omega_{\text{pseudo-période}}$  (associée à une période d'environ 1.6s). La FFT nous donne donc la demi-différence et la demi-somme, fonction de  $\omega_{\text{symétrique}}$  et de  $\omega_{\text{anti-symétrique}}$

On peut réaliser une étude énergétique où on montre que les 2 pendules se passent l'énergie

## II. Couplage de circuits RLC

### 1. Couplage inductif de 2 bobines

a. Etalonnage de M en fonction de la distance entre les 2 bobines

b. Détermination des fréquences propres

2. Couplage capacitif de N condensateurs

A travailler

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

III. Couplage entre une infinité de ddl : corde de MELDE

A la place des modes symétrique et antisymétrique, on aura une infinité de modes indexés

Mesure des fréquences propres et de la vitesse de propagation en fonction de la masse au bout (ie de la tension)

1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

**Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

4. Livre

5. Livre

**Remarques :**

– Les battements entre diapasons ne correspondent pas à un phénomène de couplage mais à un phénomène d'interférences entre deux ondes de fréquences très proches (comme pour le doublet du sodium)

– 2

– 3

– 1

– 2

– 3

– 1

– 2

– 3

– 1

– 2

– 3

## XXXVII. MP37 : Filtrage de signaux

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

### I. Filtrage de signaux électriques

#### 1. Modes DC et AC de l'oscilloscope

Visualisation des 2 versions d'un même signal dépourvu d'offset => même signal à l'oscillo pour des fréquences élevées ( $\gg f_{coupure} \sim 1\text{Hz}$ ) mais dès lors que l'on arrive aux alentours du Hz, le signal AC s'écrase sévèrement. On relève l'amplitude des 2 signaux pour différentes fréquences ainsi que le déphasage entre eux et on peut alors tracer les diagrammes de BODE (passe-haut d'ordre 1)

#### 2. Une application du filtrage : la détection synchrone

3 GBF (un pour le signal utile, un autre pour le bruit que l'on va sommer au signal utile et un troisième qui servira de référence et que l'on va synchroniser avec le GBF du signal utile). On relie le signal utile et le bruit (d'amplitude respective 200mV et 20V) à la plaquette sommatrice. On récupère le signal de sortie que l'on vient placer sur la plaquette multiplieur (opérateur non linéaire) (on multiplie par le signal de référence, synchronisé avec le signal utile en observant les 2 à l'oscillo en mode XY) puis on réalise un filtrage passe-bas (partie filtrage)

### II. Filtrage de signaux acoustiques

Caractérisation du diapason en tant que filtre passe-bande aigüe d'ordre 2 : réponse impulsionnelle d'un diapason. On fit par une lorentzienne sur Igor et on en déduit le facteur de qualité (avec ou sans caisse de résonance)

### III. Filtrage de signaux optiques

#### 1. Filtre passe-bas : épurateur d'un laser

Moins visuel mais plus pratique que l'expérience d'ABBE (et sert

dans l'expérience suivante) dont le principe est le même (Sex p.128). Réglage de l'épurateur (délicat car très aléatoire) : 1. observer le faisceau laser avec juste l'objectif de microscope => c'est moche. 2. On règle grossièrement les 2 vis de l'objectif pour avoir une réflexion sur le miroir de sortie du laser la moins moche possible. 3. On place le trou et l'on règle finement les 2 vis de l'objectif pour avoir un maximum d'intensité lumineuse en sortie du trou. 4. On joue sur la position du trou pour trouver le plan de FOURIER, là où se croisent les rayons. 5. On rejoue sur les vis de l'objectif etc.

2. Filtre passe-haut : strioscopie Strioscopie version light : laser 632.8nm sur pull-boy + épurateur (objectif de microscope + trou) + lentille de 200mm (avec trou dans son plan objet) + diapo Kodak + lentille (de méga focale si on veut bien séparer les fréquences dans le plan de FOURIER (facilite le filtrage), petite si on veut voir une grande image) (avec diapo telle que conjuguée avec l'écran) + filtre (séries de 3 points et trous, ne surtout pas se servir des trous car il y a quand même des hautes fréquences qui passent sur les côtés! cf plus loin) dans le plan de FOURIER (là où se croisent les rayons) + écran. On constate que lorsqu'on coupe les basses fréquences, toutes les zones uniformément éclairées s'éteignent, laissant apparant les contours (discontinuités donc hautes fréquences). Moins spectaculaire de ne laisser passer que les HF... Il est difficile de faire proprement le tri dans le plan de FOURIER (à moins d'avoir une focale de plus de 500mm). Le filtrage passe-bas marche super bien mais uniquement avec une lentille de 600mm et un diaphragme tout petit petit. On voit alors disparaître les détails au profit d'une figure moyennée optiquement. A préférer à la manip' suivante, plus longue, à ne faire que s'il reste du temps

Objectif : mesurer la célérité des ondes acoustiques dans l'éthanol en observant les interférences ; filtrer le fondamental est indispensable pour améliorer le contraste. Excitateur du piézoélectrique

un peu boîte noire... A savoir utiliser. Pour plus de clarté, on peut enrrouler un câble BNC autour d'un des câbles de sortie pour récupérer, par rayonnement, le signal à l'oscilloscope, et en déterminer ainsi la fréquence. Une fois la manip' au point (faire l'image bien loin, s'assurer que le piézo ie le rond, est bien immergé et placer le faisceau laser à son niveau), reste à se placer dans le plan de FOURIER (là où se croisent encore les rayons), pour y voir les 3 points (correspondant à la fréquence de l'onde sinusoïdale, à son opposé et à 0). 3 points très durs à voir (car presue superposés) si on choisit mal les lentilles. Opter pour 200 avant la cuve (a pour effet d'augmenter la taille du faisceau laser par rapport à la 100) et 200 après pour maximiser l'écartement. Là, on voit enfin une ligne de points et l'on se ramène à seulement 3 points en jouant sur la fréquence pour cibler la stationnarité. (Remarque : il eut été plus simple, mais pas forcément nécessaire, de voir les 3 points après avoir fait l'image du plan de FOURIER avec une 3<sup>ème</sup> lentille). Les franges apparaîtront si la cuve (à déplacer) est bien dans le plan focal objet (réglage grossier suffisant) et si on a bien effacé la tâche centrale (filtre dans le plan de FOURIER, après la 2<sup>ème</sup> lentille) et si on est bien à la fréquence des ondes stationnaires (limite en luminosité mais franges visibles pour une certaine plage de fréquences, de 5.9 à 6.6MHz ; réglage plus fin possible en faisant disparaître les points latéraux et en gardant les 3 centraux). On réduit la focale de la 2<sup>ème</sup> lentille pour augmenter l'interfrange et rendre les franges plus visibles MAIS compromis à respecter : pour une focale plus faible, les points sont plus rapprochés dans le plan de FOURIER, et il faut donc un cache plus petit pour couper le

point central sans couper les 2 latéraux. 200mm (ou 150 ?) semble être un bon compromis.

### **Bibliographie :**

1. Livre
2. Livre
3. Livre
4. Livre
5. Livre

### **Remarques :**

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XXXVIII. MP38 : Régimes transitoires

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 2. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3

# XXXIX. MP39 : Phénomènes de transport

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3



# XL. MP40 : Phénomènes dissipatifs

Binôme : X et Y

Date de passage :

Correcteur : Z

## I. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## II. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

### 4. Titre

a. Petit titre

a. Petit titre

a. Petit titre

## III. Grand titre

### 1. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 2. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 3. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

### 4. Titre

- a. Petit titre
- a. Petit titre
- a. Petit titre

## **Bibliographie :**

1. Livre

2. Livre

3. Livre

- 4. Livre
- 5. Livre

**Remarques :**

- 1
- 2
- 3

- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3
- 1
- 2
- 3