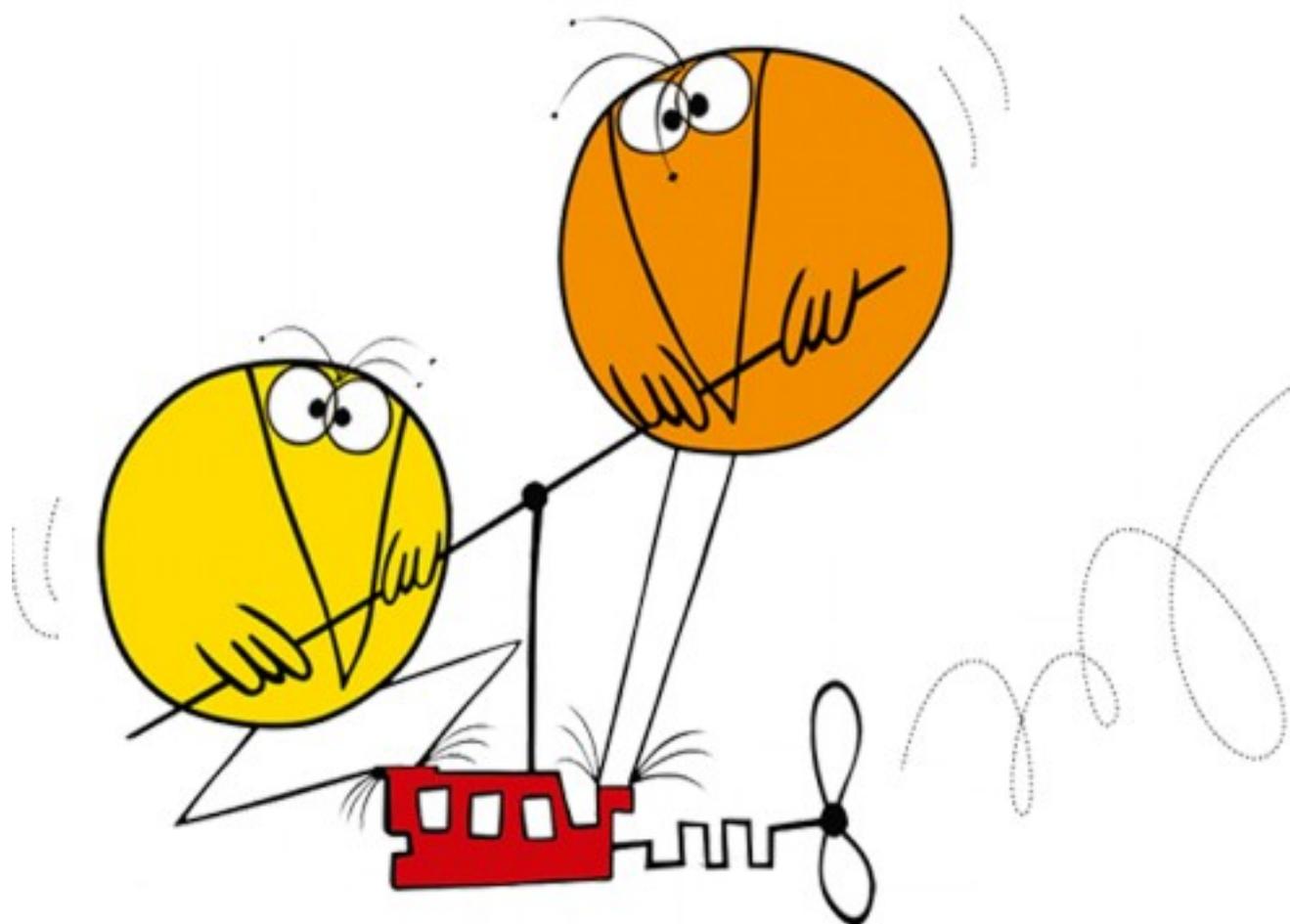


# AGRÉGAT

Kit de survie pour agrégatives et agrégatifs



Promotion 2019

# Table des matières

|   |          |
|---|----------|
| <b>1 Leçons de Physique</b>   | <b>6</b> |
| LP1 : Contact entre deux solides. Frottements . . . . .                           | 6        |
| LP2 : Gravitation . . . . .   | 8        |
| LP3 : Caractère non-galiléen du référentiel terrestre . . . . .                   | 10       |
| LP4 : Précession dans différents domaines macroscopiques et microscopiques . . .  | 13       |
| LP5 : Lois de conservation en dynamique . . . . .                                 | 15       |
| LP6 : Cinématique relativiste . . . . .   | 16       |
| LP7 : Dynamique relativiste . . . . .   | 22       |
| LP8 : Notion de viscosité, écoulements visqueux . . . . .                         | 24       |
| LP9 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide . . . . .                        | 25       |
| LP10 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides . . . . .                   | 26       |
| LP11 : Gaz réels, gaz parfait . . . . .   | 27       |
| LP12 : Premier Principe de la Thermodynamique . . . . .                           | 29       |
| LP13 : Évolution et conditions d'équilibre d'un système thermodynamique fermé .   | 30       |
| LP14 : Machines thermiques réelles . . . . .                                      | 33       |
| LP15 : Transitions de phase . . . . .   | 34       |
| LP16 : Facteur de Boltzmann . . . . .   | 35       |
| LP17 : Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir. . . . .                     | 37       |
| LP18 : Phénomènes de transport . . . . .  | 39       |
| LP19 : Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs. . . . .      | 41       |
| LP20 : Conversion de puissance électromécanique . . . . .                         | 42       |
| LP21 : Induction électromagnétique . . . . .                                      | 44       |
| LP22 : Rétroaction et oscillations . . . . .                                      | 46       |
| LP23 : Traitement d'un signal. Étude spectrale. . . . .                           | 48       |
| LP24 : Ondes progressives, ondes stationnaires . . . . .                          | 50       |
| LP25 : Ondes acoustiques . . . . .  | 52       |
| LP26 : Propagation avec dispersion . . . . .                                      | 54       |
| LP27 : Propagation guidée des ondes . . . . .                                     | 55       |
| LP28 : Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques . . . . .          | 59       |
| LP29 : Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs . . . . .            | 60       |
| LP30 : Rayonnement dipolaire électrique . . . . .                                 | 61       |
| LP31 : Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat . . . | 63       |
| LP32 : Microscopies optiques . . . . .  | 64       |
| LP33 : Interférences à deux ondes en optique . . . . .                            | 65       |
| LP34 : Interférométrie à division d'amplitude . . . . .                           | 67       |

|   |           |
|---|-----------|
| LP35 : Diffraction de Fraunhofer . . . . .  | 70        |
| LP36 : Diffraction par des structures périodiques . . . . .                       | 71        |
| LP37 : Absorption et émission de la lumière . . . . .                             | 72        |
| LP38 : Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon. . . . .           | 75        |
| LP39 : Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde. . . . .     | 76        |
| LP40 : Confinement d'une particule et quantification de l'énergie . . . . .       | 78        |
| LP41 : Effet tunnel . . . . .   | 80        |
| LP42 : Fusion, fission . . . . .  | 81        |
| LP43 : Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux . . . . .       | 83        |
| LP44 : Capacités thermiques : description, interprétation microscopique . . . . . | 86        |
| LP45 : Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen . . . . .   | 87        |
| LP46 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques . . . . .             | 88        |
| LP47 : Mécanismes de la conduction électrique dans les solides . . . . .          | 90        |
| LP48 : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique . . . . .  | 92        |
| LP49 : Oscillateurs, portraits de phase et non-linéarités . . . . .               | 95        |
| <b>2 Montages de Physique . . . . .</b>   | <b>98</b> |
| MP1 : Dynamique Newtonienne . . . . .   | 98        |
| MP2 : Surfaces et interfaces . . . . .  | 102       |
| MP3 : Dynamique des fluides . . . . .   | 107       |
| MP4 : Capteurs de grandeurs mécaniques . . . . .                                  | 113       |
| MP5 : Mesures de températures . . . . .   | 114       |
| MP6 : Transitions de phase . . . . .  | 117       |
| MP7 : Instruments d'optique . . . . .   | 119       |
| MP8 : Interférences lumineuses . . . . .  | 121       |
| MP9 : Diffraction des ondes lumineuses . . . . .                                  | 122       |
| MP10 : Spectrométrie optique . . . . .  | 125       |
| MP11 : Émission et absorption de lumière . . . . .                                | 129       |
| MP12 : Photorécepteurs . . . . .  | 130       |
| MP13 : Biréfringence, pouvoir rotatoire . . . . .                                 | 132       |
| MP14 : Polarisation des ondes électromagnétiques . . . . .                        | 134       |
| MP15 : Production et mesure de champs magnétiques . . . . .                       | 135       |
| MP16 : Milieux magnétiques . . . . .  | 137       |
| MP17 : Métaux . . . . .   | 139       |
| MP18 : Matériaux semi-conducteurs . . . . .                                       | 141       |
| MP19 : Effets capacitifs . . . . .  | 144       |
| MP20 : Induction, auto-induction . . . . .  | 147       |
| MP21 : Production et conversion d'énergie électrique . . . . .                    | 151       |
| MP22 : Amplification de signaux . . . . .   | 154       |
| MP23 : Mise en forme, transport et détection de l'information . . . . .           | 156       |
| MP24 : Signal et bruit . . . . .  | 159       |
| MP25 : Mesure de fréquences temporelles . . . . .                                 | 162       |
| MP26 : Mesures de longueurs . . . . .   | 166       |
| MP27 : Systèmes bouclés . . . . .   | 169       |
| MP28 : Instabilités et phénomènes non-linéaires . . . . .                         | 174       |

|   |            |
|---|------------|
| MP29 : Ondes : propagation et conditions aux limites . . . . .                      | 177        |
| MP30 : Acoustique . . . . .   | 179        |
| MP31 : Résonance . . . . .  | 182        |
| MP32 : Couplage des oscillateurs . . . . .  | 184        |
| MP33 : Régimes transitoires . . . . .   | 188        |
| MP34 : Phénomènes de transport . . . . .  | 192        |
| MP35 : Moteurs . . . . .  | 193        |
| <b>3 Leçons de Chimie</b>   | <b>196</b> |
| LC1 : Chimie et couleur . . . . .   | 196        |
| LC2 : Séparation, purification, contrôle de pureté . . . . .                        | 197        |
| LC3 : Polymères . . . . .   | 197        |
| LC4 : Chimie durable . . . . .  | 198        |
| LC5 : Synthèses inorganiques . . . . .  | 199        |
| LC6 : Stratégies et sélectivité en synthèse organique . . . . .                     | 199        |
| LC7 : Dosages . . . . .   | 200        |
| LC8 : Cinétique et catalyse . . . . .   | 202        |
| LC9 : Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique . . . . .            | 203        |
| LC10 : Du macroscopique au microscopique dans les synthèses organiques . . . . .    | 203        |
| LC11 : Capteurs électrochimiques . . . . .  | 204        |
| LC12 : Molécules de la santé . . . . .  | 204        |
| LC13 : Stéréochimie et molécules du vivant . . . . .                                | 205        |
| LC14 : Acides et bases . . . . .  | 208        |
| LC15 : Liaisons chimiques . . . . .   | 210        |
| LC16 : Solvants . . . . .   | 210        |
| LC17 : Classification périodique . . . . .  | 210        |
| LC18 : Solides cristallins . . . . .  | 212        |
| LC19 : Corps pur et diagrammes binaires . . . . .                                   | 213        |
| LC20 : Application du premier principe de la thermodynamique à la réaction chimique | 213        |
| LC21 : Détermination de constantes d'équilibre . . . . .                            | 214        |
| LC22 : Cinétique homogène . . . . .   | 216        |
| LC23 : Évolution et équilibre chimique . . . . .                                    | 216        |
| LC24 : Diagrammes potentiel-pH (construction exclue) . . . . .                      | 217        |
| LC25 : Optimisation d'un procédé chimique . . . . .                                 | 219        |
| LC26 : Corrosion humide des métaux . . . . .  | 219        |
| LC27 : Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique . . . . .     | 221        |
| LC28 : Solubilité . . . . .   | 221        |
| LC29 : Cinétique électrochimique . . . . .  | 222        |
| <b>4 Epreuve didactique - Agrégation spéciale docteurs</b>                          | <b>223</b> |

# Introduction

Cet Agrégat rassemble deux types d'informations :

1. les rapports de jury concernant les LP et MP depuis...1994 pour certains.
2. les retours d'oraux faits d'une part à la prép'agreg de l'ENS Lyon, et celle de Montrouge d'autre part. Parfois dans l'ordre chronologique, parfois dans l'ordre anti-chronologique (selon l'humeur du moment).

Pour ce qui est de la chimie, les retours d'oraux sont rarement plus vieux que 2014 car les titres ont beaucoup changé. Avant 2015, la LC était noté sur 15 et la question Agir sur 5.

Cet outil est à utiliser sans modération mais avec précautions. A chaque fois que vous préparez un montage ou une leçon, il faut savoir ce que le jury attend de voir, de ne pas voir. Bien entendu, ce qu'il a dit l'année précédente prime, mais on peut trouver parfois des informations extrêmement pertinentes jusque plusieurs années en arrière (même en 1994!). Ensuite, pour cibler précisément les attentes/les questions type, les retours d'oraux sont votre meilleur allié. Sans dire que les questions du jury constituent une épreuve finie, il va sans dire que pour votre bien, il serait bon que vous ayez réfléchi à une batterie de questions "canoniques" sur un sujet donné.

Bien sûr, les retours d'oraux, contrairement aux rapports du jury, sont une source subjective. Les personnes ayant passé leurs oraux l'ont fait d'une certaine manière, et ce n'est absolument pas parole d'évangile. Vous avez parfaitement le droit (vous êtes encouragés à) ne pas être d'accord avec leurs réponses (qui, même dans ce recueil, peuvent être fausses), leurs plans, leurs commentaires, et même estimer que le jury les a trop bien/mal notés. C'est en étant critique sur le travail de vos prédécesseurs que vous vous approprierez progressivement le contenu du concours de l'agrégation.

Cet Agrégat est le fruit d'un long travail de secrétariat, et comporte sûrement encore maintes coquilles. Merci de me les signaler !

Bon travail et bon courage :)

Alexis Bres

# Chapitre 1

## Leçons de Physique

### LP1 : Contact entre deux solides. Frottements.

#### Rapports du jury

**2017** : Cette leçon gagne beaucoup à être illustrée par des exemples concrets maîtrisés.

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

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

**2014** : Il est toujours intéressant de posséder des notions sur les modèles microscopiques du frottement.

Jusqu'en 2013, le titre était : Contact entre deux solides. Frottement de glissement. Applications au glissement et au roulement.

**2012** : Les candidats sont invités à réfléchir sur la notion de contact ponctuel et à la réalité microscopique de ce contact. Il peut être intéressant d'illustrer et discuter la différence entre coefficients de frottement statique et dynamique.

**2009, 2010** : Il importe de distinguer le cas du contact ponctuel et celui du contact étendu sur une surface. La distinction de nature entre les deux lois de Coulomb : condition nécessaire de non glissement et loi du frottement de glissement, n'est pas suffisamment dégagée. Les phénomènes d'hystérésis associés au frottement solide sont oubliés.

**2008** : L'approche énergétique du contact doit être développée. Le roulement est trop rarement abordé. Il convient de s'interroger sur les passages entre les différents régimes de glissement et de non glissement.

**2006** : L'approche énergétique du contact doit être développée et une description microscopique peut être esquissée.

**2005** : Il serait pertinent d'étudier les aspects énergétiques et de décrire l'exemple d'un mouvement où intervient du roulement avec glissement et sans glissement.

**2004** : Le candidat doit être en mesure de faire la mise en équation des expériences qu'il présente. L'aspect cinématique du glissement est souvent abordé avec insuffisamment de soin. Des confusions persistent entre absence de glissement et absence de mouvement ainsi qu'entre absence de glissement et absence de frottement. L'étude d'un mouvement de roulement constitue une illustration intéressante.

**2002** : L'énoncé des lois de Coulomb relatives au frottement de glissement est souvent incomplet. Il faut éviter la confusion entre puissance des actions subies par un des solides en contact, et puissance totale des actions de contact. L'origine microscopique des actions de frottement mérite d'être évoquée.

**1999** : Il faut préciser les référentiels et distinguer le mouvement du point d'un solide au voisinage du contact du mouvement du point de contact. Les candidats limitent leur exposé au frottement de glissement ; les mouvements de roulement (ou de pivotement) ne sont pas interdits. L'aspect microscopique est rarement abordé.

**1998** : Les candidats sont invités à ne pas restreindre leurs exemples à des mouvements de translation. Il est rappelé que la loi d'Amontons, à savoir que la force de friction ne dépend que de la charge et non de l'aire du contact, est au moins aussi importante que les lois de Coulomb.

## Retour d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 11/20

Différence entre le coefficient de frottement  $\mu$  de glissement dans le cas où  $v_g = 0$  et  $v_g \neq 0$ ? Citer des applications du phénomène d'arc-boutement? Quel est le coefficient de frottement le plus élevé : statique ou dynamique? Au niveau microscopique, ayant parlé des irrégularités des surfaces de contact rendant complexe la modélisation des phénomènes, on m'a demandé à quelle échelle il s'agissait de raisonner. Ayant parlé de l'utilisation de couche lubrifiante pour limiter les frottements, on m'a demandé de préciser. Question sur le cas d'une roue en rotation sur un plan horizontal : je n'ai pas su où le jury voulait en venir.

### Agrégation 2016 - Note : 11/20

- Quel est le message de votre dernière partie? (III- Oscillateur amorti par frottements solides, c'est que l'amortissement dû aux frottements solides est une source de non-linéarité, que l'amplitude décroît linéaire contrairement aux frottements fluides, et que le frottement solide est responsable de l'immobilisation TOTALE des solides en mouvements).

- Pourquoi ne pas avoir défini dès le début que vous considérez le référentiel du laboratoire comme galiléen au lieu de le répéter à chaque bilan des forces? (J'ai zappé, bref question utile...).

- Comment expliqueriez-vous simplement à un étudiant que le moment des actions de contacts doit être comparé à la composante normale de la résultante des actions de contact? Heuu, parce que la composante normale est à l'origine de tout : surface apparente de contact (cf BoFR). Utilisation du mot magique de torseur dynamique!

- Vous avez dit que la rhéologie est un domaine très actif en recherche car pas de consensus sur la modélisation des frottements. Quelles sont les théories en vogue?

- Avez-vous déjà conduit une voiture?

- Doit-on prendre en compte le frottement lié au moment de pivotement lors du freinage d'une voiture? Ça veut dire quoi qu'une voiture dérape? Les lois de Amontons-Coulomb permettent-elles à elles seules de décrire la physique de la tuture? Qu'est-ce qui permet le freinage dans une voiture? Pourquoi dit-on qu'il faut freiner par acoups? Comment relier cela à la leçon?

- Autres phénomènes liés au frottement solide : hystérésis mécanique. Exemples d'applications? Heuu j'ai séché et c'était fini de toute façon. J'aurais voulu dire stick-slip mais est-ce vraiment une application.

Remarques :

- Pas de remarques sur mon cours, si ce n'est une remarque sur un petit schéma qui était nul à posteriori.

- Pas pu finir les calculs du III mais j'espère avoir donné le portrait de phase et l'amortissement de l'amplitude de manière claire... Un peu déçu alors que j'ai eu le temps de répéter (3H pour récupérer les livres et préparer le plan)

- Expérience du pavé sur plan incliné, et celle de la dissipation de l'énergie cinétique du pavé lancé sur la planche (vitesse initiale du pavé non-nulle). Cela a été monté très rapidement par mon super-technicien. Personne adorable, à l'écoute et souriante.

- Les questions m'ont paru assez tordues et pas claires car le jury ne voulait pas donner la réponse en même temps que la question. Bref, pas le meilleur moment de la leçon....

Retour sur l'entretien avec le jury :

Commentaire général : Présentation très dynamique (c'est un gros plus) mais un manque de rigueur entraînant quelques imprécisions. Leçon un peu longue, trop peu d'exemples. Commentaires sur le contenu : Il n'est pas nécessaire de présenter les moments de frottement pour le pivotement et le roulement (dire qu'on le verra en TD) et passer plus de temps sur les exemples. Bien préciser que la composante tangentielle de la réaction du support est opposée au vecteur vitesse de glissement. Il faut traiter un exemple où les coefficients de frottements statique et dynamique sont différents afin de constater ce que cela implique. Et ensuite, on peut traiter un cas où les deux coefficients sont considérés comme égaux. Le coefficient de frottements est indépendant de l'étendue de la surface en jeu. Lorsqu'on réalise une vue en coupe d'une interface, il faut le préciser avec un repère.

### **Agrégation 2018 - Note : 15/20**

Les questions que j'ai eu sont plutôt liées aux éléments cinématiques que l'on définit en première partie et aussi à des notions sur les torseurs (c'est quoi un torseur sans force? C'est quoi un torseur sans moment? ) J'ai dû reexpliquer l'application finale sur la mise en mouvement d'un véhicule motorisé parce qu'ils m'ont avoué pas avoir compris (il restait 5 min...) et notamment sur le rôle des frottements. J'ai fait quelques fautes d'inattention mais que j'ai su corriger quand ils les ont relevé. A Cachan ils ont une manip pour mesurer l'angle à partir duquel on a glissement. Le CD-ROM étant plein d'images et d'ordres de grandeur, il ne faut surtout pas hésiter à s'en servir.

## **LP2 : Gravitation**

### **Rapports du jury**

**2017** : Les applications ne doivent pas nécessairement se limiter à la gravitation terrestre.

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

## Retours d'oraux

### Agrégation 2016 - Note : 12/20

Préparation stressante, j'ai du mal à avancer. Lenteur et pas le temps de répéter.

Gros coup de stress en début de présentation : j'avais écrit niveau PSCI, or l'électrostatique n'est plus au programme ! Du coup, ça fait une entame plutôt catastrophique : difficile de garder son sang froid, même si j'ai rectifié spontanément. Ça fait tache. Le reste ne se poursuit pas mal, mais pas le temps de finir proprement la dernière partie (et il m'en restait beaucoup à dire...), j'amorce une conclusion en douceur, mais sans avoir fini sur des petites applications genre vitesse de libération.

C'est grave si on ne peut pas considérer l'une des masses très grande devant l'autre ? Vous pouvez écrire les équations locales du champ électrostatique ? Que peut-on déduire quoi de  $\text{rot}(\mathbf{E})=0$  ? Si on poursuit l'analogie, c'est quoi l'énergie volumique de gravitation ? Puisqu'une charge accélérée rayonne, que fait une masse accélérée ? Comment on résout le problème pour la stabilité du noyau ? C'est quoi les ondes gravitationnelles ? Vous savez comment on détecte ces ondes ? Vous en savez plus ? Sur Gauss, vous montrez qu'on peut réduire la masse à un point, et que ça ne dépend plus de la géométrie, c'est vrai ? Alors, si la densité dépend de  $r$ , on peut écrire Gauss ? Le théorème de superposition est-il toujours valable avec des théorie plus élaborée ? Vous connaissez des effets de RG visibles assez facilement dans le système solaire ? Vous avez écrit la vitesse des trajectoires circulaires, c'est modifié comment pour des étoiles en périphérie de la galaxie ? Sur ces trajectoires circulaires, vous connaissez les travaux de Le Verrier ?

Commentaires du jury :

Un peu fragile sur le théorème de Gauss. Sinon, plan cohérent, mais pas assez lié, un peu trop de calcul et on sait pas vraiment où on allait. Enfin, les programmes, on s'en fout ROYALEMENT. Il faut qu'on comprennent bien d'où on part, où on arrive, le tout en étant cohérent avec les prérequis.

### Agrégation 2016 - Note : 08/20

Questions Quelle autre théorie que la gravitation newtonienne connaît-on ? Qu'est ce qui nous permet de réduire le problème des sphères (genre des planètes) à un problème de particules ponctuelles ? Peut-on le faire pour un satellite géostationnaire ? pour la lune ? Citer une expérience pour mesurer  $G$  Pourquoi est-ce une des constantes qu'on arrive pas à déterminer avec une bonne précision ? Quelle est l'importance (notamment en relativité générale) de définir un référentiel (galiléen ou non) quand on parle de gravitation ?

Commentaires

Leçon moyenne. Le plan peut convenir mais manque de liens logiques. Pas obligé de passer trop de temps sur la partie satellites géostationnaires, en prendre plus pour expliquer clairement le problème à 2 corps par exemple et sur d'autres points importants comme la conservation de grdrs physiques. On pourrait utiliser/justifier plus le th. de Gauss. Même si on y connaît rien, il est bon de savoir (et donc de le dire à la fin de la conclusion) que la relativité générale est la théorie désormais adaptée pr les problèmes gravitationnels actuels.

# LP3 : Caractère non-galiléen du référentiel terrestre

## Rapports du jury

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

**2016** : Cette leçon peut être illustrée par d'autres exemples qu'historiques.

Jusqu'en 2013, le titre était : Caractère non galiléen du référentiel terrestre. Conséquences.

**2013,2014** : Il est important d'explicitier les conditions dans lesquelles on peut négliger le caractère non galiléen d'un référentiel en général. Les candidats veilleront à choisir des exemples pertinents pour illustrer le caractère non galiléen du référentiel terrestre et à quantifier la précision à laquelle ils travaillent.

**2011, 2012** : Il est important de dégager le cas où l'on peut négliger le caractère non galiléen d'un référentiel.

**2010** : Les illustrations peuvent également concerner la mécanique des fluides. Il est avantageux de supposer connues les lois de composition des vitesses et des accélérations accompagnant un changement de référentiel.

**2009** : Les illustrations peuvent également concerner la mécanique des fluides.

**2008** : Comme dans toute leçon de mécanique, il est primordial de définir correctement les référentiels. Les définitions de pesanteur et de verticale sont souvent confuses. Il est essentiel d'estimer les ordres de grandeur des différents termes. Cette leçon n'est ni une leçon de cinématique, ni une leçon sur les référentiels non galiléens.

**2002** : Des éléments concrets sont à fournir sur les conséquences du caractère non-galiléen du référentiel terrestre. On peut évoquer les notions de masse gravitationnelle et de masse inerte. Il peut être intéressant de montrer que les effets de la force d'inertie de Coriolis résultent simplement d'un changement de référentiel.

**2001** : Il faut prendre le temps de présenter avec précision les référentiels, et réfléchir au concept d'étoiles fixes.

**1999** : La différence entre jour sidéral et jour solaire est souvent ignorée. Des exemples moins classiques que la déviation vers l'Est ou le pendule de Foucault peuvent être développés, comme par exemple la circulation atmosphérique ou le repérage des courants marins par altimétrie. La mise en évidence de la rotation de la Terre par interférométrie optique peut aussi être abordée.

**1998** : Dans le cas des interactions gravitationnelles entre corps étendus, la résultante des forces s'exerçant sur l'un deux n'est pas en général égale à sa masse, multipliée par le champ gravitationnel en son centre d'inertie . . . sauf si le corps considéré est de symétrie sphérique. Si la précession des équinoxes ne doit pas être systématiquement traitée, il est cependant conseillé d'en connaître l'existence et l'origine.

## Retours d'oraux

**Agrégation 2017**

Quelle expérience ou simulation auriez-vous pu utiliser en début de leçon devant une classe pour leur faire saisir le concept ? J'ai parlé du pendule de Foucault sur un plateau tournant. Il m'a dit « Trop compliqué ». J'ai parlé d'une simulation du fameux jeu des enfants sur un tourniquet qui se lance une baballe. Il m'a un peu cuisiné là dessus. Bon... Après coup (normal) j'ai pensé à d'autres trucs comme la trace des satellites sur la surface de la Terre par exemple.

S'en est suivi une longue et douloureuse discussion sur les effets de marées, j'ai du tout reprendre, pour m'apercevoir qu'en fait j'avais rien compris. Le type du jury ne m'a quand même pas lâché. En parlant marée j'avais en tête l'image de la plage, les vacances tout ça. C'était la séquence enfer des questions et malheureusement elle a duré bien 10min. Donc, éviter à l'avenir de parler d'un truc en espérant que le jury ne voit pas qu'on a rien compris... (En plus ils s'y sont mis à 2. Je ne serais pas étonné s'il me disent que j'ai perdu 5 points à cause de ça.)

Quelle est l'unité de  $g$ ? Ben  $m/s^2$  non? Apparemment, d'après ce qu'il m'a dit j'ai écrit au moins 5 fois  $g=9,8m/s$  durant ma leçon. Pas bien. Il voulait juste vérifier si je n'étais pas complètement bête je pense. Vous pouvez redémontrer la formule que vous avez donnée pour calculer l'écart à la verticalité de  $g$ ? (L'angle  $\alpha$  du Pérez, qui vaut  $5'$  à Paris) Non. (Deuxième échec critique et douloureux... A éviter aussi.)

A ce propos, c'est bizarre, la masse n'intervient plus dans cette formule. Pourquoi? Là ça a été ma minute de gloire (on se rattrape comme on peut). C'est parce qu'on fait l'hypothèse que les masse inerte et grave s'identifient (ce qui est vérifié expérimentalement avec une assez grande approximation). Où intervient chacune m'a-t-il demandé? Ça j'ai su.

Retour sur les obus allemand que j'ai évoqué en parlant de déviation vers l'est. Ils sont toujours dévié vers l'est? Euh oui! Même dans l'hémisphère sud? Euh oui...

Dernière question pour achever le bonhomme qui est en train de fondre et de suer toutes les gouttes de sont corps : « Si je tire un boulet verticalement vers le haut, il retombe où? » La réponse n'est pas sorcière mais dans les conditions où j'étais elle devenait hors de portée. Et ils ont arrêté.

Remarques : C'est la pire des 9 leçons que j'ai faites cette année et manque de bol, c'est la seule qui comptait vraiment... La préparation s'est plutôt bien passé même si j'ai mis 1h30 avant d'arriver au II. J'ai eu le temps de relire tranquille à la fin mais pas eu le temps de toujours bien comprendre ce dont je parlais, et ça c'est mal. Le jury a repéré exactement tous les trucs où j'étais moyen. Il m'a manqué 1 minute pas plus pour finir mon exposé oral. Du coup, la partie que je trouvais la plus fun (avec le tourbillon du lavabo) a été très raccourcie. C'est dommage.

### **Agrégation 2016 - Note : 17/20**

Questions - Longue discussion autour de la différence entre référentiel inertiel et référentiel galiléen, avec principe d'équivalence d'Einstein. Ca a duré longtemps, il essayait de me faire dire quelque chose et j'ai l'impression que ma réponse a plutôt été fausse... - Définition du référentiel de Copernic avec étoiles lointaines, conditions de temps long pour le considérer galiléen. ODG des longueurs caractéristiques? - Titre du II. A quoi c'est dû les marées, juste à l'attraction gravitationnelle? => Et non, effet de translation, j'aurai pas du changer mon titre => Remarque : j'en ai discuté avec des lyonnais, et a priori ça a fait gros débat chez

eux. Car oui suivant la façon dont je l'ai présenté c'est un effet de translation mais on peut se placer dans un cadre d'étude qui ne fait pas appel à la translation. - Force de Coriolis : quelle autre manifestation que l'expérience de Reich ? => J'avais juste relu ce passage dans le BUP de Sivardière : durant la seconde guerre mondiale, américains tenaient compte de la déviation vers l'est pour tirer leurs obus sur de longues distances. Sauf qu'ils avaient l'habitude dans l'hémisphère Nord. Du coup quand ils ont commencé à combattre dans l'hémisphère sud ben y avait un problème. Le membre du jury fait une drôle de tête, son collègue lui confirme. - Autre phénomène ? => Cyclones et anticyclones, avec sens de rotation. Il semble attendre plus de part, j'explique un peu en insistant que c'est parce que ce sont des grosses masses d'air qui parcourt de grandes distances durant un temps nécessaire pour que la force de Coriolis ait une action significative (pour pas sortir l'exemple des lavabos...) - Autre jury : revient sur Reich, précision de l'époque ? Forte dispersion des mesures ? Fiabilité ? - A partir de quand s'est-on intéressé au fait que la terre tourne ou non ? - Pour les obus tirés par les américains ? Déviation vers l'ouest ? Est-ce aussi simple que ça ? Par exemple, si un obus était tiré à la verticale, que ce serait-il passé ? - Que savez-vous sur la théorie dynamique des marées ? - Sous quelles conditions peut-on considérer un référentiel comme galiléen ou non ? - Dernière question car le temps est écoulé : d'où sort la dépendance en  $1/r^2$  de la force de gravitation => Je me noie dans des explications contradictoires alors qu'il me pousse à l'analogie électrostatique.

Entretien bref avec le jury :

Construction classique et bien menée (merci la répétition durant la préparation). L'histoire des obus tirés a été appréciée. Point sur lequel le membre du jury a insisté : lors des questions j'ai toujours pris mon temps (raisonnablement) pour répondre, j'ai alors veillé à détailler mon raisonnement (voir même à le rectifier en cours de route) et j'ai préféré ne pas répondre lorsque je ne savais pas. Vraiment ça a eu l'air de l'avoir marqué que je réponde posément aux questions de la sorte. En discutant avec un encadrant par la suite, celui-ci m'a dit que de démarrer à un tel niveau de question (dynamique newtonienne vs dynamique einsteinienne) présageait que la leçon s'était bien déroulée. Ils testaient alors mon niveau et effectivement ma capacité à réagir face à des questions auxquelles je ne sais pas répondre.

### **Agrégation 2008 - Note : 10/20**

Les questions du jury n'ont pas dépassé le cadre de la leçon. Il m'a été demandé de donner des ordres de grandeurs, d'éclaircir quelques points que j'avais abordés. Le jury a été surpris que je précise qu'« en relativité Galiléenne la force est invariante par changement de référentiel ». Je me suis bien gardé de parler de relativité restreinte pendant la leçon et c'est précisément pour que le sujet soit abordé pendant les questions que j'avais donné cette précision qui, finalement, n'a fait que semer le doute.

### **Agrégation 2010 - Note : 14/20**

- J'ai déclaré que l'accélération du centre de la terre était la somme des potentiels gravitationnels des autres astres. Ils m'ont demandé si c'était toujours vrai ou s'il y avait des hypothèses supplémentaires à faire. (Pour être sûr que la résultante des forces sur un objet s'exerce bien en son centre, il faut que cet objet possède une répartition de masse sphérique.)
- Tous les résultats ont été écrits pour des masses  $m$  quelconques. C'est pas un peu surprenant que ça fasse pareil pour n'importe quel masse ?
- Pour les marées vous avez dessiné

les forces qui s'exercent, mais comment pourrait-on avoir une idée plus précise de la déformation que ça engendre ? • Est-ce qu'il existe un référentiel galiléen ? • Comment est reliée la période de rotation du pendule de Foucault à la période de rotation de la terre ? • Citer d'autres conséquences des termes de marées autre que les marées océaniques. (Elle déforme le manteau terrestre et cette déformation provoque une modification de la vitesse de rotation de la terre). Et sur d'autres astres ? (Les termes de marées peuvent être suffisamment fort pour entraîner la destruction d'un satellite ça a un nom mais j'ai pas réussi à le retrouver sur le moment 15). À quelle condition peut-il y avoir destruction ? Faut-il être proche ou loin ? • Comment est définie la verticale ? • Vous nous avez dit que la valeur de  $g$  varie sur la terre à cause du terme d'inertie. Est-ce qu'il y a d'autres sources de variation ? (Oui, la terre n'est pas sphérique c'est un ellipsoïde et ça fait varier  $g$  aussi). Quel effet est prépondérant ?

### Agrégation 2012 - Note : 16/20

Marées : on m'a fait aborder et expliquer la limite de Roche. J'ai montré dans la leçon que pour que le caractère non galiléen du référentiel terrestre se manifeste, il y a des conditions sur les ordres de grandeurs 16 (durées typiques : la journée ; longueurs typiques : le millier de km...). Sur Coriolis et les fluides : autre système que l'atmosphère ? (L'océan). Comment distinguer expérimentalement le champ de gravité et celui de pesanteur ?

## LP4 : Précession dans différents domaines macroscopiques et microscopiques

### Rapports du jury

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

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

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

**2011, 2012, 2013, 2014** : Les candidats ignorent trop souvent les principes de fonctionnement et les performances des gyroscopes modernes.

**2009, 2010** : Les hypothèses de l'approximation sont très rarement énoncées clairement et encore plus rarement vérifiées dans le traitement des applications. L'équation de précession est un concept utile.

**2008** : Une illustration expérimentale aide à faire passer le message de cette leçon. Il faut prévoir assez de temps pour traiter le domaine microscopique. Le lien avec l'approche quantique peut être évoqué en évitant de sombrer dans le détail des calculs. Il est rappelé que le moment cinétique et le vecteur rotation ne sont a priori pas colinéaires.

**2006** : Une illustration expérimentale aide à la compréhension de cette leçon. Un temps suffisant doit être consacré au domaine microscopique. Les équations d'évolution du moment

magnétique en présence d'un champ magnétique tournant doivent être clairement établies dans le repère tournant. Les conditions de résonance et les applications de la résonance magnétique doivent être discutées. Le lien avec l'approche quantique peut être évoqué mais il faut éviter de sombrer dans le détail des calculs.

**2005** : La réalisation d'expériences est toujours appréciée dans cette leçon, surtout si elles sont mises clairement en relation avec les résultats théoriques. Comme dans toute leçon de mécanique, les référentiels doivent être correctement définis. La notion de référentiel barycentrique, quand elle est introduite, est souvent confuse. Le temps imparti au domaine microscopique est trop court.

**2002** : Les applications citées ou les expériences présentées pour illustrer la notion de couple gyroscopique sont souvent très mal comprises. L'aspect paradoxal peut être évoqué.

**1997** : Montrer l'unité de la leçon ; l'aspect microscopique (incluant en particulier la résonance magnétique nucléaire et ses applications médicales) est trop souvent négligé. Les gyroscopes employés pour l'illustration expérimentale du sujet sont souvent sous-utilisés et ne sont pas lancés suffisamment fort pour qu'effectivement l'approximation gyroscopique soit valable !

## Retours d'oraux

### Agrégation 2013 - Note : 06/20

J'ai lancé le gyroscope de Montrouge 2 fois (une fois équilibré pour montrer le couple gyroscopique et une fois non équilibré pour montrer la précession) et le jury a vraiment apprécié. J'ai aussi montré les angles d'Euler sur le gyroscope et ça leur a beaucoup plu. Pour les applications, les astuces de Feynmann qui ne sont pas à la bibliothèque parlent vachement de gyroscopes et d'applications concrètes mais utiliser ce livre pour la première fois le jour de l'oral est impossible. Il faut l'avoir travaillé avant !

Questions : • Comment expliquer aux élèves la formule :  $\vec{\omega} = \dot{\psi}\vec{e}_z + \dot{\theta}\vec{e}_u + \dot{\phi}\vec{e}_z$  ? tous les vecteurs sont fixes ? Comment montrer que non ? • Pourquoi et comment expliquer aux élèves que OC (le vecteur entre le point fixe et le centre d'inertie) est colinéaire au moment cinétique ? • Relation entre moment cinétique et vecteur rotation ? • Que sont les axes principaux d'inertie ? Matrices d'inertie ? Comment calculer un moment d'inertie ? • Pourquoi le gyroscope a aussi un mouvement de nutation quand on le lance ? • Pourquoi il tombe au bout d'un moment quand il précesse ? • Où est le point fixe dans ce gyroscope ? • Explication du fonctionnement du gyrocompas ?

Commentaires du jury : • Pas assez clair => bien identifier les objectifs de la leçon et être au clair sur la physique du solide et les matrices d'inertie • Ne pas se perdre dans la technique (calculs du vecteur rotation dans toutes les bases possible et imaginables inutiles !). • Bien faire ressortir la physique du phénomène. • Ne pas hésiter à parler de matrices d'inertie puisque de toutes façon on est hors programme de prépa. • Garder du temps pour la partie microscopique : il ne faut pas laisser les 5 dernières minutes de la leçon pour ça. • Bien de faire une manip bien menée et de l'exploiter au maximum mais il faut savoir répondre aux questions dessus et surtout l'arrêter une fois qu'on a montré ce qu'on voulait !

# LP5 : Lois de conservation en dynamique

## Rapports de jury

**2017** : Des exemples concrets d'utilisation des lois de conservation sont attendus.

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

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

Jusqu'en 2014, le titre était : Lois de conservation en dynamique des systèmes.

Jusqu'en 2013, le titre était : Exemples d'utilisation des lois de conservation en dynamique des systèmes.

**2010** : Le titre est général. Les lois de conservation sont à illustrer absolument et la physique est généreuse en exemples variés. Les exemples les plus pertinents sont ceux où les deux corps sont de masses comparables. Il est très maladroit d'insister sur des illustrations où, justement, il n'y a pas de conservation simple, le système étudié n'étant par exemple pas isolé.

Jusqu'en 2009, le titre était : Utilisation des lois de conservation dans le problème à deux corps. Applications.

**2009** : Le titre est général. Les lois de conservation sont à illustrer absolument et la physique est généreuse en exemples variés. Les exemples les plus pertinents sont ceux où les deux corps sont de masses comparables. Pour la leçon Exemples d'utilisation des lois de conservation en dynamique des systèmes, le jury attend que le candidat choisisse un nombre d'exemples limité, mais qu'il les analyse en profondeur.

**2008** : Il existe d'autres exemples que les interactions newtoniennes. La distinction entre le mouvement d'ensemble et le mouvement barycentrique est fondamentale.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2008 - Note : 08/20**

Quelques questions sur les coniques, sur l'allure des énergies potentielles effectives en général et sur les trajectoires : à quelles conditions sont-elles elliptiques? fermées?

### **Agrégation 2011 - Note : 08/20**

Principalement des demandes de précisions sur la leçon suite à un exposé peu clair.

### **Agrégation 2012 - Note : 08/20**

Quand peut-on dire d'un objet qu'il est à l'équilibre? Quand le moment cinétique se conserve-t-il? Les lois de conservations permettent-elles de déterminer les vitesses des objets après le choc? À une, deux, trois dimensions?

### **Agrégation 2013 - Note : 07/20**

Pour la Terre autour du Soleil, est-ce qu'il y a des grandeurs conservées autres que le moment cinétique et l'énergie ? Pour le pendule pesant : quelle est la propriété fondamentale qui permet la conservation de l'énergie ? J'ai fait le choc frontal avec les billes : est-ce qu'on peut toujours résoudre le problème des chocs, même en 2D ou 3D ? En parlant avec le jury le jour des résultats, ils m'ont dit qu'il fallait prendre du recul sur les conservations des grandeurs, les relier à l'invariance du système (invariance par rapport au temps donc conservation de l'énergie dans le cas du pendule), qu'il fallait chercher des grandeurs qui se conservent par exemple le vecteur de Runge-Lenz, et que le choc des billes est à une dimension donc ne reflète pas la réalité : en général on ne sait pas résoudre le problème. Traiter plutôt l'effet Compton.

### **Agrégation 2014 - Note : 17/20**

Plan fait dans l'année (avec les notions de symétries très importantes) + fibre optique (traitée dans le Portelli). Qu'entendez-vous par espace isotrope ? (réponse rapide et le niveau s'est élevé, je me suis dit hurra) De quelle façon peut-on traiter des systèmes non conservatifs en les rendant conservatifs (j'ai invoqué la thermo, il a dit pourquoi pas mais il attendait autre chose) ? Pourquoi avoir proposé le vecteur de Runge-Lenz, quelle est son utilité en mécanique quantique (cf Aslangul) ? Un autre correcteur m'a posé des questions simples comme lier la courbe d'énergie potentielle effective à la trajectoire d'un astéroïde en état libre (situer le périhélie). J'ai répondu trop vite, je me suis fait avoir, j'ai eu un moment d'hésitation et j'ai bien répondu (la fatigue et peut-être aussi parce que je pensais à la question sans réponse de ma part). Puis une ouverture sur les états libre et liés en MQ. Le jour des résultats, le jury était très satisfait de l'analogie mécanique/optique appliquée à la fibre à gradient d'indice et que le reste était bien traité (pas trop de calculs). On m'a dit que les 3 points en moins c'était l'hésitation lors de la question simple ...

### **Agrégation 2017**

Quelle est la vitesse de la particule fictive dans le référentiel d'étude ? Donner des exemples concrets de systèmes à deux corps. Y a-t-il une particule fictive pour un système à N corps ? Comment montrer que les forces d'interactions mutuelles sont alignées ? J'ai vite calé sur les questions concernant ma première partie... Expérience du tabouret d'inertie pas assez probante, comment l'améliorer ? (poids plus lourds). Pourquoi avoir dessiné la danseuse avec une jambe pliée ? Qu'est-ce que cela change ? (équilibre et frottement). Pourquoi le moment d'inertie est conservé dans le cas de la danseuse ? (forces parallèles à l'axe de rotation). Comment calculer le moment d'inertie de la danseuse ? (approximation d'un cylindre) Et avec les bras tendus ? (ajout de  $1/3ml^2$ ). Comment expliquer le principe d'invariance concrètement ? Connaissez-vous d'autres lois de conservation ailleurs qu'en mécanique ? (conservation de la charge). Qui a unifié ces observations sur les grandeurs conservées ? (Noether).

## **LP6 : Cinématique relativiste**

### **Rapports du jury**

**2016** : Les notions d'événement et d'invariant sont incontournables dans cette leçon.

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

**2014** : Cette leçon exige une grande rigueur dans l'exposé tant sur les notions fondamentales de relativité restreinte que sur les référentiels en jeu. Elle invite les candidats à faire preuve d'une grande pédagogie pour présenter des notions a priori non intuitives et faire ressortir les limites de l'approche classique. Un exposé clair des notions d'invariant relativiste est attendu.

Jusqu'en 2013, le titre était : Principes de la cinématique relativiste. Conséquences.

**2013** : Cette leçon exige une grande rigueur dans l'exposé tant sur les notions fondamentales de relativité restreinte que sur les référentiels en jeu. Elle invite les candidats à faire preuve d'une grande pédagogie pour présenter des notions a priori non intuitives et faire ressortir les limites de l'approche classique. Un exposé clair des notions d'invariant relativiste et de composition des vitesses et de ses propriétés est incontournable dans cette leçon. La réciprocité des effets de dilatation des durées et de contraction des longueurs doit être soulignée.

**2012** : Cette leçon exige une grande rigueur dans l'exposé tant sur les notions fondamentales de relativité restreinte que sur les référentiels en jeu. Elle invite les étudiants à faire ressortir les limites de l'approche classique. Un exposé clair de la notion de composition des vitesses et de ses propriétés est incontournable dans cette leçon. Les notions de dilatation du temps et contraction des longueurs doivent être discutées.

**2011** : Cette leçon exige une grande rigueur dans l'exposé tant sur les notions fondamentales de relativité restreinte que sur les référentiels en jeu. Elle invite les étudiants à faire preuve d'une grande pédagogie pour présenter des notions a priori non intuitives et faire ressortir les limites de l'approche classique. Un exposé clair de la notion de composition des vitesses et de ses propriétés est incontournable dans cette leçon.

**2010** : Il n'entre pas dans le cadre de cette leçon de démontrer la transformation de Lorentz-Poincaré. La notion d'événement est un outil central.

**2009** : Il n'entre pas dans le cadre de cette leçon de démontrer la transformation de Lorentz-Poincaré.

Jusqu'en 2007, le titre était : Principes de la cinématique relativiste. Durée propre. Longueur propre.

**2007, 2008** : Les principes de la relativité restreinte doivent être énoncés de manière complète et précise. Les notions de durée ou de longueur propres ne prennent tout leur sens qu'en envisageant les phénomènes de contraction et dilatation. La description d'expériences ou d'applications mettant en jeu ces notions permet de rendre le contenu de cette leçon plus concret.

**2006** : Les bases de la cinématique relativiste ne sont pas toujours bien comprises. La notion de durée propre et les phénomènes de contraction-dilatation doivent être abordés avec un soin tout particulier. Il ne faut pas se contenter de présenter cette leçon de manière théorique et laisser une bonne place aux applications.

**2005** : La notion d'événement est cruciale. Les mesures des durées et longueurs « impropres » restent souvent mystérieuses.

**2002** : Il est souhaitable de consacrer une partie de l'exposé aux fondements de la cinématique relativiste, en prenant soin d'utiliser un vocabulaire rigoureux. Un voyage interplanétaire effectué à la vitesse de  $0.97 c$  ne peut constituer une illustration concrète du phénomène

de dilatation des durées . . . Les applications réalistes, pour lesquelles les observations expérimentales réelles s'interprètent grâce aux résultats de la cinématique relativiste, sont à rechercher. Les définitions de la longueur propre et de la durée propre doivent être énoncées nettement. La notion d'événement doit être précisée.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 16/20

- Dans votre exposé, qu'est-ce qui est postulé? (Le principe de relativité). Pourtant vous avez donné la transformation de Lorentz sans démonstration. Sur quels arguments s'appuie la démonstration? De même, l'invariance de l'intervalle, on démontre comment?

- Vous avez présenté comme "nouvelles" la dilatation des durées et la contraction des longueurs, pourtant les élèves connaissent déjà ces phénomènes en arrivant à une telle leçon, pourquoi en parler alors? (Oui vues en terminale S, mais parachutées, ici on les retrouve à partir du principe de relativité.)

- Vous avez défini un référentiel comme un ensemble d'observateurs immobiles munis d'une horloge. Immobiles par rapport à quoi?

- Vous avez évoqué l'expérience de Michelson et Morlaix comme une contradiction avec la théorie de l'éther mais vous n'avez pas décrit l'expérience. Pouvez-vous le faire? Quelle propriété générale de l'espace est mise en évidence?

- La transformation de Lorentz garde constante les équations de Maxwell, comment on le démontre? Exemple sur Maxwell-Gauss, où interviendrait la transformation de Lorentz?

- Vous avez choisi d'illustrer chaque propriété présentée avec des expériences / observations qui les confirment. Pédagogiquement, aurait-il été possible de construire cette leçon avec une grande première partie consacrée aux observations expérimentales, et une grande 2e partie consacrée à la théorie d'Einstein? A votre avis ce type de plan aurait-il été plus clair ou moins clair pour des élèves?

- Il y a peu, des chercheurs ont mesuré une particule se déplaçant plus vite que la vitesse de la lumière, en avez-vous entendu parler? (Oui il s'agissait un neutrino, et c'était une erreur de mesure.)

- Dans l'expérience de pensée sur le miroir dans le wagon. Vous précisez que la composante verticale de la distance séparant la source au sol du miroir au plafond est  $L$ , et ce dans les deux référentiels (attaché au wagon, et le référentiel terrestre). Un élève vous dit que d'après la contraction des longueurs on devrait avoir des longueurs différentes. Comment lui expliquer que non?

- Avez-vous un exemple d'observation expérimentale de la contraction des longueurs?

Encadrant très disponible, est allé sans barguigner me chercher 2 livres supplémentaires au milieu de la préparation.

### Agrégation 2016 - Note : 05/20

Pourquoi a-t-on voulu considérer l'éther? - Par analogie avec l'acoustique car on ne concevait pas que le champ puisse exister dans milieu de support, mais l'accession de  $c$  au rang de constante universelle en relat' remet ceci en question : un champ est un objet physique en soi et peut être étudié comme tel, les champs de la MQ s'étudient d'ailleurs systématiquement dans le cadre d'une théorie des champs

Quel devrait en être le module d'Young ? - Bonne question, ça m'apprendra à faire mon malin...

Quelle manip' a conduit à son abandon ? - Michelson et Morley, interféromètre sur mercure liquide. Comment définissez vous un évènement ? - Un truc qui se passe à un instant  $t$  à un endroit  $x$ , mais ils ont pas l'air convaincus...

Comment mesurez vous une longueur propre ? - Avec un aller-retour lumineux, d'ailleurs ça remet en cause la notion de simultanéité : si j'envoie un rayon de  $O$  à  $x$ , alors il décrit le cône de lumière associé dans un diagramme d'espace-temps, puis un autre cône centré en  $x$  à cet instant  $t_0$  pour revenir en  $O$  à  $2t_0$  mais ça revient à dire que l'évènement "le rayon touche  $x$  en  $t_0$ " est simultanément à "l'émetteur est en  $O$  à  $t_0$ ". Cependant, les évènements  $(0, t_0)$  et  $(x, t_0)$  sont séparés d'un intervalle de genre espace, on aurait donc pu feuilleter l'espace en tranches de simultanéités d'un arbitraire différent. Mais ils ont un peu tiré la gueule...

Comment traite-t-on les forces ? - On n'a rigoureusement droit qu'à Lorentz, et le PFD s'écrit alors en construisant le plus simple PFD covariant de Lorentz. (on divise  $p$  par le temps propre, et Lorentz est cool)

Que devient l'impulsion alors ? - Je leur ai dit qu'il fallait la prendre au sens d'une impulsion généralisée de la mécanique analytique, avec un Lagrangien de couplage minimal avec le champ, mais ils m'ont dit "au niveau de votre leçon" SVP, et sans champ.  $p = mv$  donc.

Paradoxe des jumeaux de Langevin ? - Il y a de l'accélération donc on est plutôt dans un cadre de RG, cependant on peut résoudre le paradoxe en se plaçant dans le référentiel galiléen tangent à la ligne d'univers du jumeau balladeur, finalement il est plus vieux.

Ils m'ont fait redéfinir mes angles d'aberration des étoiles.

Est-ce que la constance de  $c$  est la seule condition pour avoir les transformations de Lorentz ? - Non, mais l'homogénéité de l'espace et l'invariance des lois de la physique par translation dans le temps imposent sa linéarité.

Qu'est-ce que "l'invariance des lois de la physique par translation dans le temps" ? - J'ai dû mal comprendre la question car la phrase me semblait claire... Ils ont bataillé pour je ne sais quoi.

Ca veut dire quoi que les équations de Maxwell sont invariantes de Lorentz ?

### **Agrégation 2008 - Note : 04/20**

Notion de perte de simultanéité ? (Il m'a été reproché de ne pas en avoir parlé). Pouvez-vous ré-expliquer l'expérience de Michelson-Morley ? Quelles sont les contraintes que doit vérifier une transformation ? En particulier celle de Lorentz ? (notion de causalité). Pouvez-vous ré-expliquer l'effet Doppler-Fizeau ?

### **Agrégation 2008 - Note : 16/20**

Questions sur les postulats : homogénéité de l'espace-temps, isotropie de l'espace sont-elles spécifiques à la relativité restreinte ? La causalité est-elle un postulat ou une conséquence ? L'invariance des forces est-elle un postulat de la physique ? La relativité restreinte intervient-elle au quotidien ou seulement dans des expériences de physique à grande échelle et/ou hautes énergies ?

### **Agrégation 2010 - Note : 05/20**

A l'issue de ma leçon, on m'a demandé quelques précisions sur mes signes, notamment dans l'expression du champ électrique dans un autre référentiel d'inertie. On m'a demandé quelques informations sur l'expérience de Morley et Michelson (déplacement des franges attendu, taille des bras) ainsi que des exemples (autres que la désintégration muonique et la modification du temps de parcours du TGV Paris-Lyon) où la dilatation du temps pouvait avoir des effets observables. On est restés longtemps sur la perte de simultanéité, car j'étais passé assez vite sur sa démonstration. Cette question a constitué l'essentiel de l'entretien, ce qui a laissé assez peu de temps pour d'autres questions. Pour finir, on m'a demandé d'expliquer ce qui se passait en réalité, et de lever le « paradoxe » apparent de la relativité restreinte. Il faut être TRÈS propre sur les définitions (notamment celle d'un changement de référentiel, d'un événement...) et les différents objets manipulés (en particulier, les différents référentiels). Maîtriser les bases de la relativité restreinte n'est malheureusement pas suffisant pour bien aborder cette leçon, il faut faire un vrai effort pour enlever toutes les ambiguïtés de son exposé, et c'est malheureusement ce qui m'a fait défaut le jour J.

### **Agrégation 2012 - Note : 09/20**

Des explications précises sur les expériences de Michelson et Fizeau : que mesure-t-on ? comment ? que voit-on ? conditions précises des expériences ? Lien entre contraction de l'espace et dilatation du temps ?

### **Agrégation 2013 - Note : 02/20**

Comment être sûr qu'un des bras du Michelson est dans le sens du mouvement de la Terre dans l'expérience de Michelson Morley ? Expliquer le paradoxe des jumeaux. Je n'ai pas eu le temps de traiter tout ce que j'avais prévu, notamment le paradoxe des jumeaux, la contraction des longueurs, la dilatation du temps, les exemples du temps de vie des muons, ou du train en mouvement avec les deux observateurs et les deux signaux, expérience qui met en évidence la perte de la simultanéité par changement de référentiel galiléen. Je maîtrisais le sujet parfaitement (j'adore la relativité) mais par manque de temps (car j'ai trop expliqué comme à des élèves) je ne l'ai pas traité complètement. Moralité : il ne suffit pas de savoir, il faut bien gérer son temps. La note est très sévère mais elle prouve que le jury ne note pas des compétences ou des connaissances mais note une prestation dans un format très précis qu'il faut absolument respecter.

### **Agrégation 2014 - Note : 14/20**

Les questions ça a duré longtemps ... plus que les 20 minutes. Je trouvais que j'avais fait un truc vraiment bien et ils ont eu plutôt du mal à me coller dans les questions donc je trouve pas ça cher payé. Pendant les confessions, elle m'a dit -3 points parce que vous étiez beaucoup trop stressé et c'est pas bien pour un prof et -3 parce que vous avez dit certains trucs faux pendant les questions mais la leçon était très bien. Fonctionnement du GPS ? Corrections relativistes ? Précision ? — Qu'est-ce qu'une horloge atomique ? Pourquoi veut-on mesurer le temps aussi précisément ? Définition de la seconde ? Qu'est ce que l'on fait de mieux pour mesurer le temps ? — Plusieurs questions historiques : apports de Poincaré, Lorentz, Einstein, Fitzgerald ? — Questions historiques sur l'expérience de Michelson : date, précision, précautions expérimentales ? Ré-expliquer la rotation du Michelson de 90°. Pourquoi prendre

la vitesse de la Terre par rapport au système solaire pour le calcul ? Et si l'éther était lié au référentiel terrestre ? Fait-on encore ce genre d'expérience actuellement ? — Dynamique relativiste ? Quadrivecteurs ? PFD relativiste ? Existe-t-il toujours des vecteurs (pas quadri) en relativité restreinte ? Existe-il l'équivalent d'une deuxième loi de Newton pour définir les référentiels d'inertie en relativité ? Autres manifestations de la contraction des longueurs/dilatation du temps ? — Propriétés d'un muon en tant que particule ? Comment expliquer l'écart entre la valeur mesurée et le flux de muon que vous avez calculé avec la correction relativiste ? La seule source d'incertitude est-elle sur le rapport  $v/c$  ? Quelles énergies en jeu au CERN ? — Quelle jauge est invariante de Lorentz ? Intérêt ? Peut-on retrouver la contraction des longueurs à partir du quadrivecteur source  $(\rho/c, \vec{j})$  ? Peut-on retrouver la perte de simultanéité sans les transfo de Lorentz ? Faites un dessin. — Paradoxe des jumeaux ? Est-ce que c'est vraiment à cause des phases d'accélération que l'on ne peut pas appliquer les transformations de Lorentz à la fusée ? Est-ce que ça a été réalisé en vrai ? — Expliquer les résultats sur le périhélie de Mercure, ordres de grandeur ? Où intervient la relativité ? — Effet Doppler ? Effet Doppler relativiste ? Effet Doppler transverse en mécanique classique ? Cet effet a-t-il été mesuré ? Sur quels systèmes ?

### **Agrégation 2014 - Note : 09/20**

Détaillez le calcul de Michelson et Morley ? But premier de l'expérience de Fizeau ? Fonctionnement des détecteurs de muons dans l'expérience de Frisch et Smith ? Comment synchroniser deux montres dans un même référentiel ? Dans quel cas nous pouvons rencontrer la dilatation du temps ? J'ai plus ou moins suivi le BFR méca1 et le Langlois, mais comme me l'a fait remarquer le jury durant l'entretien j'ai passé beaucoup trop de temps sur la première partie (transfo de Galilée et Michelson Morley) qui n'est pas au coeur du sujet de la LP et de ce fait je n'ai pas eu le temps de présenter la contraction des longueurs et l'intervalle espace/temps. Cependant ils ont apprécié l'usage des transparents, le fait d'apporter dès que j'ai pu une description des expériences qui ont confirmées ou infirmées l'avancée de la relativité (Michelson et Morley, Fizeau, Frisch et Smith).

### **Agrégation 2014 - Note : 16/20**

J'ai présenté cette leçon en classe en 2013 et la prestation du jour J a correspondu exactement au polycopié de l'époque, transparents compris. La préparation s'est passée idéalement. Quelle est la particularité des ondes lumineuses par rapport aux autres ondes ? Vis-à-vis de la constance de  $c$  ? (je n'ai pas trop compris le sens de cette question). Existe-t-il une grandeur invariante par transformation de Lorentz ? (carré de l'intervalle relativiste). Quel est l'intérêt de cet invariant et sa signification physique concrète ? Connaissez-vous le paradoxe des jumeaux ? Pouvez-vous expliquer en quelques mots ce paradoxe et le lever ? Pouvez-vous donner les grandes lignes de la démonstration permettant d'aboutir à la transformation de Lorentz ? Existe-t-il une distinction entre le caractère homogène et le caractère absolu du temps ? Plus précisément, le caractère absolu entraîne-t-il le caractère homogène ? (rires du jury qui a précisé que ça pourrait être un bon sujet de philosophie). Vous avez donné une valeur numérique de  $c$  : comment cette valeur est-elle déterminée expérimentalement aujourd'hui ? Les systèmes atomiques sont-ils soumis à la notion de temps propre ? Dans quels systèmes d'utilisation courante utilise-t-on des horloges atomiques ? (GPS). Concernant les

détecteurs de muons, y a-t-il une condition sur le déclenchement du comptage ? (pas compris). Vous avez donné des dates tout au long de la leçon, pouvez vous préciser quand a été établie la transformation de Lorentz, par rapport aux travaux d'Einstein ? Pourquoi on ne l'appelle pas la transformation d'Einstein ? (apparemment, l'expression mathématique de la transformation de Lorentz a vu le jour avant Einstein, mais n'a été interprétée physiquement qu'ensuite). Ils ont beaucoup aimé la leçon, le dynamisme et la pédagogie. La « raison pour laquelle la note n'est que de 16 » réside en un manque de clarté sur certains calculs et notamment pour l'expérience de Frisch et Smith ...

## LP7 : Dynamique relativiste

### Rapports du jury

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

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Dynamique relativiste. Exemples.

**2010** : La forme plus complexe des lois de la dynamique peuvent rendre les exemples choisis très techniques. Il convient de choisir des illustrations simples où les effets relativistes apparaissent rapidement. L'étude des collisions peut bien évidemment entrer dans le cadre de cette leçon. Ne pas oublier que les lois de conservation sont également un outil de découverte de particules nouvelles, indétectables directement.

Jusqu'en 2009, le titre était : Collisions en relativité restreinte. Application à l'étude des particules élémentaires.

**2009** : Ne pas oublier que les lois de conservation sont également un outil de découverte de particules nouvelles, indétectables directement. Pour la leçon Dynamique relativiste. Exemples, le jury attend que le candidat choisisse un nombre d'exemples limité, mais qu'il les analyse en profondeur.

**2007, 2008** : L'intérêt du référentiel barycentrique n'est pas toujours maîtrisé. Les candidats sont encouragés à diversifier les exemples traités.

**2005** : L'intérêt du référentiel barycentrique dans l'évaluation du seuil de réaction n'apparaît pas toujours clairement. Des exemples contemporains sont appréciés.

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2017 - Note : 17/20

Plan classique : I. Principe fondamentale de la dynamique relativiste ; II. Charge dans un champ EM ; III. Collisions de particules relativistes.

Quelques questions : Vous avez identifié/construit les quantités dynamiques en examinant la limite classique, comment sait-on si ce sont vraiment les bonnes quantités ; en particulier que répondriez-vous à un élève qui vous pose cette question ? Ordre de grandeur des énergies dans une collision au LHC ? Mis à part les collisions, qu'auriez vous pu présenter d'autre

pour illustrer la dynamique relativiste ? Effet Compton ? Des questions sur les technologies des accélérateurs auxquelles je ne savais pas répondre, et on m'a fait remarqué que j'avais dit deux bêtises à ce propos. Ils reviennent sur une courbe que j'avais tracée : je m'étais trompé sur l'asymptote au voisinage de l'instant initial, de la position d'une particule chargée dans un champ  $E$  constant, et j'ai un peu buggé (j'étais un peu déstabilisé pas les questions qu'il venaient de me poser sur les accélérateurs.. c'est mal!).

Retours : Je crois que j'ai eu beaucoup de chance, parce qu'apparemment, « cette leçon est très très souvent mal traitée ». Je n'ai malheureusement vu que l'un des trois examinateurs, qui n'était pas avare d'éloge « c'est l'une des meilleures leçons qu'on ai vu cette année, et il est frustrant qu'on ait dû vous enlever 3 points pour ... [il évoque ce dont j'ai parlé dans la rubrique questions] Cela témoigne de la composante « chance » d'une leçon d'oral : votre prestation peut flatter ou au contraire heurter la sensibilité du Jury.

### **Agrégation 2012 - Note : 18/20**

Ils m'ont posé quelques questions sur les différences notables relativiste/classique. Pourquoi veut-on absolument garder la conservation de l'énergie et de l'impulsion pour un système isolé : la réponse attendue étant que les symétries de translation/renversement dans le temps et espace existent encore en relativité. Comment peut-on, par changement de référentiel, passer d'un champ  $E$  à un champ  $B$  ? Dans quels cas le fait que la masse dans un problème relativiste soit  $\gamma m$  plutôt que  $m$  est important ? J'ai embrayé sur les quasi-particules relativistes en matière condensée et le graphène, ils m'ont demandé ce que je savais dessus. Puis pourquoi j'avais dit que des GeV constituaient une énergie importante et comment l'expliquer à des élèves. Pourquoi dans le quadrivecteur impulsion il faut écrire  $E/c$  et pas juste  $E$  : par raison d'homogénéité, pour garder l'invariance de l'écriture du quadrivecteur par changement d'unité.

### **Agrégation 2014 - Note : 20/20**

De brèves questions sur la leçon : définition d'un référentiel inertiel, est-ce qu'on peut définir une quadri-accélération, précisions sur le référentiel du centre de masse, est-ce qu'il y a équivalence entre masse nulle et déplacement à la vitesse de la lumière

Puis des ouvertures : comment on pourrait montrer dès le début que la quatrième composante de l'énergie-impulsion est bien l'énergie (j'avais un peu taunté là-dessus), j'ai commencé à lui montrer comment on démontrait les équations de la dynamique relativiste, elle m'a dit de juste lui donner le Lagrangien, comment vous généraliserez à des référentiels non inertiels, comment vous rajouteriez la gravité, comment on fait des quadrivecteurs avec le champ électromagnétique, comment on peut quantifier la théorie simplement (j'ai commencé à parler de TQC, j'ai vu qu'ils faisaient une tête bizarre, alors je me suis dit qu'ils attendaient plutôt l'introduction en mode bisounours de Klein-Gordon, et à la limite de l'équation de Dirac), est-ce que c'est facile de faire de la thermodynamique relativiste, pourquoi c'est important d'accélérer des particules à très grande énergie, lien avec le principe d'indétermination de Heisenberg.

Et c'est tout ... à 10 minutes ils m'ont dit qu'ils n'avaient plus de questions ...

# LP8 : Notion de viscosité, écoulements visqueux

## Rapports du jury

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

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux. Nombre de Reynolds. Exemples simples.

**2011, 2012, 2013, 2014** : L'exemple de l'écoulement de Poiseuille cylindrique n'est pas celui dont les conclusions sont les plus riches. Les candidats doivent avoir réfléchi aux différents mécanismes de dissipation qui peuvent avoir lieu dans un fluide. L'essentiel de l'exposé doit porter sur les fluides newtoniens : le cas des fluides non newtoniens, s'il peut être brièvement mentionné ou présenté, ne doit pas prendre trop de temps et faire perdre de vue le message principal.

**2009, 2010** : Il importe de mettre clairement en évidence le caractère diffusif des forces de viscosité. Dans l'illustration expérimentale de l'écoulement de Couette plan, il faut s'assurer que l'on a bien atteint un régime permanent.

**2008** : La signification physique du nombre de Reynolds est ici centrale.

**2006** : Les notions d'écoulement tourbillonnaire et d'écoulement turbulent sont souvent mal assimilées. Les conditions d'applications de l'équation de Navier-Stokes sont ignorées.

**2005** : La relation entre la valeur du nombre de Reynolds et la nature de l'écoulement sont mal dégagées. Il y a souvent confusion entre tourbillon et turbulence. Les conditions d'application de l'équation de Navier-Stokes sont ignorées.

**2001** : Il est souhaitable de présenter un modèle microscopique simple de la viscosité 20. Il est utile de noter que le nombre de Reynolds s'interprète comme le rapport de deux temps caractéristiques de transport par diffusion et convection. La notion de couche limite peut être évoquée. On peut également présenter des écoulements autour d'obstacles.

**2000** : L'interprétation microscopique des forces de viscosité est souvent sacrifiée.

**1999** : La leçon doit permettre de montrer la compétition entre transfert convectif et transfert diffusif de quantité de mouvement.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2011 - Note : 18/20

Existe-t-il une viscosité autre que celle pour les écoulements incompressibles ? Quel est son nom ? Démontrez la relation  $\text{div}(\mathbf{v}) = 0$ . Ils sont revenus sur les calculs pour l'écoulement de Poiseuille cylindrique et notamment la question des conditions aux limites. Dépendance de la viscosité avec la pression pour les gaz ? Notion de couche limite, comment trouve-t-on l'expression de sa dimension caractéristique ? Vous avez parlé d'écoulement incompressible, qu'en est-il de l'air ? Si dans l'écoulement de Poiseuille on a un fluide pesant, que se passe-t-il ? (dépendance du champ de pression en  $r$  et  $\theta$ ). Soit un cycliste se déplaçant à 10 m/s dans l'air ou un nageur se déplaçant à 1m/s dans l'eau ; le Reynolds vaut 106 typiquement donc la viscosité peut être négligée ; pourquoi est-ce fatiguant ?

### Agrégation 2013 - Note : 04/20

Dépendance en température de la viscosité d'un liquide ? pourquoi lors de l'expérience de l'écoulement de Couette vous n'avez pas obtenu un profil totalement linéaire ?

### Agrégation 2014 - Note : 15/20

Les techniciens étaient vraiment à mon service, ils étaient très gentils et encourageant. Il n'y avait pas le montage que je voulais, ils ont essayé de me bricoler un petit truc. Ils ont eu du mal, mais ça a finalement marché à peu près, ils ont prévenu le jury. Le temps de préparation était correct. Mon plan était simple, j'ai essayé au maximum de me faire comprendre et toujours d'évaluer l'influence du signe, ou de donner des ordres de grandeurs. Par contre, je n'ai pas eu le temps de traiter la partie sur le nombre de Reynolds, je l'ai donc juste mentionné en conclusion, ils m'ont donc directement posé des questions dessus pour vérifier mes connaissances. Le jury m'a dit que ça lui avait fait bizarre aux premiers abords de ne pas détailler ce point en leçon mais que comme j'avais bien répondu aux questions sur le Reynolds, cela ne leur avait pas posé de problème. De manière générale, j'avais visé un peu haut sans m'en rendre compte, j'ai manqué de temps, ce qui m'a énormément déstabilisée sur la fin, alors que c'était la partie la plus intéressante. J'ai dû réévaluer ma leçon au cours de la présentation et alors j'étais pas très claire sur la fin ... Questions : (1) Questions sur le nombre de Reynolds. Retour sur la définition (j'avais donné la définition termes advectifs/termes diffusifs). Si  $\mathbf{v} \cdot \text{grad } v = 0$  strictement, cas pour le Poiseuille, alors peut on dire que  $Re = 0$ ? (2) Classements des écoulements, significations. Déf de laminaire? (3) Forme générale de Navier-Stokes? (j'avais insisté sur le fait que je traitais que des écoulements incompressibles pendant la leçon.) (4) Retour sur l'aspect microscopique. Pourquoi c'est différent pour un liquide? (5) Pourquoi parle t-on de viscosité dynamique ou cinématique? (6) Pourquoi des chercheurs utilisent des cellules de Helle-Shaw pour simuler un fluide de viscosité égale à 0? D'autres questions mais je ne me souviens plus ... (7) La dernière question était à propos de l'Hélium Superfluide. Est ce qu'il existe un fluide parfait? Que se passe-t-il si l'on met ce fluide dans un cylindre et que l'on tourne le cylindre? Commentaires du jury : ils m'ont trouvée speed, mais la présentation était ok, ils ont bien aimé mes réponses aux questions. Ma conclusion : faire une leçon très simple et être solide sur les questions.

## LP9 : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide

### Rapports du jury

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

**2016** : Les limites de ce modèle sont souvent méconnues.

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Modèle de l'écoulement parfait d'un fluide ; validité. Relation de Bernoulli ; limites et applications.

**2011, 2012, 2013, 2014** : La notion de viscosité peut être supposée acquise.

**2010** : Il est difficile de bien dégager la physique du modèle de l'écoulement parfait et de ses limites sans faire appel à la notion de viscosité que l'on pourra supposer connue. Les conditions aux limites imposées à un fluide s'écoulant autour d'un obstacle solide doivent être justifiées. L'interprétation énergétique de la relation de Bernoulli est très mal connue.

**2009** : Il est difficile de bien dégager la physique du modèle de l'écoulement parfait et de ses limites sans faire appel à la notion de viscosité. Les conditions aux limites imposées à un fluide s'écoulant autour d'un obstacle solide doivent être justifiées. L'interprétation énergétique de la relation de Bernoulli est très mal connue.

**2005** : La différence entre écoulement incompressible et fluide incompressible est souvent ignorée, de même qu'entre écoulement parfait et fluide parfait.

**2003** : L'équation d'Euler ne constitue pas le sujet central de la leçon et ne doit pas prendre une place excessive. Diverses expressions du théorème de Bernoulli peuvent être présentées. Il est plus intéressant de présenter des illustrations concrètes ou des applications pratiques que d'exposer une longue suite de formulations.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 14/20

Comment qualifier l'écoulement loin d'une aile d'avion ? À quoi ressemble la couche limite autour d'une aile profilée ? C'est quoi le décollement de la couche limite ? Quelle équation peut-on donner pour le vecteur tourbillon ? Sur l'effet Venturi : dans l'exemple présenté (tuyère), la ligne de courant choisie pour la démonstration est horizontale, qu'est-ce que ça change si l'écoulement est vertical ? J'ai présenté le même plan que celui présenté pendant l'année. Les techniciens ont monté toutes les manipulations sans problème. Je n'ai eu le temps de traiter qu'une application (effet Venturi) et sur les questions ils m'ont demandé d'expliquer ce que je comptais faire comme autre application puisque j'avais sorti la soufflerie : j'ai répondu qu'il s'agissait du tube de Pitot et ils m'ont demandé de donner des éléments théoriques au tableau.

## LP10 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

### Rapports du jury

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides : applications.

**2013** : Le lien avec les potentiels thermodynamiques n'est pas souvent maîtrisé. Il est important de dégager clairement l'origine microscopique de la tension superficielle. Le jury constate que trop souvent les candidats présentent des schémas où la représentation des interactions remet en cause la stabilité mécanique de l'interface.

**2011, 2012** : Le lien avec les potentiels thermodynamiques n'est pas souvent maîtrisé. Il est important de dégager clairement l'origine microscopique du phénomène.

**2009, 2010** : La force de tension superficielle est très mal décrite et comprise ; cette notion permet pourtant d'interpréter de nombreux résultats de façon simple et concrète. L'étude énergétique de l'interface doit s'appuyer sur une thermodynamique rigoureuse, où les systèmes et transformations étudiés sont définis avec une grande précision.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017

Comment on définit les rayons dans la loi de Laplace ? Est-ce qu'un rayon peut être négatif ? Pourquoi la longueur capillaire est du même ordre de grandeur pour différents fluides alors que la tension de surface ne l'est pas ? Comment vous pourriez l'expliquer avec les mains à des élèves ? Pourquoi le savon diminue la tension de surface de l'eau ? Vous connaissez d'autres méthodes pour mesurer la tension de surface ?

### Agrégation 2010 - Note : 08/20

comment peut-on définir la tension superficielle simplement ? Ils ont aussi posé des questions sur le paramètre d'étalement, le lien entre fluide mouillant/non mouillant et tension superficielle. Sur la démonstration de la loi de Laplace, je me suis compliquée la vie en ne supposant pas l'équilibre thermique.

## LP11 : Gaz réels, gaz parfait

### Rapports du jury

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

**2015** : Les discussions d'ordres de grandeurs sont importantes et l'appui sur des diagrammes thermodynamiques recommandé. La distribution des vitesses de Maxwell-Boltzmann est trop souvent méconnue.

**2014** : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de collision à l'échelle moléculaire et prendre du recul vis-à-vis du modèle des sphères dures. Le calcul de la pression cinétique doit être fait avec soin. Il faut préciser à quel moment intervient la moyenne statistique des grandeurs microscopiques. Les limites du modèle du gaz parfait et le cas des gaz réels doivent occuper une partie significative de la durée de la leçon.

**2013** : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de collision à l'échelle moléculaire et prendre du recul vis-à-vis du modèle des sphères dures. Le calcul de la pression cinétique doit être fait avec soin. Il faut préciser à quel moment intervient la moyenne statistique des grandeurs microscopiques.

Jusqu'en 2012, le titre était : Modèle du gaz parfait.

**2012** : Les candidats doivent avoir réfléchi à ce qu'est une collision à l'échelle microscopique et prendre du recul vis-à-vis du modèle des sphères dures. L'introduction de la notion de pression cinétique doit être effectuée avec soin.

**2010** : Le théorème d'équipartition de l'énergie est un théorème limite dont il faut bien connaître les conditions de validité. Le calcul de la pression cinétique nécessite de choisir une distribution des vitesses, qui peut être simple mais qui doit être cohérente.

**2008** : Les notions de moyennes, de valeurs quadratiques moyennes ainsi que l'exploitation des hypothèses formulées pour l'étude du gaz parfait sur l'évaluation de ces grandeurs sont très souvent mal introduites, voire mal comprises.

**2005** : Les notions de température cinétique et de température thermodynamique doivent être clairement dégagées.

**2004** : Le candidat doit maîtriser les ordres de grandeur des valeurs des grandeurs introduites : densité particulaire ; nombre de collisions par unité de temps, de surface ; vitesse quadratique moyenne ; longueur d'onde de de Broglie associée à une entité... et savoir les utiliser de manière pertinente au cours de l'exposé. La notion de gaz parfait polyatomique doit être abordée 24 .

Jusqu'en 2003, le titre était : Modèle du gaz parfait. Interprétations cinétiques de la pression et de la température. Limitations du modèle.

**2002** : Cette leçon nécessite d'avoir bien réfléchi à la logique de la démarche adoptée. On ne doit pas se limiter au seul cas du gaz monoatomique. L'interprétation cinétique de la notion de température est souvent confuse, en particulier dans le cas des gaz parfaits polyatomiques. Les conditions d'utilisation ou d'application du théorème de l'équipartition de l'énergie et la définition légale de la température doivent être connues.

**2000** : Dans cette leçon, il faut évidemment distinguer les caractéristiques générales d'un gaz parfait de celles d'un gaz parfait monoatomique. La loi de distribution des vitesses de Maxwell doit être citée et commentée. Enfin, dans le calcul de la pression, est-il vraiment nécessaire de séparer les deux phases d'adsorption et de désorption ?

**1998** : Il est suggéré aux candidats de faire ressortir le fait que la pression est une grandeur macroscopique nécessitant pour être définie que l'on procède à une moyenne sur un grand nombre de chocs élémentaires. Beaucoup de candidats définissent le gaz parfait comme un modèle où « aucune interaction ne s'exerce entre les molécules », alors que le rôle des collisions y est essentiel. La notion de libre parcours moyen doit être introduite [NB : ce n'est pas une limitation du modèle]. L'exposé des limitations se résume trop souvent à l'énoncé de l'équation d'état de Van der Waals, alors que les effets quantiques ne sont que rarement mentionnés, de même que les rôles respectifs des interactions répulsives et attractives selon la valeur de la température.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 19/20

Retour sur les hypothèses du gaz parfait (pertinence du caractère ponctuel des particules du gaz si on considère des collisions élastiques entre particules). Ordre de grandeur du dt intervenant dans le calcul de la pression cinétique pour estimer le nombre de chocs par unité de temps ? Le modèle du gaz parfait est-il valable hors équilibre ? Quelle est l'origine du

théorème d'équipartition ? Comment estimer les températures de gel (des degrés de liberté) ? Pourquoi le dernier degré de rotation d'une molécule diatomique ne rentre pas en compte dans le calcul du théorème d'équipartition ?

### **Agrégation 2013 - Note : 01/20**

Panique à bord en préparation. Je n'avais pas eu le temps de préparer toutes les leçons à la fin de l'année. Du coup, je n'avais ni plan ni idées concrètes de quoi dire sur cette leçon. J'ai pris un bouquin de prépa et raconté des banalités non maîtrisées sur le gaz parfait, puis l'équation de van der Waals. Sans conviction. J'ai tenu 20 minutes. À la fin le jury, voyant mon abattement, a fait sortir l'auditeur pour les questions. Ils m'ont d'abord bien dit qu'ils ne voulaient en aucun cas rajouter du stress à l'angoisse, puis ont posé quelques questions sur la théorie cinétique des gaz. Si les molécules sont ponctuelles et sans interaction, comment le gaz peut-il thermaliser ? Définition de la pression « cinétique » : en opposition à quoi ? Est-ce que les billes rebondissent vraiment sur la paroi ou est-ce plus compliqué ? Je n'ai pas eu beaucoup de réponses et la séance de questions s'est achevée prématurément. La note est donc totalement méritée. En quittant la salle, le jury m'a demandé d'où je venais, où j'avais préparé le concours. Ils m'ont encouragé très chaleureusement à représenter le concours.

## **LP12 : Premier Principe de la Thermodynamique**

### **Rapports de jury**

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

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

### **Retours d'oraux**

#### **Agrégation 2014 - Note : 13/20**

Connaissez vous des variables à la fois intensives et extensives ? Où placer  $mc^2$  dans une approche relativiste du premier principe ? Différentes définitions de quasi-statique. Quelle différence avec l'équilibre thermodynamique local ? Quand l'expression  $dU = TdS - PdV$  est-elle valable ? Détail du fonctionnement du moteur de Stirling en maquette.

#### **Agrégation 2016**

• Un élève vous propose de chauffer une pièce grâce à l'expérience introductive, vous faites quoi ? > Je lui explique que c'est une idée à la con • Ils sont très imaginatifs les élèves ils vont vouloir mettre des ressorts partout au plafond, vous faites quoi ? > On le fait pour qu'ils voient que c'est une idée à la con ? • Plus simple ? > On calcule l'augmentation de température de la pièce avec des ordres de grandeur ? • Allez-y ? > Je connais pas la capacité calorifique de l'air • Si on dit que c'est un gaz parfait ? > On prend une pièce contenant  $n$  molécules diatomiques donc on a l'expression de la capacité thermique, on a

besoin de la constante de raideur de ressort et... • C'est bon merci. Dans votre leçon vous avez parachuté les expressions des capacités du gaz parfait, c'est normal? > Vu plus tôt dans l'année • Comment ça se démontrerait en PC? > Théorème d'équipartition • Faites-le? > Euh... • Comment vous avez introduit l'énergie interne plus tôt dans l'année sans parler de premier principe? > Énergie du système d'origine microscopique • Historiquement vous savez comment a été introduite la capacité thermique? > Non • Ok c'est pas grave n Les reste c'était des questions un peu pour "corriger", j'ai par exemple marqué un m sans préciser de quelle masse je parlais, j'ai dit "enthalpie" au lieu d'énergie et j'ai oublié de préciser qu'un terme était nul.

Commentaires : • La technicienne. Elle est très très gentille hein, mais alors quelle bataille pour brancher le calorimètre... J'avais vraiment pas envie de le faire j'avais autre chose à préparer, ça a pris 1 heure, tout ça pour mettre un courant 10 fois trop faible qui permet pas de chauffer. Bah oui faire une loi d'ohm pour faire  $12V/2ohm=6A$  c'est dur... Mais elle est gentille quand même. Du coup j'ai juste présenté le dispositif et j'ai fait genre "olala j'ai pas le temps" visiblement c'est passé vu que j'ai bien présenté le protocole je pense. • Comme dit dans un autre rapport, "commencez attendez pas qu'on soit installés" ça surprend. Mais tant pis pour elle je devais régler ma montre donc elle a bien dû s'installer sans que je parle, na. • J'ai fini 2 minutes avant... Par habitude de me presser à la fin j'ai raccourci un peu, j'aurais pas dû. J'ai hésité à préparer la détente de Joule-Thomson sur transparent, j'aurais dû mais fallait s'occuper du calorimètre -'.

## LP13 : Évolution et conditions d'équilibre d'un système thermodynamique fermé

### Rapports du jury

**2015** : Il est intéressant de choisir un système physique dont l'évolution n'est pas intuitive<sup>1</sup>.

Jusqu'en 2013, le titre était : Évolution et condition d'équilibre d'un système thermodynamique fermé. Potentiels thermodynamiques. Exemples.

**2012, 2013, 2014** : Nous ne saurions que trop insister sur l'importance d'écrire systématiquement les variables et paramètres des fonctions thermodynamiques introduites au cours de la leçon. Si l'analogie avec la mécanique peut se justifier, nous invitons les candidats à bien identifier le message qu'ils souhaitent transmettre. Bien que ne faisant pas partie de la leçon, les candidats doivent réfléchir à l'interprétation statistique des potentiels thermodynamiques, et, en particulier, à leur lien avec la fonction de partition.

**2011** : Nous ne saurions que trop insister sur l'importance d'écrire systématiquement les variables et paramètres des fonctions thermodynamiques introduites au cours de la leçon. Si l'analogie avec la mécanique peut se justifier, nous invitons les candidats à bien identifier le message qu'ils souhaitent transmettre. Les potentiels thermodynamiques sont des outils puissants dont l'illustration ne doit pas se réduire au cas d'un corps pur en contact avec un thermostat.

---

1. On étudiera avec profit la partie IV.1. du problème de physique, session 2016

**2009, 2010** : L'analogie entre la notion de potentiel thermodynamique et celle d'énergie potentielle en mécanique, bien qu'importante, ne doit pas être poussée trop loin.

**2008** : Il faut bien distinguer les paramètres extérieurs dont la valeur fixée détermine le potentiel thermodynamique adapté à la recherche de l'équilibre et les variables internes dont les variations permettent au système d'atteindre l'équilibre. Les exemples d'application sont indispensables.

Jusqu'en 2004, le titre était : Évolution et condition d'équilibre des systèmes thermodynamiques – potentiels thermodynamiques.

**2003** : Cette leçon permet d'introduire la notion de travail récupérable. Il est nécessaire de présenter un exemple montrant clairement que l'on peut éventuellement récupérer du travail lors d'une transformation si celle-ci est bien conduite. Les fonctions d'état  $F$  et  $G$  ne sont pas simplement des cas particuliers de fonctions  $F?$  et  $G?$  ; elles ont un intérêt thermodynamique propre et ne doivent pas être confondues avec les potentiels thermodynamiques.

**2002** : L'intérêt des potentiels thermodynamiques doit être dégagé sur des exemples autres que ceux dont on ne déduit que des banalités. Parler de travail récupérable est une bonne chose, mais il est préférable de savoir comment on le récupère !

**1997** : Les exemples proposés sont souvent trop élémentaires. Il convient de ne pas se limiter à des détentes de gaz parfaits, d'éviter d'établir un catalogue formel de tous les cas possibles obtenus en fixant les variables thermodynamiques deux à deux et de chercher des applications dans des situations hors d'équilibre intéressantes en chimie ou en métallurgie, par exemple : phénomènes de nucléation, de décomposition . . . Rappelons enfin qu'il ne faut pas confondre potentiel thermodynamique et fonction thermodynamique. En particulier l'entropie définie comme une fonction thermodynamique de l'énergie interne et du volume n'est plus susceptible d'évoluer dès lors que ces deux variables sont fixées !

## Retours d'oraux

### Agrégation 2009 - Note : 05/20

Ils sont revenus sur ce que j'avais dit pendant la leçon, puis ont posé différentes questions sur les bases de la thermo : définition d'une variable d'état, différences entre  $U$ ,  $V$ ,  $N$  et  $T$ . Quelle différence entre équilibre monotherme, isotherme, et équilibre avec un thermostat ?

### Agrégation 2009 - Note : 14/20

Est-ce que la fonction d'état donne toute l'info tout le temps sur le système thermodynamique étudié ? En mécanique, on peut avoir l'énergie comme constante et un mouvement oscillant, est-ce possible en thermodynamique ? Donner un exemple concret d'un système physique d'un solide chaud dont on veut récupérer un travail ? En math comment calcule-t-on le minimum d'une fonction dépendant de plusieurs variables ?  $F?$  est définie tout le temps : est-ce le cas de  $U$  et  $S$  (même hors équilibre) ? Quelles sont les variables naturelles de  $F?$  ?

### Agrégation 2012 - Note : 10/20

Est-ce évident que  $\Delta F = 0$  sur un cycle, dans une machine thermique en contact avec un thermostat ? Réexpliquer la différence entre une fonction d'état comme  $F$  et un potentiel

thermo comme  $F$  ?? Préciser sous quelle forme peut se présenter le travail récupérable (notamment dans l'exemple de la bouteille d'air comprimé que j'avais traité). Sur mon exemple de la nucléation dans une vapeur sous-refroidie : pourquoi l'inégalité sur l'enthalpie libre massique implique-t-elle que la phase liquide est l'état le plus stable ? Comment fait-on pour la retrouver ? Encore sur la nucléation : comment les impuretés ou les poussières permettent-elles de passer la barrière de potentiel ? Commentaires du jury : clair et rigoureux mais trop formel, je n'ai pas assez fait ressortir la physique.

### **Agrégation 2014 - Note : 10/20**

J'ai suivi le plan du cours proposé dans le Précis Bréal PC-PSI de Choimet avec quelques éléments sur la stabilité pris dans le DGLR de Thermo et des exemples du Tout-en-Un de PC ancien programme. Dans la détente de Joule-Gay-Lussac, pourquoi le volume occupé par le gaz est-il une variable interne plutôt que la pression ? Si je considère que le système est en mouvement, ai-je un travail récupérable plus grand ou plus petit ? Comment récupère-t-on ce travail ? (il faut mentionner lors de l'exemple un système de récupération du travail sinon ça n'a pas de sens selon le jury). Pour la loi de Laplace, vous considérez une bulle sphérique, est-ce nécessaire ? (non, c'est pour la simplicité du calcul) Le plan est tout à fait adapté à la problématique ainsi que le choix des exemples. Mais s'agissant d'une leçon de thermo, des erreurs sur les hypothèses des détentes ou sur les signes du travail font descendre la note en flèche (j'ai réussi à dire que le travail fourni à l'extérieur était compté positivement ...) Passage à 5h30 : le stress et la fatigue font dire beaucoup de bêtises et amènent des blancs sur des connaissances maîtrisées. Il faut absolument dormir pendant la semaine des oraux !

### **Agrégation 2017 - Note : 8/20**

Quelles sont les hypothèses pour utiliser l'identité thermodynamique  $dU = TdS - PdV$  ? Quelles sont les autres identités thermodynamiques ? Comme s'appelle  $F^*$ ,  $G^*$ ,  $F$  et  $G$  ? Est-ce que vous pouvez me donner un exemple de système concret d'une transformation monotherme isobare ? Pour  $G^*$  les conditions sont monotherme et isobare, est-ce que ça marche avec une transformation monobare ? Comment s'expriment les forces de pression ? J'ai répondu  $-PdV$ . Elles s'expriment toujours comme ça ? C'est quoi un système fermé ? Une évolution spontanée ? Pourquoi l'entropie s'appelle comme ça ? D'où ça vient ? J'ai fait la manip de solidification de l'étain, la surfusion était visible donc j'ai eu le droit à Pourquoi la température chute avant le plateau ? C'est quoi un état métastable ? C'est un équilibre ? Quel est le potentiel thermo à utiliser pour la fusion de l'étain ? Quel est le maximum de travail récupérable ?

Ils sont revenus sur des points de ma leçon sous la forme, « Je suis un élève et je ne comprends pas bien ça... vous pouvez me le réexpliquer. »

Commentaires perso : La technicienne a fait le montage de la solidification de l'étain seule de façon discrète et tout à bien fonctionné pendant la leçon. Les professeurs préparateurs sont passés deux fois pour me demander comment ça se passait et ce que je voulais mettre comme manip. Quand je leur ai répondu mes manips ils ont fait des têtes bizarres, ça ne m'a pas rassuré. La manip du SF6 était prise pour un montage (les montages ont la priorité, ce qui me paraît normal), ce n'était pas très grave je m'en suis passé sans problème, mais comme quoi... ça arrive les problèmes de matériel.

Retour du jury : Ils ont apprécié mon dynamisme et l'effort didactique (je ne sais toujours pas vraiment ce que veut dire ce mot...) que j'avais fait pendant l'exposé. Par contre, ils reprochent un peu le manque d'exemples concrets dans ma leçon. Je ne peux être que d'accord avec eux, je me suis fait la réflexion pendant la préparation. Il faut, je pense, sortir un peu de ce que font les livres qui est souvent juste une liste de potentiel thermodynamique pour ancrer un peu plus cette leçon dans la « vraie vie ». J'ai essayé mais ce n'était pas suffisant. Après coup, je me dis qu'il peut être intéressant d'ouvrir des livres de chimie (oui oui chimie) pour cette leçon et de faire un système tel qu'une pile. Il y a sûrement d'autres exemples chouettes auxquels je n'ai pas pensé. Ils ont aussi vu que j'étais fragile sur plusieurs points de thermodynamique assez basique. La note est tout à fait justifiée. Il faut être parfaitement au point sur toutes les hypothèses qui se cachent derrière chaque formule que l'on utilise pendant la leçon, et puis au point sur les définitions : isobare, monobare, système fermé, transformation spontanée etc.

## LP14 : Machines thermiques réelles

### Rapports du jury

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

Jusqu'en 2016, le titre était : Application des deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques.

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

**2015** : Les diagrammes thermodynamiques, exploités dans les programmes de CPGE, sont trop rarement présentés et utilisés

**2014** : L'utilisation de diagrammes thermodynamiques relatifs à des fluides réels pour illustrer le propos est appréciée par le jury. Les moteurs thermiques ne sont pas réalisés en visant uniquement un rendement optimal.

**2009, 2010** : Les applications ne se limitent pas au moteur de Stirling et doivent rester concrètes.

**2006, 2007, 2008** : Les candidats ne doivent pas se limiter à l'étude du fonctionnement de machines théoriques, mais doivent développer en détail un exemple de machine réelle.

**2004** : Le candidat peut parfaitement présenter des machines thermiques cycliques où le fluide caloporteur subit des changements d'états.

**2003** : Au delà de l'exposé classique que l'on trouve toujours, il faut discuter les causes d'irréversibilité : s'agit-il de frottements mécaniques ou de problèmes de diffusion thermique ? Par ailleurs, les moteurs réversibles ont forcément un fonctionnement lent : comment peut-on alors récupérer de la puissance avec une telle machine thermique ? Il est intéressant d'évoquer également la nature des fluides subissant les cycles. Pourquoi certaines machines utilisent-elles des fluides subissant des changements d'état ?

**1999** : La leçon doit notamment relever les différentes causes d'irréversibilité des trans-

formations étudiées, par ailleurs, contrairement aux pièces mobiles des machines, le fluide en écoulement n'a pas nécessairement un comportement cyclique.

**1998** : La leçon ne doit pas se borner à un exercice académique : les candidats doivent étudier un cas de machine réelle, expliquer la modélisation qui conduit à un cycle simplifié, comprendre les sources d'irrégularités diverses. Une transformation monotherme ne peut être réversible si le système reçoit de l'énergie d'une source de chaleur alors que sa température n'est pas celle de la source.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2013 - Note : 11/20

Première partie sur les généralités qui s'est bien passée (définitions, monotherme, diatherme, efficacités, cycle de Carnot.) Seconde partie sur le frigo, je me suis emmêlé tout seul sur le choix du fluide, ce n'était donc pas clair du tout. Je n'ai pas du tout su répondre aux questions qui portaient sur la mécanique des fluides. Définir un thermostat ? Calcul efficacité ou rendement ? Travail pendant la détente ? Bilan enthalpique ? Lien efficacité avec fiches en magasin ? efficacité de 105% signifie quoi ? Aux confessions le jury m'a dit avoir été frustré par le fait que je me sois perdu dans la deuxième partie. Il m'a dit avoir aimé la démonstration du moteur de Stirling, la rigueur, et le diagramme des frigoristes (BUP).

## LP15 : Transitions de phase

### Rapports du jury

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

**2014** : Il n'y a pas lieu de limiter cette leçon au cas des changements d'état solide-liquide-vapeur. D'autres transitions de phase peuvent être discutées.

Jusqu'en 2014, le titre était : Étude thermodynamique d'un système constitué par un corps pur sous plusieurs phases.

Jusqu'en 2013, le titre était : Étude thermodynamique d'un système constitué par un corps pur sous plusieurs phases. Exemples.

**2009, 2010** : Les potentiels thermodynamiques ne servent pas seulement à prédire l'équilibre, mais aussi à prévoir le sens d'évolution d'un système diphasé hors équilibre et à interpréter le diagramme des états.

**2007, 2008** : Il s'agit bien d'une étude thermodynamique fondée sur l'utilisation des potentiels thermodynamiques, et non d'une étude descriptive des changements d'état. Il importe de comprendre l'intérêt de l'enthalpie libre pour cette leçon.

**1998** : Cette leçon est souvent traitée de façon trop abstraite : les ordres de grandeurs élémentaires valeurs caractéristiques des pressions et des températures, des chaleurs latentes de vaporisation ou de solidification sont ignorés de même que leurs liens avec les interactions et les processus microscopiques : interactions attractives, compétition ordre/désordre . . . Les

observations quotidiennes ne doivent pas être passées sous silence : transpiration, phénomènes météorologiques, ustensiles de cuisson . . .

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 7/20

Questions : Vous avez parlé d'autres transitions : exemples ? Des expériences qui iraient avec ? Classification qu'on pourrait expliquer aux prépas ? Paramètres d'ordre pour les transitions citées ? Que se passe-t-il au point critique ? Quelle(s) expériences pour le montrer ? Utilité en chimie ? On utilise l'entropie molaire, et on la dit intensive ; pourtant quand on mélange deux systèmes identiques on sait qu'il apparaît une entropie de mélange : comment expliquer ?

Commentaire : La panique a ruiné mon temps de préparation : plus confiance en mon plan et pas eu le temps de gérer des expériences. Ça s'est vu, mais l'entretien et les questions se sont bien passés.

### Agrégation 2009 - Note : 13/20

Les techniciens ont monté et réalisé entièrement toutes les manip. Tous les livres et le matériel souhaités étaient disponibles. Le technicien m'a demandé de quelle préparation je venais pour m'amener mon matériel. La préparation s'est très bien passée. Quelques questions : quelles est la propriété fondamentale d'un potentiel thermodynamique autre que minimal à l'équilibre ? Quand est-ce que l'oiseau buveur va s'arrêter de boire ? Un état métastable est-il un état instable ?

## LP16 : Facteur de Boltzmann

### Rapports du jury

Jusqu'en 2016, le titre était : Étude statistique d'un système en contact avec un thermostat. Probabilité canonique.

**2016** : La contextualisation est primordiale dans cette leçon.

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Étude statistique d'un système en contact avec un thermostat. Probabilité canonique. Applications.

Jusqu'en 2012, le titre était : Introduction au facteur de Boltzmann à partir d'un exemple au choix.

**2012** : Le jury invite les candidats à définir proprement le cadre statistique dans lequel ils se placent, et les variables pertinentes associées.

**2010** : On peut introduire les statistiques quantiques à l'occasion de cette leçon, et s'intéresser à la limite classique.

**2008** : Les conditions d'utilisation du facteur de Boltzmann doivent être précisées. L'atmosphère en équilibre isotherme n'est qu'un exemple parmi d'autres permettant d'introduire le facteur de Boltzmann.

Jusqu'en 2007, le titre était : Modèle de l'atmosphère terrestre en équilibre isotherme. Introduction au facteur de Boltzmann. Applications.

**2007** : Les conditions d'utilisation du facteur de Boltzmann doivent être précisées. L'atmosphère en équilibre isotherme est un exemple parmi d'autres permettant d'introduire le facteur de Boltzmann. Il n'est pas le seul et le jury souhaite laisser davantage de liberté aux candidats. Dans la liste 2008, le titre de la leçon correspondante est modifié dans ce sens.

**2006** : Les conditions d'utilisation du facteur de Boltzmann doivent être précisées.

**2005** : Curieusement, la valeur numérique de la constante de Boltzmann n'est pas connue. D'une manière générale, les leçons présentées pèchent par manque d'ordres de grandeur des énergies mises en jeu.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note : 20/20

Pas de manip sur cette leçon donc pas de souci particulier pendant la préparation. Pour la présentation, j'ai un peu traîné et je n'ai pas eu le temps de parler des capacités thermiques des solides. La conclusion a aussi été un peu expéditive. Questions : quand on passe à la limite thermodynamique, on doit faire tendre  $N$  vers l'infini, mais quelle précaution faut-il prendre ? - Si vous prenez un chaîne d'oscillateurs, vous pouvez la décrire avec le mouvement de chaque masse, mais quelle autre description est possible ? (des ondes de compression) Comment vous les caractérisez ? Que pouvez-vous dire de la répartition de l'énergie entre les modes ? - Vous avez parlé de population d'un état, ça veut dire qu'il peut y avoir plusieurs particules dans le même état, est-ce que c'est toujours vrai ? Exemple d'utilisation de la statistique de Fermi-Dirac ? Pourquoi c'est important pour la conduction dans les métaux ? Exemple d'utilisation de la statistique de Bose-Einstein ? - Si on prend un double puits classique, il n'y a pas d'effet tunnel, mais comment vous pouvez caractériser la probabilité pour une particule de passer d'un puits à l'autre ? - Validité du modèle d'atmosphère isotherme ? Variations de la température avec l'altitude ? Pourquoi elle décroît puis croît à nouveau ? Quel type de rayonnement est absorbé ? Par quels gaz ? - Sur le paramagnétisme de Brillouin (évoqué dans la partie sur les systèmes à deux niveaux), quelle est l'allure de la capacité thermique en fonction de la température ? Discuter. - Comment on a fait expérimentalement pour mettre en évidence l'existence d'états de spins quantifiés ? Retour du jury : les questions ont tout de suite été assez dures parce qu'ils n'avaient pas grand-chose à me demander sur la leçon elle-même, apparemment. Le plan (qui correspond au programme de MP) était bien, ils ont apprécié que j'introduise le facteur de Boltzmann avec le modèle de l'atmosphère isotherme puis que je passe à des systèmes quantiques.

### Agrégation 2017 - Note : 11/20

Question : Comment peut-on mesurer la constante de Boltzmann ? Le formalisme avec la fonction de partition ne s'applique-t-il qu'à un système de particules indépendantes ? Dans la démonstration du théorème d'équipartition, quelle est le signe du coefficient «  $a$  » pour l'énergie  $E = aX^2$  ? Si le coefficient «  $a$  » est négatif ? Quelles sont les bornes d'intégrations ? Sans faire de calcul, comment expliquer intuitivement la décroissance de l'énergie quand la température tend vers 0 ?

Plan suivi : I Distribution de Boltzmann 1. Atmosphère isotherme 2. Facteur de Boltzmann II Système à deux niveaux 1. Probabilité et population 2. Energie et Capacité thermique 3. Paramagnétisme III Cas du gaz parfait 1. Théorème d'équipartition 2. Gaz parfait diatomique

Retour du jury : Manque d'enthousiasme, deuxième partie un peu trop formel : manque de physique, manque de rigueur dans les notations.

### **Agrégation 2014 - Note : 18/20**

Donner l'énergie d'un oscillateur harmonique quantique. Donner la dépendance en température de la capacité calorifique dans le modèle d'Einstein. Dans le modèle de l'atmosphère isotherme, pourquoi toutes les particules ne sont-elles pas collées au sol ? On imagine un modèle de plasma le plus simple possible. Quelle est la probabilité de trouver une charge  $q$  en  $r$  immergée dans ce plasma ? Pourquoi deux valeurs de la projection d'un moment magnétique (dans le modèle du cristal paramagnétique) ? Quelle est la différence entre la distribution de Maxwell-Boltzmann et l'ensemble canonique ? Un membre du jury a repris des phrases de ma leçon qu'il a sorties du contexte pour que je redonne toutes les hypothèses. Lors de la discussion avec le jury, ils ont trouvé que la leçon était bien structurée et dynamique. J'ai présenté beaucoup d'exemples différents (modèle à deux niveaux, gaz parfait, ...) pour bien fixer les idées. Je pense que ça a été apprécié.

## **LP17 : Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir.**

### **Rapports du jury**

**2017** : Les bilans radiatifs doivent être traités de manière rigoureuse.

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

**2014** : Le/la candidat(e) doit être capable de faire le lien entre la définition du corps noir énoncée pendant la leçon et les exemples choisis pour l'illustrer. S'il/elle choisit de ne pas en faire la démonstration, le/la candidat(e) doit être capable de donner l'origine des différents termes de la loi de Planck et savoir l'énoncer correctement en fonction de la fréquence et de la longueur d'onde.

Jusqu'en 2013, le titre était : Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir. Application(s).

Jusqu'en 2012, le titre était : Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir. Application aux transferts thermiques radiatifs.

**2010** : L'intérêt de la notion de corps noir, et son lien avec celle de rayonnement d'équilibre, doivent apparaître clairement. Des bilans radiatifs dans des situations concrètes permettent alors de mettre en oeuvre cette notion. Les lois de base du rayonnement thermique sont établies en situation d'équilibre ; il convient de s'interroger sur la validité de leur application à des situations hors-équilibre.

**2009** : L'intérêt de la notion de corps noir, et son lien avec celle de rayonnement d'équilibre, doivent apparaître clairement. Des bilans radiatifs dans des situations concrètes permettent alors de mettre en oeuvre cette notion.

**2008** : La leçon doit permettre d'aborder la notion de transfert thermique radiatif et d'en présenter des applications. La démonstration de la loi de Planck n'est pas le centre de la leçon.

**2003, 2004** : Le candidat doit savoir faire la différence entre le champ de rayonnement d'équilibre et le corps noir. L'effet de serre ne constitue pas l'unique application à envisager pour ce sujet, et les valeurs numériques obtenues avec des modèles élémentaires de cet effet doivent être présentées avec beaucoup d'esprit critique.

**2002** : Cette leçon a donné lieu cette année à des illustrations intéressantes et démonstratives : mise en évidence du transfert thermique par rayonnement, principe du pyromètre à disparition de filament, . . . Nous incitons les futurs candidats à continuer dans ce sens.

**2001** : Il convient de distinguer le « champ de rayonnement d'équilibre » du « corps noir ». Il faut maîtriser parfaitement les unités des nombreuses grandeurs énergétiques qui interviennent dans cette leçon. Les applications présentées doivent être pertinentes.

**1998** : Le caractère fondamental et universel des concepts dégagés à l'occasion de cette leçon doit être mieux souligné par les candidats. Il s'agit d'équilibre thermodynamique entre matière et rayonnement et il est justifié de se poser la question de savoir pourquoi un corps noir n'émet pas un spectre de raies...

## Retours d'oraux

### Agrégation 2012 - Note : 06/20

Je pense que ma note vient surtout du fait que je me suis effondrée pendant les questions. J'ai eu beaucoup de questions sur les définitions : flux surfacique, corps absorbant . . . Est-ce que les définitions que j'ai données s'appliquent pour toutes les surfaces. Définition mathématique d'une surface convexe ? Redéfinir l'ETL. À quels moments est-il nécessaire dans la leçon ? J'étais épuisée après l'épreuve, je me suis embrouillée dans les questions et j'ai de plus en plus mal répondu . . . Différence entre coefficient d'émissivité et émittance ? Répartition de la température au sein du Soleil ? Quelle hypothèse rajouter au modèle avec atmosphère pour pouvoir l'améliorer ? Comment passer de la distribution d'énergie en fonction de la longueur d'onde à celle en fonction de la fréquence ?

### Agrégation 2012 - Note : 03/20

Les questions ont porté sur les points de la leçon que je n'avais pas compris : notion d'équilibre thermique, équilibre thermodynamique, équilibre radiatif, notion de flux radiatif, définition des différents flux (absorbé, réfléchi, diffusé, incident, partant, etc . . .).

### Agrégation 2013

Questions :

Vous avez introduit la notion d'oscillateur harmonique du champ EM, comment vous expliqueriez ça à des élèves ?

Historiquement c'est quoi que Planck a introduit ?

Il y avait le concept de photons ?

Comment il a fait ? Il a quantifié les échanges d'énergie. J'ai parlé de résonateur.

C'est quoi qui résonne ?

Vous avez introduit une OPPH dans une boîte, ça vient d'où les conditions sur  $k$ ? Conditions limites.

Lesquelles? Limites fixes. – Y en a d'autres? Oui périodiques. – Ça change quelque chose?

Vous avez dit le photon qui rentre dans le trou est thermalisé, c'est à dire?

Si on considère les processus d'absorption avec un atome, ça change quelque chose?

C'est quoi l'autre émission?

Laquelle des 2 est la plus « quantique »?

– L'émission spontanée c'est dû à quoi?

Vous connaissez le nom du processus?

Avec l'ampoule vous avez donné un ordre de grandeur, 1 micromètre pour l'émission max, commentaire?

Pour l'effet de serre vous avez été un peu vite on comprend pas très bien, comment vous expliqueriez physiquement ce qui se passe sans sortir de formules?

Au tour du 2ème de prendre la parole :

Moi j'ai des questions techniques, vous avez donné pas mal de résultats sans démo, on va vérifier si vous savez.

Il m'a fait tracé la densité de modes, avec entiers positifs seulement, sur le 8ème de la sphère.

Vous avez introduit  $Z$  la fonction de partition, c'est quoi l'expression?

Vous pouvez la calculer?

Vous avez donné l'expression de la loi de Planck en fréquence. Et pour le max vous avez utilisé la longueur d'onde. Si un élève vous demande comment on passe de l'un à l'autre vous dites quoi?

Admettons que je me serve un café, encore chaud. Et que je veuille rajouter du lait froid, pour le refroidir avant de le boire, vaut mieux que je le rajoute tout de suite et que j'attende que ça refroidisse ou que j'attende un peu et que je le rajoute juste avant de boire? J'ai dit que ça se refroidit plus efficacement à haute température, donc vaut mieux verser le lait après avoir un peu attendu.

C'est quoi la loi qui vous dit ça? Stephan Boltzmann ( $\sigma T^4$ ).

Pas mal de questions « comment vous expliqueriez à des élèves? » et les questions techniques. Si vous tombez dessus, ne parlez surtout pas oscillateurs harmoniques du champ EM...! J'en ai parlé, pour retrouver Rayleigh Jeans, et pour enchaîner sur Planck direct mais c'est vraiment pas nécessaire.

## LP18 : Phénomènes de transport

### Rapports du jury

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

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

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

**2013** : [À propos du nouveau titre] Le candidat développera sa leçon à partir d'un exemple de son choix. Jusqu'en 2013, le titre était : Exemples de phénomènes de transport. Illustration(s).

Jusqu'en 2012, le titre était : Phénomènes de transport. Illustration(s).

Jusqu'en 2011, le titre était : Étude d'un phénomène de transport : conduction thermique ou diffusion de particules. Applications.

**2010** : Le jury a regretté de ne pas avoir vu d'illustration expérimentale, même simple, des transferts thermiques. Les expériences de mise en évidence de la diffusion de particules doivent être réalisées dans des conditions où le phénomène de convection n'est pas dominant. À propos du nouveau titre : il s'agit de dégager les caractéristiques fondamentales des phénomènes de transport et de les illustrer dans différents domaines de la physique.

**2009** : Le jury a regretté de ne pas avoir vu d'illustration expérimentale, même simple, des transferts thermiques. Les expériences de mise en évidence de la diffusion de particules doivent être réalisées dans des conditions où le phénomène de convection n'est pas dominant.

**2007, 2008** : L'aspect microscopique doit être abordé.

**2001** : Les propriétés générales d'un phénomène de transport par diffusion doivent être dégagées. Pour illustrer l'irréversibilité du phénomène, un calcul d'entropie créée peut être effectué dans un cas simple, notamment pour la conduction thermique.

**1999** : Prendre le temps de discuter qualitativement l'évolution caractéristique d'un phénomène diffusif permet et d'évaluer les bilans d'entropie sur un exemple simple. Une discussion physique sur le mode opératoire doit permettre de préciser si CP ou CV intervient dans l'équation de diffusion.

**1997** : Les expériences de diffusion de particules dans un fluide libre ne sont pas convaincantes à cause de la convection. On peut utiliser un milieu poreux (papier buvard) ou un gel polymérique et citer les applications en chromatographie.

**1996** : À propos de la diffusion de la matière (loi de Fick), il faut distinguer nettement transport convectif et transport diffusif.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 14/20

Quelles sont les conditions pour pouvoir définir un équilibre thermodynamique local ? Quelle condition doit vérifier le lpm pour que l'approximation linéaire soit valable dans votre modèle microscopique ? (J'avais présenté le modèle de Drude-Sommerfeld du Aschcroft (p.7) pour la conduction thermique des métaux). À quoi est due la thermalisation des électrons après chaque choc dans les solides ? Est-ce que le concept de résistance thermique est généralisable à tous les phénomènes de transport, quel est son analogue dans les écoulements visqueux ?

### Agrégation 2012

- équation de diffusion est elle généralement simple à résoudre ? combien de conditions aux limites et initiales faut il ? allure des solutions typiques ? - combien d'ordres de grandeur pour la conductivité  $\gamma$  a t il entre bon et mauvais conducteur thermique ? électrique ? - analogie avec le transport électrique pour Fourier ? - loi d'ohm est elle démontrable ou phénoménologique ?

- comment montrer l'irréversibilité du phénomène autrement qu'en renversant le temps ? - modèle microscopique de la diffusion ? - l'énergie thermique dans le bilan d'énergie c'est quoi ? U ? H ? autre ?

### Agrégation 2014 - Note : 10/20

Ils sont revenus sur l'explication de l'échelle mésoscopique en me demandant d'expliquer plus en détail. Sur le bilan de flux d'énergie, pourquoi on divise par 1/6. Sur la réversibilité, qu'en est-il pour Schrödinger (il faut conjuguer donc on conserve la réversibilité), donner l'équation. Sur l'expérience (barre de cuivre en régime sinusoïdal), pour déterminer expérimentalement l'épaisseur de peau, vaut-il mieux relever l'amplitude ou le déphasage ? Ils sont revenus sur le fait que j'avais parlé d'un gradient de potentiel chimique comme cause de la diffusion de particules, pourquoi on utilise généralement un gradient de concentration dans la loi de Fick ?

Apparemment j'ai pas très bien expliqué l'histoire de l'échelle mésoscopique, ils sont revenus sur 2/3 petites erreurs que j'avais faite à l'oral (par exemple, l'oubli de la normalisation dans une moyenne) alors que j'avais corrigé ça lors des questions. Je me suis trop reposée sur les prérequis. Franchement je m'attendais vraiment à une meilleure note. J'étais passée sur cette leçon pendant l'année (3 chance sur 49, pas mal...) , je maîtrisais la théorie et j'avais bien modifié le plan afin de prendre en compte les remarques qui m'avaient été faites, et j'avais fait d'énormes efforts sur la pédagogie (qui était un peu mon point faible). L'oral s'était vraiment bien passé, enchaînements et transitions fluides. Surprise aussi par le compte-rendu du jury, car ils étaient vraiment très enthousiastes, un correcteur m'a même dit qu'elle avait vraiment adoré ma leçon et mon dynamisme avec un grand sourire ! Mais si la leçon était à refaire, je referai la même donc pas de regret !

## LP19 : Bilans thermiques : flux conductifs, convectifs et radiatifs.

### Rapports du jury

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

**2016** : Le jury attend un bilan mettant en oeuvre les divers types de flux.<sup>2</sup>

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

### Retours d'oraux

---

2. On étudiera avec profit l'exercice p867 du Dunod MP/MP\* (ancien programme), Marie-Noëlle Sanz *et al.*

# LP20 : Conversion de puissance électromécanique

## Rapports du jury

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

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

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

**2014** : Dans le cas des machines électriques, les candidats sont invités à réfléchir au rôle du fer dans les actions électromagnétiques qui peuvent également être déterminées par dérivation d'une grandeur énergétique par rapport à un paramètre de position.

Jusqu'en 2013, le titre était : Conversion de puissance électromécanique. Exemples et applications.

**2011, 2012, 2013** : Dans cette leçon, le plus grand soin dans la définition des orientations et des conventions de signe s'impose. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation. Ce ne sont pas les machines de technologie complexe qui illustrent le mieux les idées en jeu. Les notions de base sur l'induction sont supposées connues.

**2009, 2010** : Dans ces deux leçons, le plus grand soin dans la définition des orientations et des conventions de signe s'impose. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation.

**2008** : Cette leçon nécessite une bonne connaissance des machines présentées et de leurs applications.

**2006** : Les principes élémentaires de l'induction ne sont pas correctement utilisés dans cette leçon qui nécessite un minimum de connaissance de la technologie des machines.

**2005** : Il ne faut pas confondre force de Lorentz sur un porteur de charge et force de Laplace sur un conducteur. Toutes les grandeurs introduites doivent être algébriques ou vectorielles, ce qui nécessite de préciser les orientations et les bases de projection.

**2004** : La conversion de puissance a donné lieu à des exposés purement descriptifs. Nous attendons une attitude de physicien, c'est-à-dire une justification des modèles simples proposés pour les machines à courant continu, par exemple avec les conditions d'algébrisation des grandeurs électriques et mécaniques introduites.

Jusqu'en 2003, le titre était : Exemples de couplage électromécanique : haut-parleur électrodynamique, moteurs... Bilans énergétiques.

**1999** : Les candidats doivent pouvoir donner le principe des moteurs électriques des différents types (à champ tournant, unipolaires, universels) ainsi que celui des générateurs électriques à courant continu ou alternatif. Il faut être particulièrement attentif aux signes dans cette leçon et ne pas omettre de mentionner des ordres de grandeur.

**1998** : Il est essentiel de montrer l'importance des termes de couplage entre équation mécanique et équation électrique. Dans le bilan d'énergie global, il faut faire ressortir le rôle du champ magnétique et expliquer l'origine du bilan auxiliaire  $P_{Laplace} + P_{fem} = 0$ .

**1997** : Dans les bilans énergétiques, deux approches sont possibles : raisonner sur le circuit mobile seulement ou sur le système constitué du circuit et des sources de B. Dans le premier cas, un fait important est que le travail des forces de Laplace extérieures subies par le circuit mobile augmenté du travail de la force électromotrice d'induction dans ce circuit et dû à son déplacement seulement, est nul ; cela provient de la nullité du travail des forces de Lorentz au niveau microscopique. Une illustration expérimentale des exemples traités, haut-parleur ou moteur, s'impose.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 12/20

ils m'ont posé de nombreuses questions sur les conventions générateur/récepteur et le sens du courant. Est-ce que l'on peut créer une MCC avec une moitié où existe un champ magnétique radial et une moitié avec un champ nul ? Dessiner les lignes de champs dans la MCC. La force de Lorentz est-elle valable dans un référentiel non-galiléen ? Différence moteur synchrone/asynchrone ? Applications ?

### Agrégation 2011 - Note : 12/20

Question sur les conventions d'orientation (est-ce que le signe de la fém ou du courant dépendent de l'orientation ? Est-ce que ça change quelques chose à la physique ? Comment calculer la fém autrement qu'à partir du champ électromoteur ? (Loi de Faraday) Que représente le point de fonctionnement du moteur ? Pourquoi on utilise des matériaux ferromagnétiques ? (Canalisation des lignes de champs) Laquelle de leurs caractéristiques leur donne cette propriété ? (grande perméabilité magnétique) J'étais vraiment catastrophée quand j'ai tiré cette leçon. Comme je n'étais pas à l'aise sur le sujet, j'ai pris beaucoup de temps en préparation pour refaire les calculs pour montrer la conversion elec/méca et retrouver comment fonctionne le moteur à courant continu. Comme j'ai vu que j'avais peu de choses à dire j'ai pris le parti de laisser tomber les machines tournantes, de parler plus lentement que d'habitude, de faire les schémas au tableau plutôt que sur transparent. Mais du coup c'était trop lent et je n'ai pas eu le temps de finir (je me suis arrêté au point de fonctionnement du moteur sans traiter le rendement), mais peut-être qu'au final le fait de prendre le temps de poser les convention au tableau a compensé le reste.

### Agrégation 2018 - Note : 12/20

J'ai présenté le contacteur et la machine à courant continu, pour les manip j'ai utilisé la machine de démonstration et le petit moteur à courant continu de Montrouge.

Pour les questions : Pourquoi les matériaux ferromagnétiques canalisent les lignes de champ ? Pouvez vous détailler le fonctionnement du collecteur ? Pouvez vous citer des dispositifs qui font la conversion mécanique vers électrique ? Comment ralenti un TGV ? Quelle est l'origine de la saturation dans le ferromagnétique ? Comment limite-t-on les dissipations par courant de Foucault ? Quel est l'avantage de la machine synchrone par rapport à la machine à courant continu ? Pourquoi votre moteur de démonstration ne démarre-t-il pas tout seul ? Quel est l'avantage de la machine asynchrone par rapport aux autres machines ?

Retour du jury : c'est une leçon difficile et le jury en a conscience, à ce titre ce n'est pas rédhibitoire de ne pas avoir saisi toutes les subtilités des machines présentées, il faut être

le plus pédagogique possible avec ce qu'on a compris. Par contre il faut prendre le temps d'expliquer avec des schémas les plus clairs possibles les dispositifs présentés. Il faut orienter tous les circuits électriques, et prêter attention aux signes lors des bilans de puissance.

## LP21 : Induction électromagnétique

### Rapports du jury

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

**2014** : Dans cette leçon, le plus grand soin s'impose dans la définition des orientations et des conventions de signe. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation. Il n'est pas admissible à ce niveau de confondre les forces de Lorentz et de Laplace.

**2012, 2013** : Dans cette leçon, le plus grand soin dans la définition des orientations et des conventions de signe s'impose. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation. Il n'est pas nécessaire de traiter en détail les deux types d'induction.

**2010, 2011** : Dans cette leçon, le plus grand soin dans la définition des orientations et des conventions de signe s'impose. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation.

Jusqu'en 2009, le titre était : Induction électromagnétique : circuit mobile dans un champ magnétique permanent, circuit fixe dans un champ variable. Applications.

**2009** : Dans cette leçon, le plus grand soin dans la définition des orientations et des conventions de signe s'impose. Les applications doivent occuper une place significative dans la présentation. Ce ne sont pas les machines de technologie complexe qui illustrent le mieux la leçon. L'actuelle leçon Induction électromagnétique : circuit mobile dans un champ magnétique permanent, circuit fixe dans un champ variable. Applications. s'intitule désormais Induction électromagnétique. Applications, laissant ainsi plus de liberté au candidat pour la présentation et l'analyse des phénomènes d'induction. Compte tenu du temps imparti, des choix restent à faire : le jury tiendra compte de leur pertinence . . .

**2008** : Il faut poser des conventions précises et s'y tenir tout au long de la leçon. En outre, il est impératif de faire le lien entre f.e.m. et courants induits.

**2006** : Cette leçon est consacrée à un phénomène particulièrement important, tant du point de vue de la physique fondamentale que de celui des applications technologiques. Le sujet ne doit donc pas être traité de manière trop formelle et un temps suffisant doit être consacré aux applications.

**2005** : Il faut orienter les circuits filiformes et ne pas s'y limiter : les applications mettant en jeu des courants volumiques induits sont particulièrement appréciées.

**2001** : Il n'est pas possible de traiter cette leçon de manière satisfaisante sans préciser la notion de force électromotrice. L'algébrisation doit être très soignée, y compris lors de l'étude des applications.

**1999** : Cette leçon reste difficile pour les candidats. Préciser les notations algébriques. Introduire des illustrations expérimentales. Les moteurs doivent au moins être mentionnés comme application, ainsi que les transformateurs.

**1998** : Il convient de faire apparaître explicitement la notion de champ électromoteur, de préciser son lien avec la force électromotrice et de justifier comment cette dernière quantité s'insère naturellement dans les lois habituelles de l'électrocinétique.

**1997** : Il est important de définir la notion de force électromotrice avant de l'utiliser. Par ailleurs, il ne faut pas confondre force électromotrice et différence de potentiel.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 08/20

Intérêt du noyau de magnétique dans le transformateur ? Le jury attendait comme réponse : augmenter l'intensité du champ magnétique pour un même courant  $I$  circulant dans l'inducteur. J'ai montré l'égalité des coefficients de mutuelle induction entre 2 circuits, ils m'ont demandé le nom de ce théorème. J'ai oublié de commencer par traiter la loi d'Ohm pour mettre en évidence l'équivalence entre intégrale du champ électromoteur et différence de potentiel et ils ont bien insisté sur ce point. La notion de force électromotrice ne peut vraiment pas être considérée comme un prérequis. En manipulation j'ai demandé un transformateur démontable, une mise en évidence simple de l'induction avec 2 bobines et un aimant permanent, et enfin la chute d'aimants dans un tube pour les courants de Foucault. La préparation s'est bien passée et je n'ai pas manqué de temps. En revanche l'exposé en lui-même ne s'est pas très bien passé : je n'ai vraiment pas su expliquer ce sujet avec concision et clarté.

### Agrégation 2014 - Note : 10/20

Je n'ai développé que l'induction de Neumann : champ électromoteur, application au chauffage par courant de Foucault, induction et auto-induction, application au transformateur parfait, puis j'ai ouvert sur l'induction de Lorentz en conclusion. Le technicien m'a monté le transformateur et les rails de Laplace sans problème. Intérêt du ferromagnétisme dans le transformateur ? Qu'apporte le feuilletage et dans quel sens doit-il être ? Détailler les différentes pertes du transformateur ? Comment traiter un problème d'induction si on est hors des cas simples de Neumann et Lorentz ? Comment prendre en compte les courants de Foucault pour une symétrie quelconque ?

### Agrégation 2014 - Note : 14/20

Pour la mise en évidence avec la bobine, pourquoi avoir utilisé un aimant en U plutôt qu'un aimant droit ? (j'ai commencé à dessiner les lignes de champ mais je ne suis pas allé jusqu'au bout du raisonnement : je n'aurais pas dû utiliser un aimant en U). Formulation la plus générale de la loi de Lenz ? Pour l'inductance mutuelle, il y a un ordre précis pour les indices, lequel et pourquoi ? Je ne savais pas, il m'a demandé si je connaissais la matrice inductance. Après en avoir discuté avec lui aux confessions, c'est la bonne méthode pour amener les deux coefficients, une étude un peu plus poussée donne même les inégalités sur les coefficients. J'ai fait un ODG sur la valeur d'une inductance en utilisant la formule  $\mu N^2 S/L$ , il m'ont demandé pourquoi je n'avais pas exactement la bonne valeur (20 au lieu de 11 mH). Qu'est-ce qu'il y a de particulier sur les transformateurs (feuilletage), pourquoi ? Comment obtenir la loi de Faraday pour l'induction de Lorentz, est-ce qu'on peut la démontrer ? (oui, mais je ne savais plus la démo, j'ai dit qu'il y avait une méthode mathématique pour faire

sortir la dérivée en présence de contour d'intégration dépendant du temps) Réalité physique de  $A$  et  $V$ ? Et en MQ? (Aharonov Bohm) Discussion aux confessions : je lui ai demandé ce que ça donnait en mécanique analytique (impulsion  $\delta =$  quantité de mouvement), il m'a dit que quand on sort des situations simples, on ressent  $A$ . Courant de Foucault avec l'aimant dans le tube : comment on écrit le PFD? (je ne savais pas, je lui ai donné le raisonnement avec Lenz et l'énergie, je crois que c'est fait dans le garing) Validité de la loi de Faraday? (il me manquait la condition "pas de contacts glissants") Je me suis embrouillé sur le transformateur (je pensais avoir un problème de signe alors que je m'étais simplement trompé de convention sur la puissance au secondaire), j'ai manqué de temps pour la fin et je n'ai pas pu montrer l'expérience des rails de Laplace parce que j'ai fait tombé le tube mobile qui s'est plié. J'ai peut-être mis trop d'expériences, mais ils m'ont surtout reproché de ne pas avoir dessiné de schéma électrique équivalent complet Ils auraient aussi préféré voir une autre démonstration pour l'induction (sans doute Lorentz, j'étais fatigué et je n'ai pas bien compris) pour laquelle on peut plus facilement faire le lien avec la RR, je crois que la formule que j'ai donnée pour la force électromotrice  $e = 1/q R F \cdot d' = W/q$  n'est pas leur favorite, il doit sans doute y en avoir une plus physique Me planter sur une convention (puissance au secondaire) dans une leçon comme celle-là m'a coûté cher ...

## LP22 : Rétroaction et oscillations

### Rapports du jury

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

Le jury souhaiterait que le terme de résonance soit dûment justifié sans oublier une discussion du facteur de qualité. Il n'est pas indispensable de se restreindre à l'électronique.

Jusqu'en 2013, le titre était : Rétroaction et oscillations. Exemples en physique.

**2013** : Le jury n'attend pas une présentation générale et abstraite de la notion de système bouclé. Jusqu'en 2012, le titre était : Systèmes bouclés. Applications.

**2011, 2012** : Le jury n'attend pas une présentation abstraite et très générale de la notion de système bouclé. Il estime indispensable de s'appuyer sur au moins un exemple concret et détaillé avec soin.

**2010, 2009** : L'étude est clarifiée si elle s'appuie dès le départ sur un exemple concret. Les notions de système linéaire et de fonction de transfert doivent être précisément définies.

**2007** : Il y a souvent confusion entre système bouclé et contre-réaction. La stabilité des systèmes bouclés est mal comprise. Le bouclage ne se limite pas uniquement à une fonction d'asservissement. Le lien entre les réponses temporelle et fréquentielle est un aspect important.

**2005** : Cette leçon doit être préparée avec soin avant le concours. L'intérêt du bouclage ne doit pas apparaître uniquement comme une fonction d'asservissement assurant la stabilité d'un système. Notamment, un oscillateur auto-entretenu constitue un exemple de système électronique bouclé.

Jusqu'en 2003, le titre était : Systèmes bouclés. Transmittance. Stabilité. Application aux asservissements.

**2003** : Cette leçon ne doit pas se limiter à la manipulation (même si elle est menée avec virtuosité par un expert en théorie du signal) des transformées de Laplace. Le jury souhaite voir un exposé de niveau raisonnable mettant en évidence les effets du bouclage ainsi que l'existence de problèmes de stabilité. Cette leçon doit comporter des illustrations expérimentales. Le titre de cette leçon est modifié pour la session 2004 du concours. Il s'agit de laisser davantage de liberté dans le choix des applications.

**1999** : On évitera les développements trop formels et on cherchera à illustrer la leçon par des exemples.

**1998** : Les aspects formels de la leçon doivent rapidement céder le pas, au cours de l'exposé, à des exemples concrets. Les candidats doivent faire l'effort d'explicitier sur ceux-ci ce à quoi correspondent les signaux d'entrée et de sortie, le signal de rétroaction, le signal différentiel. Il est insuffisant de se cantonner à la présentation de montages amplificateurs à amplificateurs opérationnels. Il faut en particulier dégager les changements qualitatifs que peut introduire le bouclage, notamment l'apparition d'oscillations ou la stabilisation d'une chaîne directe instable.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 09/20

Expliquer le critère de stabilité. Un système instable est-il toujours un oscillateur ? Si non, sous quelle(s) condition(s) l'est-il ? Les techniciens et le prof préparateur ont été très gentils et disponibles : ils ont monté un Van der Pol et l'asservissement en position très bien. J'ai passé cette leçon le dimanche après midi (12h40). Je ne maîtrisais pas du tout le sujet, et en étais consciente : je n'ai jamais eu de cours là dessus, et les livres ne traitent pas le sujet comme le jury l'attend. Du coup, j'avais travaillé avec ce que j'avais pu dans l'année, en lui consacrant un temps qui me semble raisonnable pour une unique leçon (10 à 20h), mais je savais quand j'ai tiré mon sujet, que j'étais juste capable de parler (j'avais construit un plan avec un contenu incontournable, et en évitant au maximum ce que je n'avais pas compris), mais incapable de résister aux questions. Je pense aussi que du coup, ma présentation manquait à la fois de rigueur et de pédagogie. Je n'ai par contre pas eu de problème pour gérer ma préparation.

### Agrégation 2008 - Note : 16/20

Quelle est la caractéristique principale des systèmes bouclés ? Produit gain \* bande passante = cste (j'ai donné l'exemple simple de l'ampli non inverseur). Système bouclé dans une montre à quartz ? Qu'est-ce qui limite l'amplitude des oscillations dans l'oscillateur à pont de Wien ? Effets non linéaires. D'où viennent les non linéarités ? L'AO (transistors de l'AO). Que se passe-t-il si on modifie la valeur de la résistance variable dans l'oscillateur à pont de Wien ? Déformation du signal, on s'éloigne des oscillations quasi sinusoïdales. Qu'est-ce qui caractérise un oscillateur ? Son facteur de qualité. Que vaut-il pour l'oscillateur à pont de Wien ? (1/3). Un système linéaire continu et stationnaire n'est qu'une modélisation, les systèmes réels ne satisfont pas rigoureusement tous ces critères. Ils m'ont également demandé de préciser les critères de stabilité, pourquoi il est nécessaire de prendre des marges en pratique et l'intérêt de Nyquist (prévision du comportement en boucle fermée à partir de l'étude en

boucle ouverte). Définition de la transmittance en boucle ouverte : plutôt utiliser grandeur de sortie sur grandeur d'entrée que grandeur de sortie sur grandeur de différence. Au niveau des expériences, j'ai présenté uniquement l'oscillateur à pont de Wien, je n'ai pas sorti de moteur.

## **LP23 : Aspects analogique et numérique du traitement d'un signal. Étude spectrale.**

### **Rapports du jury**

Jusqu'en 2018, le titre était : Traitement d'un signal. Étude spectrale.

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

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

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Traitement analogique d'un signal électrique. Étude spectrale. Exemples et applications.

**2010** : L'analyse de Fourier est centrale dans cette leçon, et les oscilloscopes numériques permettent de la mettre en oeuvre très facilement. Il est tout à fait possible d'étudier des systèmes non linéaires.

Jusqu'en 2008, le titre était : Traitement analogique d'un signal électrique. Étude spectrale. Filtrage linéaire. Exemples et applications.

**2008** : Il convient d'éviter de se limiter à la présentation d'un catalogue d'opérations. Pour 2009, le titre de la leçon est modifié afin d'introduire la possibilité d'opérations non linéaires.

Jusqu'en 2007, le titre était : Traitement d'un signal électrique. Étude spectrale. Filtrage linéaire. Exemples et applications.

**2007** : La fonction de transfert doit être correctement définie. Le lien entre les réponses temporelle et fréquentielle est un aspect important. Les seuls signaux envisagés sont analogiques et la conversation analogique/numérique est exclue. Cela est clairement précisé dans le libellé 2008.

**2006** : L'étude spectrale doit être soigneusement présentée. Une bonne place doit être consacrée aux applications.

**2005** : Cette leçon ne saurait se limiter à l'étude des filtres du premier ordre. Le jury attend la définition d'un filtre et de ses caractéristiques ainsi que l'exploitation pratique de ces dernières.

**2004** : Il faut expliquer avec soin ce qu'est un filtre et la signification de ses caractéristiques (ordre, type, . . .).

**2003** : Cette leçon, qui doit être illustrée expérimentalement, ne doit pas se réduire à l'étude du comportement d'un circuit soumis à un signal sinusoïdal. Le jury souhaite voir comment le filtrage transforme un signal électrique quelconque. Ceci suppose une analyse

spectrale (fréquences) du signal d'entrée et du signal de sortie. Le candidat doit pouvoir montrer le lien entre la forme du diagramme de Bode du circuit, le comportement de celui-ci (intégrateur, dérivateur . . .) et les propriétés de l'équation différentielle associée. Une autre remarque s'impose : il n'est pas correct de définir un déphasage à partir d'une tangente ou d'une Arctangente mais la fonction argument d'un nombre complexe en revanche correspond bien à la grandeur recherchée.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2016 - Note : 05/20

Q : A quoi sert un spectre ? Q : D'ailleurs on cherche souvent à virer du 50Hz, d'où il sort ? Q : Mais si du coup le but c'est de parler de signal, vous êtes resté sur le créneau tout le long, vous auriez pas du traiter des vrais signaux ? Q : Existe-t'il des signaux non causaux ? Q : Pourquoi l'avoir précisé, alors ? Q : Vous avez parlé de signaux continus dans le temps aussi, comment on gère un signal discontinu ? Q : FFT pour Fast Fourier Transform : pourquoi Fast (aide : ça veut dire rapide) ? Q : Il faut faire attention à quelque chose quand on fait une FFT ? Q : Si on ne veut pas abimer le signal, comment pourrait-on faire sans filtre ? Q : C'est quoi le théorème de Shannon ? Q : Du coup il y a un lien entre la fréquence mal échantillonné et la fréquence d'échantillonnage ? Q : Vous savez l'écrire ? Q : A propos des systèmes LIT, comment apparaît l'invariance temporelle dans les équations ? Q : Écrivez la réponse d'un SLIT à une combinaison linéaire de sinus. (la question avait pour but de me faire corriger une faute que j'avais fait pendant la présentation, avec succès).

J'ai sans doute fais un hors sujet, il semble IMPÉRATIF de parler de traitement numérique dans cette Leçon.

### Agrégation 2009 - Note : 08/20

D'où vient la convention de la bande-passante à -3 dB ? Si je vous dis le mot « puissance », cela vous éclaire-t-il ? Quelle est la différence entre TF, FFT et DSF ? Qu'est-ce qui fixe la résolution de la FFT ? Qu'est-ce que le critère de Shannon ? Comment faut-il choisir le nombre de points de l'échantillonnage si on prévoit une analyse par la FFT après l'acquisition ? Qu'est-ce qui aurait changé si vous aviez pris un nombre entier de périodes pour calculer la FFT ? Expliquez simplement. Que savez-vous sur les fenêtres de pondération ? La préparation ne s'est pas très bien passée. Les techniciens n'ont pas voulu sortir les manipulations pour le III (Manip de l'effet doppler et détermination de la fréquence des oscillateurs couplés) car « je demandais trop de matériel ». Je n'ai pas réussi à trouver un nouveau plan et ma présentation a donc fini en eau de boudin.

### Agrégation 2012 - Note : 12/20

Filtre passe-bande, vous avez parlé de l'application à la radio : comment ? Quelles sont les conditions sur la bande-passante ? Intérêt des filtres actifs ? Vous avez parlé de modulation en amplitude, pourquoi effectuer cette opération ? Taille des antennes nécessaire si on n'effectuait pas de modulation ? Démodulation synchrone : conditions sur le filtre RC ? Principe de la détection synchrone ?

# LP24 : Ondes progressives, ondes stationnaires

## Rapports de jury

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

**2014** : À l'occasion de cette leçon, le jury tient à rappeler une évidence : avec un tel titre, la leçon doit être équilibrée et ne peut en aucun cas se limiter pour l'essentiel aux ondes progressives.

Jusqu'en 2013, le titre était : Exemples de phénomènes de propagation unidimensionnels. Ondes progressives, ondes stationnaires. Aspects énergétiques.

**2009** : Il est important de savoir justifier la forme générale d'une onde progressive et d'une onde stationnaire. Si la notion d'impédance est utilisée, il faut préciser pour quel type d'onde elle s'applique.

**2008** : Les notions d'impédance sont rarement maîtrisées. Un milieu unidimensionnel peut aussi être dispersif alors que les candidats n'envisagent trop souvent que des signaux monochromatiques.

**2006** : Pour éviter de répéter de lourds calculs, il est recommandé de développer les analogies entre les différents exemples. Il faut également consacrer du temps à des notions plus concrètes ainsi qu'à l'aspect énergétique, souvent sacrifié.

**2005** : Une onde stationnaire n'est pas forcément résonante.

**1999** : Les notions d'onde progressive, d'onde stationnaire, doivent être illustrées par des exemples avec des ondes mécaniques ou électromagnétiques. On veillera à distinguer l'onde stationnaire de l'onde stationnaire résonante dans un système fermé.

## Retours d'oraux

### Agrégation spéciale 2017 - Note : 19/20

Retour sur les hypothèses de la corde vibrante, précisez l'inextensibilité de la corde? Lien avec l'élasticité de la corde? La longueur de la corde varie-t-elle avec l'onde? Retour sur l'énergie linéique de la corde, pourquoi peut-on décrire le rôle de la tension comme une énergie de rappel élastique alors que la force de tension n'est pas conservative? Montrer que la force de tension n'est pas conservative. Quelles sont les hypothèses pour déterminer l'équation d'onde acoustique? Retour sur la détermination expérimentale de la vitesse du son dans l'air. Pourquoi le signal est-il déformé? A quoi correspond le temps de décalage lorsque l'émetteur et récepteur sont collés? A quelle vitesse est associée cette mesure? Vitesse de groupe, de phase? Quelle hypothèse fait-on sur le milieu de propagation? Aurait-on pu mesurer autrement la vitesse du son dans l'air? Retour technique sur l'onde stationnaire, faire le calcul de l'expression des ondes le long de la corde de Melde excitée mécaniquement à une extrémité? Que se passe-t-il lorsque les deux extrémités sont fixes? Comment connaître l'amplitude associée à chaque mode pour un signal quelconque, triangulaire par exemple? Aucune remarque spécifique à l'agrégation spéciale à faire, les questions ont été pour la plupart sur la leçon, et avec une partie de 5-10min spécifiquement sur l'expérience plus proche de questions de montage.

Le plan suivi a été : I) Ondes et équation d'onde : Description de l'équation d'onde de d'Alembert à partir de la corde vibrante puis discussion de généralités sur cette équation, linéarité et réversibilité. II) Ondes progressives : Recherche de solutions par changement de variable  $x-ct$  et  $x+ct$ , discussion du comportement physique de propagation, et mesure de la vitesse du son dans l'air. III) Ondes stationnaires : Autre description possible des solutions, à variable séparées. Forme des ondes stationnaires. Montrer que cette solution est simplement un jeu d'écriture avec les solutions progressives. Expliquer que le choix va dépendre du problème physique, et appliquer le calcul à la résonance de la corde de Melde. Evolution des fréquences de résonances avec la tension.

Retour du jury : Leçon très classique le point positif semble avoir été de faire une leçon bien cadrée, en énonçant bien les hypothèses et en présentant clairement les quelques calculs. Mesurer la vitesse de propagation sur un « pulse » de 10 périodes permet d'avoir des questions classiques sur la forme du signal etc...

### **Agrégation 2014**

Questions : Pourquoi montrer d'Alembert avec cable coaxial alors qu'après vous ne traitez quasiment que la corde vibrante ? (entre nous c'est parce que ça va plus vite à calculer et que le but de l'exposé était de présenter les similitudes qu'on retrouve entre les différentes ondes, donc pourquoi pas démontrer un résultat en électrocinétique et l'utiliser dans un autre domaine... ?)

Est-ce que toutes les ondes vérifient d'Alembert ? (En fait tellement emballée par la démonstration de THE loi, j'ai dit que TOUTES les ondes le vérifiaient, ce qui n'est évidemment pas le cas, comme je l'ai dit en conclusion..!)

Qu'est-ce que c'est une onde plane ? On dit plane en opposition à quoi en général ?

Est-ce qu'une onde harmonique est forcément plane ?

Quelle équation on résout pour adapter l'impédance ?

Vous avez présenté l'impédance en disant que c'est  $u$  sur  $i$ , comme la résistance, on connaît déjà. Pourtant dans votre cable coaxial il n'y avait pas de résistance ? L'impédance que vous avez définie est-elle une résistance ?

Que se passe-t-il si la capacité et l'impédance linéiques du cable varient le long du cable ?

Quelle est la grandeur analogue pertinente en optique quand on considère l'absorption ?

Vous avez défini la vitesse de phase, est ce que vous faites la différence avec la vitesse de groupe ?

Est-ce que là ça aurait été pertinent d'en parler ? (pour moi non, c'est un problème supplémentaire, ici on pose les bases dans le cas le plus simple ... Je ne sais pas si ils auraient voulu que j'en parle, leur question m'a mis le doute..)

Dans le cas d'une onde stationnaire, est ce qu'il y a propagation ? Vous ne croyez pas que pour les élèves c'est paradoxal, une onde (donc phénomène de propagation) qui ne se propage pas ? Comment vous les aideriez ?

Comment quand on a un problème à résoudre on sait si il faut écrire la solution comme une somme d'ondes progressive et régressive, ou comme un produit d'une fonction de  $t$  par une fonction de  $x$  ? Est-ce que ça revient au même ? Quel est l'intérêt de découpler les variables ?

# LP25 : Ondes acoustiques

## Rapports de jury

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

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

**2013** : [À propos du nouveau titre] Le candidat est libre d'étudier les ondes acoustiques dans un fluide ou dans un solide élastique.

Jusqu'en 2013, le titre était : Ondes acoustiques dans les fluides.

**2011, 2012, 2013** : Cette leçon peut être l'occasion d'introduire le modèle limite de l'onde plane progressive harmonique et de la comparer éventuellement à l'onde sphérique.

Jusqu'en 2008, le titre était : Ondes sonores dans les fluides.

2008 : L'aspect énergétique est trop souvent négligé. L'approximation acoustique est souvent mal dégagée. Pour 2009, le terme sonore est remplacé par le terme acoustique pour indiquer qu'on peut s'intéresser à des signaux non audibles par l'homme.

**2007** : L'aspect énergétique est trop souvent négligé. On remarquera que les ondes sonores ne sont pas toutes planes progressives et harmoniques.

Jusqu'en 2003, le titre était : Ondes sonores dans les fluides. Approximation acoustique. Aspect énergétique.

**1999** : Est-il vraiment indispensable de se placer d'emblée dans le cadre formel de la mécanique des fluides ? Un modèle unidimensionnel et scalaire n'est pas sans intérêt pédagogique. Le développement de l'aspect énergétique doit faire apparaître une densité d'énergie et un vecteur de propagation.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 14/20

Ordre grandeur de la vitesse du son dans un solide ? Comment fonctionne l'émetteur à ultrason utilisé (celui du dural) ? Par analogie avec un autre domaine de la physique, démontrer l'expression du Poynting des ondes acoustiques. Quelle est la polarisation associée aux ondes longitudinales (par analogie avec l'électromagnétisme) ?

### Agrégation 2013

Questions du jury

– Vous avez dit  $\vec{\Pi} = (P_0 + p)\vec{v}$  puis vous avez enlevé le terme en  $P_0$ . Pourquoi ? Vous pouvez ré-expliquer ?

– A quoi ça vous a servi de définir l'impédance acoustique ? A quoi ça sert cette grandeur ? A comprendre réflexion et transmission à une interface – Si on essaie de mettre un peu de physique là-dedans, pourquoi est-ce que la vitesse du son dans un liquide est plus élevée que dans un gaz ? Libre parcours moyen très différent – Quelle interprétation microscopique peut-on donner à cette onde ? Collisions – Comment se passent les interactions ? – C'est quoi les

interactions qui ont lieu dans le fluide, pendant que l'onde passe ? – Qu'est-ce qui se passe si je diminue la pression dans un gaz (par exemple dans cette salle de classe) ? Comment varient les interactions ? Et donc comment varie la vitesse du son ? – Quelle est la chose principale à retenir de cette leçon ? – Est-ce que la contrainte est uniquement normale ? Et quand on considère l'aspect microscopique de l'onde, est-ce que c'est toujours normal ? – Il y a aussi une leçon sur les fonctions d'état caractéristiques en thermodynamique. Si on prend la bonne fonction d'état caractéristique, quel est le lien entre  $\chi_S$  et la fonction d'état caractéristique ? – Est-ce que c'est une dérivée d'ordre 1 de la fonction caractéristique ? D'ordre 2 ? Dérivée d'ordre 2

– Est-ce qu'il n'y a vraiment pas de propagation d'ondes transverses possible ? Vous avez montré que les ondes planes sont transverses, mais est-ce qu'il y a d'autres cas possibles ? – Dans le cas où il y a un milieu stratifié (la densité dépend de la coordonnée  $z$ ), par exemple dans la mer, alors est-ce qu'il est possible d'avoir des ondes transverses ? – Par exemple dans le cas des ondes internes qui se développent dans un milieu stratifié ? On peut avoir des ondes transverses oui. Elles ont parfois des vitesses de phase et des vitesses de groupe non colinéaires – Par rapport à l'équation d'Euler, quel est le terme qu'on rajouterait dans le cas d'un fluide visqueux ? – L'équation avec  $\eta \vec{\Delta} \vec{v}$  n'est valable que pour un fluide incompressible. Qu'est-ce qu'il faudrait rajouter si le fluide n'était pas incompressible ? Un terme en  $\text{div} \vec{v}$ . – Comment on fait pour générer des ondes sonores ? – Comment ça marche un haut-parleur ? D'un point de vue mécanique ? – Ça ressemble à un rayonnement dipolaire, non ? Donc quelle est la dépendance de la puissance sonore émise en fonction de la fréquence ? – Quelle est la dépendance en fréquence dans le cas d'un dipôle ? En  $\omega^4$  – Quelle est l'expression de l'analogie des lois de Descartes (de l'optique) en acoustique ? – C'est quoi l'analogie de l'indice optique en acoustique ? – Vous connaissez une application de ces lois de Descartes en acoustique ou bien un effet dans le cas d'un milieu qui varie continûment ? Mirages acoustiques (dans d'une atmosphère avec le bon profil de température). Par exemple quand on envoie une onde acoustique dans le ciel, elle peut être renvoyée vers le sol par cet effet de mirage. C'est un cas où la vitesse du son varie continûment avec  $z$ .

– Si un élève vous demande comment on obtient l'énergie potentielle des ondes acoustiques, vous répondez quoi ? Vous l'avez seulement admis ici. Travail des forces de pression – Est-ce que deux sources acoustiques sont cohérentes ? Non – Est-ce qu'on a les mêmes effets de cohérence qu'en optique ? – Est-ce que deux scooters sont cohérents ? Autres questions : – Comment voir les raies d'émission d'ondes acoustiques ?

Discussion avec le jury

Remarques générales : – L'une des personnes du jury attendait vraiment le modèle de la sphère pulsante. Ça permet de répondre aussi à une des remarques d'un ancien rapport de jury qui dit qu'il faut faire autre chose que des OPPM. Et dans ce modèle, on a justement des ondes sphériques. Donc ça peut se faire en II). – Il peut être un peu juste au niveau du temps de rajouter le IV) sur la réflexion et la transmission à une interface. C'est pas facile si on veut faire le reste proprement. A voir en fonction de notre débit alors. – C'est pas facile de briller sur cette leçon. Il faut essayer de trouver des exemples originaux, qui ne sont pas forcément dans des livres, qu'on peut trouver dans des publications de recherche ou bien dans de la vulgarisation par exemple... – Il existe bien des ondes transverses dans les fluides : dans les milieux stratifiés. – SPHERE PULSANTE . C'est bien pour expliquer comment on peut

former des ondes. Et ça permet d'aborder l'onde sphérique, et ainsi de traiter autre chose que l'onde plane. A rajouter dans la leçon! – Il faut faire plus d'interprétation physique dans cette leçon, pas seulement des calculs! Il faut au moins mentionner les collisions par exemple. – Penser aux applications! Et essayer qu'elles soient originales. Il faut être plus courageux sur les applications. Par exemple, utiliser les exercices corrigés des bouquins, les articles de recherche, des faits divers originaux (danse des abeilles, etc...) – Il ne faut jamais d'impro. Et il faut toujours être honnête. – Bon dynamisme – Vous avez fait ce qu'il fallait dans cette leçon. – On ne peut pas rater cette leçon, mais on ne peut pas briller non plus. – Vous n'avez pas trop le temps de rajouter les coefficients de réflexion/transmission à une interface. – Vous n'avez pas éludé certains aspects importants, par exemple le caractère irrotationnel de l'écoulement. – Impédance acoustique : on peut commenter physiquement ce que ça veut dire, pourquoi c'est plus élevé dans les liquides que dans les gaz, etc... – En règle générale, à l'Agreg et devant les élèves, c'est bien de commenter une formule, afin de lui donner son sens physique. Par exemple, expliquer que si on fait varier un paramètre dans un sens, alors le résultat varie dans tel sens. – On ne veut pas seulement former des gens qui maîtrisent la technique, mais aussi des gens qui comprennent la physique.

### Agrégation spéciale 2018 - Note : 09/20

D'où proviennent les infrasons lors des concerts? Entend-on le 50 Hz? A quoi est-il dû? L'approximation surpression  $\ll P_0$  est-elle toujours valide? Si  $I = 60$  dB et  $I' = 30$  dB que vaut le rapport des deux surpressions associées à ces intensités? Sur l'équation d'Euler, s'agit-il d'une représentation eulérienne ou lagrangienne? Sur la manip (mesure de la vitesse du son en envoyant un train de salves) : autre façon de mesurer la vitesse du son? A quoi est due la forme du signal au niveau du récepteur? Pourquoi observe-t-on plusieurs signaux au niveau du récepteur? Comment s'affranchir de l'incertitude sur la position du récepteur et de l'émetteur?

## LP26 : Propagation avec dispersion

### Rapports de jury

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

**2015** : Propagation dans un milieu dispersif. Le jury invite les candidats à réfléchir sur les notions de vitesse de groupe et de vitesse de l'énergie qui ne s'identifient pas forcément.

**2012, 2013** : Les candidats doivent avoir réfléchi à la notion de vitesse de groupe et à son cadre d'utilisation.

**2009, 2010** : Il convient de ne pas consacrer trop de temps à présenter les circonstances (rares), où la vitesse de groupe ne s'interprète pas comme vitesse de transport de l'énergie.

**2007, 2008** : Les candidats ont à leur disposition une petite animation qui permet d'illustrer les notions délicates que sont la vitesse de phase et la vitesse de groupe.

**2001** : La notion de paquet d'ondes ne se réduit pas à la superposition de deux ondes. Lorsqu'ils décrivent un paquet d'onde beaucoup de candidats oublient que  $k$  et  $\omega$  sont reliés par la relation de dispersion. Il faut bien sûr s'intéresser aux déformations du paquet d'onde.

**2000** : Une superposition d'un nombre fini d'harmoniques ne permet en aucun cas de définir un paquet d'onde, puisque le phénomène reste périodique. Elle ne peut que constituer un intermédiaire avant le passage à la limite continue, qui doit être étudiée avec soin. Lorsqu'ils décrivent un paquet d'onde tridimensionnel, beaucoup de candidats oublient que  $k_x, k_y, k_z$  et  $\omega$  sont reliés par la relation de dispersion.

**1999** : Ne pas se limiter, pour la construction d'un paquet d'onde à la superposition de deux ondes planes progressives harmoniques de fréquences voisines. La déformation du paquet d'onde est rarement envisagée. Des exemples doivent être pris dans les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques, par exemple dans la propagation d'information sur fibre optique.

**1998** : Un battement n'est pas un paquet d'ondes. Le choix d'une représentation de Fourier spatiale ou temporelle pour représenter un paquet d'ondes dépend de la nature du problème de propagation étudié. Le concept de vitesse de groupe n'a de sens que si le phénomène de propagation étudié est associé à une relation de dispersion. La vitesse de groupe n'est pas toujours la vitesse de propagation de l'énergie.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2009 - Note : 07/20

Comment mesurer expérimentalement la vitesse de phase et la vitesse de groupe ? Quand on envoie à l'aide d'un GBF via un haut parleur un signal d'une fréquence que mesure-t-on, la vitesse de phase ou la vitesse de groupe ? Et si on frappe dans les mains ? L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores ? Dans le cadre d'un concert que se passe-t-il, qu'entendons-nous si on est tout près, à un mètre, ou à un kilomètre ? Comment démontre-t-on l'expression de la vitesse de phase ? Idem pour la vitesse de groupe ; ne pas faire la démo, mais donner le principe physique qui permet de la faire. Air vraiment pas dispersif pour les ondes électromagnétiques ? Signification du temps caractéristique dans la relation de dispersion du conducteur ? Cas où  $k$  imaginaire pur, quel type d'onde obtient-on ? Est-ce un problème que la vitesse de phase soit supérieure à la vitesse de la lumière ? Quelle loi permet d'écrire la première équation pour le cornet acoustique ? Pour cette leçon, ils m'ont dit que le contrat n'avait pas été respecté dans la mesure où je n'avais pas clairement énoncé ce que signifiait physiquement la vitesse de phase et la vitesse de groupe, et que mes réponses à leurs questions concernant ces deux notions n'ont fait que les conforter dans le fait que je ne maîtrisais pas ces notions. Ils ont regretté que je ne fasse rien des expressions des vitesses de phase et de groupe que je calculais, c'est-à-dire qu'il ne fallait pas donner leur expression pour ne rien en dire.

## LP27 : Propagation guidée des ondes

### Rapports de jury

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Propagation guidée. Exemples et applications.

**2012, 2013** : Les notions de modes et de fréquence de coupure doivent être exposées. On peut envisager d'autres ondes que les ondes électromagnétiques.

**2010** : La propagation guidée ne concerne pas les seules ondes électromagnétiques ou optiques. Il faut insister sur les conditions aux limites introduites par le dispositif de guidage.

**2009** : La propagation guidée ne concerne pas les seules ondes électromagnétiques ou optiques.

**2007** : Il s'agit d'une nouvelle leçon consacrée à la propagation guidée des ondes et à ses applications, importantes dans le domaine des télécommunications par exemple.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2009 - Note : 16/20

Autres domaines de la physique dans lesquels on retrouve de la propagation guidée ? Pertes par effet Joule dans le câble coaxial ? Nom de la gaine entourant le câble coaxial ? Comment expliquer simplement à un élève de seconde que les pertes par effet Joule augmentent avec la résistance, alors qu'ils connaissent la relation  $P = U^2/R$  ? Dans le guide d'ondes assimilé à un conducteur parfait, pourquoi  $B_{int}=0$  ? Dans le câble coaxial, comment obtenir un ordre de grandeur de L,C,G ? (connaissant U et I). Avantages de la fibre à gradient d'indice par rapport à celle à saut d'indice ? Fréquence de coupure du câble coaxial, questions sur les modes TE et TM. Ordre de grandeur de la vitesse de propagation dans un câble coaxial ? Si on réalise une manip reliant un GBF (sinusoïde) à un câble coaxial de 80 m et qu'on regarde en sortie à l'oscillo, avec différents bouchons ( $Z = 50$ ,  $Z = 1$ ) qu'est-ce qu'on voit 33 ? J'avais basé la leçon sur un découpage en domaines de fréquences utilisées (I. Du fil au câble coaxial II. Guide d'onde (creux) III. Fibres optiques). Je n'ai pas eu le temps de passer plus de 5 min sur les fibres, ce qui était un peu prévu si on veut bien traiter le I. et le II 34. J'ai sorti le guide d'ondes comme expérience.

### Agrégation 2010 - Note : 10/20

Pour le câble coaxial, vous avez dit vous placer dans l'ARQS, pourtant vous parlez de propagation. N'est-ce pas contradictoire ? Justifiez la forme de l'onde prise pour le guide d'onde rectangulaire. Pourquoi parle-t-on de fibres multimodes ? Est-ce qu'on peut dire que l'impédance caractéristique traduit la résistance du câble ? Exprimez la vitesse de propagation en fonction des données du problème. Que remarque-t-on (on retrouve l'indice du milieu). Quel est l'ordre de grandeur sur le câble utilisé de l'âme et de la gaine ? Commentaires du jury : Vous n'aviez pas tout compris dans cette leçon, néanmoins la première partie vous a sauvé par sa rigueur. Plan : câble coaxial, guide d'onde rectangulaire, fibre optique. Manips : Montrer en branchant un câble coaxial et deux fils sur chacune des bornes de l'oscilloscope que l'effet antenne est bien plus important avec les deux fils (de l'intérêt du câble coaxial). Montrer que la lumière est conduite par le bout de plastique tordu. J'ai fait une première partie très propre, très prépa, avec de jolis calculs. Mais ça m'a pris 30 min. Les deux dernières parties ont donc été traitées trop rapidement. L'existence de plusieurs modes m'a complètement échappé, je n'ai compris ce que c'était qu'au moment des questions.

### Agrégation 2011 - Note : 06/20

Quelle structure a le champ ELM dans une fibre optique à saut d'indice ? Discuter des ondes évanescentes. Vous avez présenté une condition de guidage issue de l'optique géométrique (réflexion totale), que devient cette condition dans un modèle ELM ? Vous avez mesuré une vitesse de propagation dans un câble coaxial, pourquoi cette vitesse est-elle inférieure à la vitesse des ondes ELM dans le vide ? Vous êtes allé un peu vite sur la structure des champs dans le câble coaxial, pouvez-vous expliquer en détail comment déterminer la direction des champs ? Pouvez-vous donner les grandes étapes du calcul de la fréquence de coupure d'un mode (non fondamental) dans un câble coaxial ? Quelle est l'origine physique de cette fréquence de coupure ? Dans le guide d'onde rectangulaire (hyperfréquence), vous vous êtes intéressé à un mode transverse électrique. Existe-t-il d'autres solutions, et dans ce cas, donner les directions du champ  $E$  et du champ  $B$  ? Vous avez parlé de polarisation, l'onde incidente est-elle toujours polarisée ? Comment traite-t-on alors le problème ? Le jury trouve bien de traiter un modèle ELM du fil infini pour déboucher sur le coax. Il partirait par contre du guide d'onde rectangulaire pour faire émerger le plus tôt possible la notion de quantification, sur laquelle il faut impérativement insister à plusieurs reprises (il m'a été lourdement reproché de ne pas assez insister dessus). C'est un des piliers de la leçon. Le second étant la notion de fréquence de coupure. On m'a reproché avec insistance d'avoir pris du temps pour traiter le modèle électrocinétique du câble coaxial, au détriment d'un modèle ELM clair, plus intéressant, plus physique. Je suis passé trop vite dessus. Le traitement général n'est pas envisageable dans une leçon, mais le jury aurait souhaité la détermination de la structure du fondamental dans le câble et toutes les petites discussions physiques qui en découlent. De même, le jury m'a reproché la pertinence de traiter en optique géométrique la fibre optique dans cette leçon. Il préfère qu'on donne la structure des champs dans la fibre et des discussions sur l'existence d'ondes évanescentes sur les bords. En résumé, le jury préfère voir moins de choses traitées, mais veut des modèles ELM. Il a tout de même aimé les ordres de grandeurs que j'ai réalisés, l'histoire racontée était acceptable (aller des grandes longueurs d'ondes aux petites), et la discussion sur l'étalement du paquet d'onde dans une fibre optique.

### **Agrégation 2012 - Note : 09/20**

Guide d'onde monomode : ça sert à quoi ? Comment le résout-on (approche géométrique ou ondulatoire ?). Onde évanescente : que pouvez vous en dire ? Autre type de dispositifs à gradient d'indice ? Comment procède-t-on en pratique pour transporter de l'information ?

### **Agrégation 2013 - Note : 15/20**

J'avais présenté le plan préparé pendant l'année en mettant plus l'accent sur les structures des champs. On m'a demandé de rappeler l'équation de conservation de la charge et celle de Maxwell-Gauss (j'avais inversé les deux), l'équation de conservation de l'énergie ainsi que le sens physique du vecteur de Poynting. On m'a demandé quelles analogies on pouvait faire entre la trajectoire des rayons lumineux dans la fibre optique et la décomposition en deux ondes planes dans le guide d'onde. Ensuite le niveau s'est assez brutalement élevé et un des membres du jury m'a posé pas mal de question sur des analogies entre la leçon et la mécanique quantique : donner la relation de dispersion pour un électron en propagation libre. Exemple du confinement de l'électron qui implique de la quantification (comme pour le guide). Le fait que la vitesse de groupe soit inférieure à  $c$  implique-t-il que le photon a une masse ? (Il

voulait que je lui parle de la théorie de Broca . . .) et enfin connaissez vous l'effet Casimir et pouvez vous l'interpréter ?

### **Agrégation 2013**

– Expliquer la forme des pulses même en propagation libre ? – Relation de dispersion obtenue pour le guide, elle a un nom classique ? (Klein Gordon) – Expliquer pourquoi pour l'onde acoustique on a un mode de plus que le guide EM ? (je ne sais pas !) – Adaptation d'impédance pour le coax ? Par analogie, que fait-on avec un canal hydrodynamique ? (en fait, le jury m'a donné la réponse après la délibération : une mousse, ou une éponge, ça absorbe bien..) – Expliquer ce qu'il se passe avec une trompette ? – Pour une flûte de pan, on a un son qui est transmis, pourtant le tuyau n'a pas d'adaptation d'impédance. Modèle simple avec impédance ? – Pourriez-vous détailler le concept d'onde évanescente et applications ? (effet tunnel optique, champ proche, on allonge une fibre optique jusqu'à ce que le diamètre soit très petit,..) – Un moyen de transporter des impulsions dans les fibres optique couramment employé ? (j'ai commencé à parler d'optique NL, compenser la dispersion, .. et ai enfin dit le mot magique : soliton !) – Comment favoriser un mode dans le guide d'onde acoustique ? (émetteur avec un angle) Comment l'expliquer simplement à un élève ? (euh..) – Que se passe-t-il si on essaie d'introduire une source incohérente dans la fibre optique ?

Au niveau de la préparation de cette leçon, c'est plutôt tranquille, c'était plié en 2h. Par contre ne comptez pas sur le préparateur dès que la manip devient délicate, j'ai du faire moi-même des pulses !

### **Agrégation 2016 - Note : 16/20**

Vous avez parlé de fluide parfait, différence avec un écoulement parfait ? Qu'est-ce que cela implique ? Pour les ondes acoustiques, ça revient à négliger quel temps devant quel temps ? Qu'est-ce que l'effet de peau ? Dépendance en  $\omega$  ? Pour le conducteur parfait, cet effet est fort ou faible ? Vous avez dit que la vitesse de l'énergie, c'est la vitesse de groupe, pouvez-vous expliquer comment on le démontre ? Pourquoi on moyenne le Poynting en EM ? Votre signal (manip guidage tuyau acoustique), c'est un pulse de 7 sinusoides. Du coup, en Fourier, ça donne quoi ? Et la largeur du lobe est liée à quoi ? Pourquoi faut-il une gaine et un coeur pour la fibre optique (sachant qu'historiquement, on a très tôt fait des fibres optiques avec simple réflexion à l'interface air/verre) ? Qu'est-ce qui justifie l'ordre de grandeur de  $\Delta n$  entre gaine et coeur (environ 0,01) ? Vous avez parlé de monomodal, vous ne pensez pas qu'un élève peut s'interroger (en effet, les signaux à transmettre sont sur plusieurs modes) ? Les relations de passage pour E viennent de quelles équations de Maxwell ? Et enfin : vous pensez qu'on peut appliquer le guidage à du quantique ? Par exemple, avec des électrons ? Que pouvez-vous me dire sur le guidage non-linéaire ?

Le plan suivi a été : I) Principe du guidage, intro avec la fibre optique (très modeste, en restant géométrique) II) Guide d'onde acoustique rectangulaire III) Guide d'onde électromagnétique. Le détour par l'acoustique est justifié selon moi par le fait que pour un élève, c'est plus simple avec des quantités scalaires de comprendre les équations, et après on fait les analogies dans le III pour se concentrer sur la physique (à éditer après confessions du jury...). Le jury était "humain". Des questions globalement proche du cours, une ou deux pour rectifier une parole malheureuse (comme confondre vitesse du son et de la lumière), certaines

pour préciser les calculs volontairement mis de côté (il faut, parce que sinon la leçon est trop calculatoire), assez peu de "pièges" ou de "culture générale" sur la fin.

## LP28 : Ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques

### Rapports du jury

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Dispersion et absorption d'une onde électromagnétique plane dans un milieu diélectrique. Modélisation microscopique.

**2009, 2010** : Les conventions adoptées doivent être précisées avant toute discussion sur la partie imaginaire du vecteur d'onde.

**2006** : Il y a souvent confusion entre absorption et atténuation.

**2001** : Dans un diélectrique, l'équation de propagation ne peut être écrite sans précaution : en général la permittivité  $\epsilon_r$  dépend de la fréquence et est complexe. Le modèle de l'électron élastiquement lié ne peut être utilisé sans en discuter les limitations. Les aspects quantiques de l'interaction entre l'onde électromagnétique et la matière peuvent être évoqués.

**1999** : Le modèle de l'électron élastiquement lié n'est pas toujours bien compris. Il est trop souvent assimilé au rayon vecteur noyau-électron, le lien entre le terme de rappel et la force électrostatique n'est pas fait et l'origine du terme de frottement fluide n'est pas interprétée.

**1998** : Cette leçon mérite une discussion physique des phénomènes de dispersion et d'absorption, supportée par des modèles de milieux matériels. Il est parfaitement inutile et contre-productif de s'enfermer dans de longs calculs formels sur les parties réelle et imaginaire de l'indice de réfraction.

**1997** : Il est parfois utile de distinguer les raies de résonance des autres raies optiques.

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2013 - Note : 05/20

Questions sur une expérience que j'avais présenté pour mettre en évidence la polarisation d'un diélectrique (à l'aide du condensateur d'Aepinus et de l'électroscope), mais qui est trop dure à interpréter à mon avis. La surface englobant l'élément  $d\tau$  que j'avais introduite pour définir la densité volumique dipolaire est elle matérielle ? Pourquoi les charges s'arrêtent à cette frontière ? Et d'autres questions dont je ne me souviens plus...

#### Agrégation 2014 - Note : 13/20

Quel est l'équivalent des milieux ferromagnétiques pour les diélectriques : connaissez vous un milieu possédant un moment dipolaire permanent ? La relation  $\mathbf{k} = k_0 + ik_0$  est elle vectorielle ? Existe-t-il des milieux dans lesquels  $k_0$  et  $k_0$  ne sont pas dans la même direction ?

# LP29 : Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs

## Rapports du jury

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

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

**2014** : Cette leçon ne doit pas être confondue avec la leçon 47 [qui était Mécanismes de la conduction électrique dans les solides.

Jusqu'en 2013, le titre était : Effet de peau. Comportement d'une onde électromagnétique à la surface d'un conducteur.

**2010** : Il faut s'interroger sur la dépendance en fréquence de la conductivité. L'étude peut également être menée en haute fréquence.

Jusqu'en 2003, le titre était : Effet de peau. Réflexion des ondes électromagnétiques planes à la surface d'un milieu conducteur.

**2001** : Il faut bien caractériser le métal parfait comme limite du métal réel.

**1997** : Le jury attend que les candidats sachent exprimer le facteur de réflexion d'un métal réel et soient capables d'expliquer la couleur orangée du cuivre.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2012 - Note : 15/20

Pourquoi négliger le terme  $\vec{v} \wedge \vec{B}$  dans la force de Lorentz ? On trouve un ODG du coefficient de réflexion en énergie d'un miroir dans le visible de l'ordre de 97%. Comment fait-on pour obtenir 99,99% ? J'avais présenté l'expérience de pensée des fils de conducteurs verticaux sur lesquels on envoie une onde non polarisée et on est sensé retrouver une onde polarisée rectilignement et perpendiculaire aux fils en sortie, ils sont revenus longtemps dessus.

### Agrégation 2014 - Note : 15/20

Pendant la préparation, je n'ai eu aucun problème avec les livres, les techniciens étaient très sympas. Pendant le passage, je me suis embrouillé sur certaines notations et hypothèses. Le jury est revenu dessus pendant les questions (électronneutralité, ARQS). Le jury a également demandé pourquoi on pouvait, dans le modèle de Drude, négliger les interactions électrons/électrons et un commentaire sur la signification physique de la pulsation plasma. A posteriori, le jury a dit que j'avais très bien traité le sujet, bien expliqué le modèle de Drude, bien mené les calculs, mais pas assez donné d'intuition physique, d'applications. Il faut, après chaque calcul, rappeler le modèle, et interpréter en conséquence les équations, puis donner des applications et des exemples pour donner du relief à la leçon.

# LP30 : Rayonnement dipolaire électrique

## Rapports du jury

**2017** : La leçon ne doit pas se réduire à une suite de calculs.

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

**2014** : Certains candidats utilisent un modèle faisant intervenir une charge électrique variable, ce qui ne semble pas très réaliste. Cette leçon ne doit pas être exclusivement technique et doit être l'occasion de discussions physiques poussées.

Jusqu'en 2014, le titre était : Propriétés et applications du rayonnement dipolaire électrique.

**2013** : Certains candidats utilisent un modèle faisant intervenir une charge électrique variable, ce qui ne semble pas très réaliste.

**2009, 2010** : La polarisation de l'onde émise n'est pas toujours présentée. L'accent doit être mis sur l'interprétation physique des propriétés du rayonnement dipolaire électrique.

**2008, 2007** : Le calcul des champs rayonnés doit être présenté de manière synthétique, en dégageant clairement les approximations successives nécessaires. La discussion des relations obtenues et la présentation d'applications sont essentielles.

**2006** : L'essentiel ne consiste pas ici à calculer de façon détaillée les champs rayonnés.

**2004** : Il faut s'attacher à dégager les hypothèses nécessaires à l'établissement de l'expression du champ électromagnétique créé par le dipôle dans la zone de rayonnement. La polarisation de l'onde rayonnée doit être décrite et l'étude des antennes peut constituer une application de cette leçon.

**2001** : Dans cette leçon, il faut éviter les calculs lourds, insister sur les approximations et bien souligner les simplifications qui en découlent. L'aspect énergétique est important. L'application aux antennes doit être connue.

**1999** : L'aspect énergétique doit être discuté ainsi que l'effet du rayonnement sur le mouvement du dipôle. Par ailleurs les candidats doivent avoir réfléchi sur le fait qu'un milieu homogène ne diffuse pas. Le rayonnement des dipôles induits par l'onde incidente ne contribue dans ce cas qu'à la propagation.

**1998** : Une explication qualitative de la décroissance des potentiels en  $1/r$ , alors que, dans ce cas, les champs E et B décroissent également en  $1/r$ , serait la bienvenue.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 13/20

- Revenir sur les approximations réalisées : expliciter la notion de champ lointain, de zone de rayonnement, de mouvement non-relativiste.

- ARQS : comment le définir ? Et plein de questions sur l'ARQS électrique, magnétique, OdG de fréquences. . .

- Jauge de Lorentz : c'est quoi, en quoi est-elle nécessaire ?

- Vous avez calculé les potentiels retardés, pourquoi ? pourquoi pas directement les champs ? Comment expliquer à un élève l'intérêt des potentiels ?

- Comment expliquer à un élève le passage d'un dipole à une antenne ? Pourquoi ils sont incohérents ? S'ils étaient cohérents, on aurait quoi ?

- Antenne-tourniquet : comment on pourrait calculer les champs ? Quelle application ? Et les antennes-râteaux, comment on choisit la géométrie, quelles applications ? Et les antennes surfaciques ?

- Modèle de l'électron élastiquement lié : détailler les différents termes, donner leur signification physique ? Où est utilisé ce modèle sinon ? Et dans la conduction électrique, c'est quel modèle ?

- Pour les matériaux diélectriques, on peut avoir un rayonnement dipolaire ? Quels termes changent, comment ? Et s'il y a une polarisation permanente, il se passe quoi ?

- Interaction de la lumière avec un atome : il se passe quoi ? Ça rayonne comment ?

- Diffusion Rayleigh : détails sur le phénomène ? Et la diffusion résonante, il se passe quoi ? Et la diffusion de Mie, quelle différence ? Conditions sur la densité ? Sur la taille des particules ? Sur le type de particules ?

Le plan suivi a été : I) Caractérisation du rayonnement dipolaire électrique I.1) Cadre de l'étude et approximations I.2) Potentiels retardés et champs rayonnés I.3) Caractéristiques du rayonnement et diagramme d'émission - II) Sources de rayonnement dipolaire : les antennes II.1) Modèle de l'antenne rectiligne II.2) Résolution pour l'antenne demi-onde II.3) Antennes râteaux et réseau d'antennes - III) Rayonnement dipolaire et diffusion de la lumière III.1) Modélisation et rayonnement III.2) Polarisation de la lumière par diffusion.

La préparatrice a monté la manip de diffusion Rayleigh très rapidement. Les questions sont montées en difficulté au fur et à mesure, pas mal de questions sur l'ARQS, sous toutes ses formes. Des questions de culture sur les antennes.

Retour du jury : Bon plan, mais les calculs étaient trop parachutés. Il manquait des étapes de calcul au tableau, sans tomber dans une leçon trop calculatoire (ce qui est facile pour cette leçon).

### **Agrégation 2008 - Note : 15/20**

On m'a demandé de re-commenter la forme des expressions des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ . On a beaucoup parlé de la structure de l'onde. On a fini par la diffusion Rayleigh, et envisagé le cas du verre.

### **Agrégation 2012 - Note : 14/20**

Vous avez parlé de la jauge de Lorentz, pourquoi celle là ? Qu'est ce qui change si on considère une distribution de charges pas neutre ? Comment rendre des antennes très directives ? J'ai fait l'expérience de la polarisation par diffusion/coucher de Soleil avec un tube de Cachan très pratique : dans l'expérience, l'extinction n'est pas totale, pourquoi ? Pouvez-vous expliquer avec les mains pourquoi la puissance rayonnée dépend de l'accélération et pas de la vitesse par exemple ? Modèle de l'électron élastiquement lié : vous avez pris une force de frottements type Stokes : quelle en est l'origine ? est-ce que l'expression est adaptée au phénomène ? Je me suis trompée dans le calcul de la puissance rayonnée : pouvez-vous nous rappeler l'expression de l'élément d'intégration ?

# LP31 : Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat

## Rapports du jury

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Présentation de l'optique géométrique à l'aide du principe de Fermat. Exemples.

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

**2013** : La leçon doit illustrer ce que le principe de Fermat apporte de plus que les lois de la réfraction et de la réflexion.

**2010** : Notion de rayon lumineux. Principe de Fermat. Conséquences et applications.

**2010** : Le caractère variationnel du principe de Fermat doit clairement ressortir. Cette leçon peut être l'occasion d'introduire le théorème de Malus.

**2009** : Le caractère variationnel du principe de Fermat doit clairement ressortir.

**2008** : L'intérêt de l'introduction de la notion de chemin optique est central dans cette leçon.

**2005** : La notion de rayon lumineux reste imprécise. L'expression mathématique du principe de Fermat mettant en avant l'expression de l'infiniment petit du premier ordre mis en jeu est souvent ignorée. Par ailleurs, l'interprétation du stigmatisme est une application intéressante du principe de Fermat 37.

Jusqu'en 2004, le titre était : Notion de rayon lumineux. Principe de Fermat. Conséquences.

**2000** : Cette leçon nécessite d'avoir réfléchi au lien existant entre la notion de rayon lumineux et l'optique ondulatoire.

**1999** : Pour que cette leçon soit complète et afin de faire correctement le lien avec le théorème de Malus il est nécessaire de savoir relier chemin optique et phase d'une onde et de comprendre à la lumière de la théorie ondulatoire la concentration de l'énergie sur un rayon lumineux. On peut discuter sans calcul comment le principe de Fermat intervient dans la formation des images.

**1996** : Il est bon d'expliquer comment on est conduit à ne rechercher les courbes de chemin optique stationnaire que parmi les lignes brisées, et de souligner que le principe de Fermat ne fait que sélectionner les trajectoires possibles pour la lumière – sans préciser comment la répartition du flux s'effectue entre elles.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 09/20

Ils sont revenus sur les surfaces d'onde, en demandant si la forme était toujours simple, par exemple sphérique. Comment expliquer alors les surfaces d'onde aux formes « bizarres » rencontrées en astrophysique pour lesquelles l'optique adaptative est nécessaire ? Ensuite ils

m'ont demandé si on pouvait redémontrer et expliquer le phénomène de mirage avec d'autres lois que celles que j'avais utilisées. Pour le phénomène des mirages, pourquoi voit-on aussi la « vraie » image ? Et quand est-ce que l'on considère que l'indice optique est introduit dans le cours ? Les techniciens sont super et pour les leçons il n'y a vraiment qu'à leur demander la manip qu'on veut et ils la montent et la testent pour nous ! Par contre il peut être pas mal d'utiliser l'ordi pendant l'année plutôt que les transparents photocopiés puisque le jour J tous les documents numériques sont sur l'ordi.

### **Agrégation 2012 - Note : 20/20**

J'ai eu tout le temps qu'il me fallait. L'écran blanc pour projeter devait être baissé devant le tableau, ce qui gênait un peu. La technicienne est allée chercher tout ce dont j'avais besoin et a tout installé seule (cuve avec gradient de concentration de sel, fibre en plastique avec laser). La présentation s'est bien passée, pas d'incident technique notable, et pour le temps, j'avais visé correctement. Le jury est resté insondable pendant la présentation et il n'y avait pas d'auditeur. • Quelle équation vérifie la phase de l'onde en électromagnétisme ? Développer un peu en lien avec la fin de la leçon (lien avec l'optique ondulatoire) • Le principe du retour inverse est-il toujours valable ? Des lasers existent tels que, si on met un miroir en sortie, la lumière ne rentre pas dans le laser : commenter. Qu'est-ce qui caractérise le photon ? A-t-on tenu compte de son spin ? Revenir à la question initiale. (J'avais d'abord proposé un effet type couche antireflet, mais il voulait un effet lié à la polarisation et je n'ai pas compris son explication...) • A propos de l'analogie entre mécanique et optique (que j'avais traitée : cf la physique par la pratique), comment obtient-on des équations classiques à partir de l'optique ondulatoire ? Et en mécanique quantique ? Qu'est-ce qu'une approche semi-classique ? Développer un peu. • Quel autre type d'optique que géométrique et ondulatoire ? Spécificités de l'optique quantique ? Peut-on imaginer une optique atomique ? • Quand on traite l'optique ondulatoire en cours, on calcule aussi des chemins optiques : en quoi est-ce que cela pourrait perturber les élèves ? Quelle réponse apporter ? • Que répondre à un élève qui demande comment la lumière fait pour choisir le « bon » chemin ? • En dehors des problèmes de polarisation, y a-t-il des situations dont le principe de Fermat ne rende pas compte ? • Y a-t-il des démonstrations des lois de Descartes ne faisant pas référence à un aspect ondulatoire ? Qu'est-ce que la construction de Huygens ? Peut-on démontrer les lois de Descartes à partir des équations de Maxwell. Je ne suis pas allé discuter longtemps avec le jury, mais je pense que l'analogie optique/mécanique a beaucoup plu (un des membres l'a qualifiée de « fructueuse » au cours des questions). Il me semble que si l'on veut parler de l'équation des rayons lumineux, plutôt que de la démontrer, il est plus intéressant de développer cette analogie qui permet d'interpréter beaucoup de phénomènes « avec les mains » (manip cuve à gradient de concentration, et j'ai traité de la sorte la fibre à gradient d'indice).

## **LP32 : Microscopies optiques**

### **Rapports du jury**

**2017** : L'intérêt des notions introduites doit être souligné.

**2016** : Une technique récente de microscopie optique à haute résolution doit être présentée.

Il existait en 2012 une leçon “Application des lois de l’optique géométrique à l’étude d’un instrument d’optique au choix”.

## Retours d’oraux

### Agrégation 2016

- 1) Quels sont les paramètres qui jouent sur la résolution d’un microscope optique ?
- 2) Vous avez dit qu’on pouvait améliorer la résolution en utilisant une lumière incidence de faible longueur d’onde, pourquoi ? Est-ce qu’on peut faire mieux que l’UV ? Microscopie électronique.
- 3) Décrivez-nous cette microscopie.
- 4) Vous avez dit qu’on prenait un objectif de petite focale pour réduire l’encombrement et augmenter la résolution, y a-t-il un autre intérêt ?
- 5) Pour choisir la taille de l’objectif et de l’oculaire y a-t-il un compromis à faire ? A-t-on intérêt à prendre des grandes lentilles, si oui pourquoi ? Quel est l’inconvénient majeur ?
- 6) Parlez-nous d’optique non paraxiale.
- 7) Dans la microscopie par contraste de phase vous avez appliqué le déphasage à la lumière directe seulement et pas à la lumière diffractée, pourquoi ?
- 8) Vous avez dit que les objectifs n’étaient pas des lentilles simples comme dans notre modèle, dites-nous en plus.
- 9) Comment fabrique-t-on ces doublets ?

### Agrégation 2012

Qu’est-ce qui limite le pouvoir de résolution de l’œil ? Grandissement, grossissement, puissance intrinsèque : comment présenteriez-vous l’intérêt de chaque notion à un élève ? Mesure du grossissement commercial : comment aurait-on fait pour prendre en compte les incertitudes ? D’où vient la formule de l’ouverture numérique ? De la distance entre 2 points de l’objet résolu ? Questions sur la diffraction, tache d’Airy, pupilles. Comment peut-on montrer expérimentalement l’existence de la profondeur de champ ? Aberrations ?

## LP33 : Interférences à deux ondes en optique

### Rapports du jury

**2016** : Les approximations mises en oeuvre dans les calculs de différence de marche doivent être justifiées a priori.

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

**2014** : Un interféromètre comportant une lame séparatrice n’est pas obligatoirement utilisé en diviseur d’amplitude. La notion de cohérence et ses limites doivent être discutées.

Jusqu’en 2013, le titre était : Obtention d’interférences à deux ondes en optique. Notion de cohérence.

**2009, 2010** : Il faut réfléchir à l'opération de moyenne réalisée par le détecteur et il est bon de connaître quelques ordres de grandeurs à ce sujet.

**2005** : Dans cette leçon doivent apparaître les problèmes liés aux détecteurs (moyennes quadratiques) et aux sources (processus d'émission et nature des ondes émises), conduisant à la nécessité d'utiliser des montages interférométriques pour obtenir un terme de corrélation. Les phénomènes de localisation sont souvent mal formulés ou ignorés.

**2003** : Cette leçon doit être illustrée expérimentalement, le candidat devant être en mesure de montrer clairement les effets de cohérence spatiale ou temporelle de la source.

**2002** : On ne doit pas se polariser d'emblée sur les dispositifs à division d'amplitude qui constituent la réponse au problème de perte de contraste par élargissement de la source.

**2001** : L'illustration expérimentale de la notion de cohérence est indispensable.

**1999** : La notion de cohérence n'est pas un point annexe mais un point central de cette leçon.

**1998** : Dans cette leçon difficile, la première partie relative à l'obtention des interférences à deux ondes doit être traitée soigneusement, même si elle paraît simple. La partie notion de cohérence doit faire l'objet d'une approche pragmatique, en évitant de présenter systématiquement un facteur de visibilité comme une transformée de Fourier. En particulier, il est important de faire comprendre pourquoi les résultats ne sont pas identiques avec une source quasi-ponctuelle et avec une source étendue.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note :15/20

Questions à propos de ce que j'ai dit, questions sur ce que j'avais prévu de traiter au 6 et 7 (cohérence spatiale et temporelle) (dont D'où provient le delta nu selon les différents types de source) , sur la longueur de cohérence (comment on la mesure expérimentalement...), lien entre longueur de cohérence et contraste, est-ce que le brouillage est immédiat en dépassant la longueur de cohérence?, fonctionnement du montage pour la mesure de la taille d'une étoile (pris dans la banque d'image et j'ai fait venir le bouquin, si je l'avais regardé plus tôt je l'aurais mis à une place plus centrale dans la leçon), une application équivalente du casque anti bruit en optique pure? une application en interférométrie qui utilise la polarisation?

### Agrégation 2016 - Note : 10/20

Quand on utilise la vibration lumineuse  $s$ , a-t-on vraiment  $I = \langle ss^* \rangle$ ? Ou proportionnalité? Et avec le champ électrique directement? Si on ne peut pas utiliser la notation complexe, comment fait-on? Quel est le lien entre la longueur de cohérence et la largeur de raie? Comment fait-on les calculs pour des interférences à 3 ondes? On verrait quoi? Définition de la différence de marche?  $\lambda$  ou  $\lambda_0$  dans les formules? Quels sont les mécanismes d'émission de la lumière? Qu'est-ce qu'une source cohérente? Quelles sont les conditions qui doivent être respectées pour pouvoir faire le développement limité dans le calcul de la différence de marche pour les trous d'Young? L'équation  $(S2M) - (S1M) = \text{constante}$  correspond-elle seulement à des hyperboloïdes de révolution? Est-ce que ça pourrait être des ellipsoïdes de révolution? Est-ce qu'on a vraiment besoin de la moyenne temporelle? (pas compris cette question) Quel était le but initial de l'expérience de Young?

Commentaires : Techniciens au top qui m'ont monté absolument tout ce que je demandais (même si je n'ai malheureusement pas eu le temps de présenter la manip de cohérence). Par contre ils étaient 3 ou 4 dans la salle pendant longtemps pour essayer de résoudre un problème... Même s'ils chuchotent ça peut être un peu perturbant !

### Agrégation 2014

Questions :

- Sur quel temps fait on la moyenne dans la démo de la superposition de deux ondes ? (temps d'intégration détecteur)
- Y a t'il un cas où  $w_1$  et  $w_2$  sont différents mais on a quand même interférences ?
- D'où vient le théorème de superposition ?
- On a l'éclairement proportionnel au carré de la vibration. Qu'est ce qui intervient dans cette constante de proportionnalité ?
  - Différence entre retard de phase et différence de phase ? (l'un dans l'expression de vibration, l'autre est différence entre deux vibrations)
  - Dessin pour expliquer aux élèves interférences destructives ? (2 ondes déphasées de  $\pi$  - addition des amplitudes)
  - Expliquer Fizeau ? (cf Annequin elec 2)

### Agrégation 2008 - Note : 14/20

Comment définit-on l'intensité lumineuse ? Faire le lien avec l'électromagnétisme et donner son unité. Pour observer des interférences, doit-on nécessairement considérer deux ondes de même longueur d'onde ? Peut-on avoir des problèmes de cohérence spatiale avec le Michelson ?

## LP34 : Interférométrie à division d'amplitude

### Rapports de jury

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

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

**2015** : Les notions de cohérence doivent être présentées.

**2014** : Un interféromètre comportant une lame séparatrice n'est pas obligatoirement utilisé en diviseur d'amplitude. La notion de cohérence et ses limites doivent être discutées.

Jusqu'en 2013, le titre était : Interféromètres à division d'amplitude. Applications.

**2009, 2010** : Le calcul des différences de marche doit être effectué aussi simplement que possible, en exploitant au maximum les « dépliements » de rayons. L'influence de l'extension spatiale de la source sur la figure d'interférences est au cœur de la leçon.

**2008** : Il est indispensable de développer des applications.

**2005** : Le Michelson n'est souvent utilisé qu'en lame d'air. Les problèmes de localisation et les détails expérimentaux sont rarement présents, tout comme les applications. On peut,

pour cette leçon, admettre que les dispositifs par division du front d'onde ont déjà été étudiés auparavant, ce qui permet au candidat d'entrer tout de suite dans le vif du sujet de la division d'amplitude et de son intérêt.

**2004** : Si le jury souhaite naturellement une solide illustration expérimentale de la leçon, il ne faut pas la transformer en une succession d'observations purement qualitatives. Cette leçon doit être l'occasion pour le candidat de montrer qu'il sait conduire l'analyse théorique du phénomène expérimental montré.

**2001** : Il faut prendre le temps de justifier la nature du lieu de localisation et réfléchir à l'intérêt de l'utilisation des interféromètres à division d'amplitude.

**2000** : L'interféromètre de Michelson est habituellement présenté dans cette leçon. Rappelons que, si la source est ponctuelle, l'interféromètre de Michelson permet d'observer des interférences non localisées. Dans ce cas deux rayons distincts partant de la source interfèrent, et on n'est donc pas dans le cadre d'interférence à division d'amplitude. Par conséquent, dans cette leçon, il n'est pas utile de présenter une multitude de schémas illustrant cette situation.

**1999** : Dans cette leçon aussi la notion de cohérence, spatiale et temporelle, est centrale et doit être abordée.

**1998** : La motivation des dispositifs étudiés dans cette leçon est l'obtention d'interférences avec une source étendue et conventionnelle, donc spatialement incohérente. L'intérêt des interféromètres à division d'amplitude sur ceux qui utilisent la division du front d'onde doit clairement ressortir de l'exposé. Compte tenu de l'importance expérimentale de ces appareils il est inutile de perdre du temps à l'étude exhaustive des lames d'indice  $n$  dans l'air, qu'elles soient à faces parallèles ou non, et il est souhaitable de développer quelques applications des interféromètres étudiés.

## Retour d'oraux

### Agrégation 2016

Comment on fait des mesures d'indices avec un Michelson en pratique ? Avec un autre dispositif ? Quel est l'intérêt historique du Michelson ? Redéfinir division du front d'onde et division d'amplitude Dispositif où  $\Delta S$  est perpendiculaire à  $u_2 - u_1$  ? (voir Pérez chapitre 23) Redémontrer diff marche =  $2e \cos i$  en 1 ligne et un dessin (sources secondaires du Michelson) Transfo Fourier et cohérence : nom des théorèmes associés ?

### Agrégation 2008 - Note : 07/20

Qu'est-ce qu'un ordre d'interférence ? Pourquoi la résolution du Michelson est-elle inférieure à celle du Fabry-Pérot ?

### Agrégation 2010 - Note : 08/20

Expliquer la localisation des franges pour le coin d'air. Quelles autres applications du Michelson en lame d'air connaissez-vous ? (j'avais cité la spectrométrie, l'expérience de Michelson et Morley, le contrôle de l'état de surface d'un matériau). Pourquoi les sources images vibrent-elles en phase ? Justifier la façon de calculer le chemin optique dans le cas de la lame d'air. Vous avez dit « charioter » à plusieurs reprises, est-ce que c'est français (si, si, j'ai eu cette question). Commentaires : sujet bien maîtrisé, mais ce n'est pas ce qu'on juge à l'oral ;

leçon mal structurée : je suis resté longtemps sur la lame d'air. Pas assez de temps sur le Fabry-Perot, pas la peine de le traiter si c'est incomplet. Diapos pas complètement exploitées (je n'avais pas commenté suffisamment des enregistrements correspondant à divers spectres) ; manipulations intéressantes mais pas suffisamment commentées. Les techniciens ont installé et réglé le Michelson pour que je puisse montrer les anneaux de la lampe à sodium en lame d'air. Je suis passé en coin d'air en lumière blanche pendant la leçon, ce qui a été apprécié mais pas récompensé puisque je n'ai pas fait assez de commentaires.

### **Agrégation 2012 - Note : 16/20**

Pour la séparatrice, vous avez parlé de dépôt métallique, comment fait-on autrement pour avoir un coefficient de réflexion bien contrôlé ? On a vu des anneaux pas parfaitement ronds, à quoi est-ce dû ? Applications d'un Fabry-Pérot ? Comment marche un filtre interférentiel ? À quoi sert la compensatrice ? Seulement à corriger une différence de marche constante ? Et en lumière polychromatique ? Vous pensez vraiment que la dispersion par les lois de Descartes joue un rôle ? Est-ce que le parallélisme des faces de la séparatrice est important ? De la compensatrice ? Et leur planéité ? Quel écart à la planéité de la lame d'air peut on détecter, c'est-à-dire quel est l'angle de coin d'air résultant alors qu'on a l'impression d'être en lame d'air ? Comment le mesurer ? Je veux mesurer un défaut de planéité de lame d'air de 200 nm, c'est possible ? Et un défaut de planéité de compensatrice d'autant ? Est-ce que vous pouvez retrouver par un argument simple le déphasage du coin d'air, sans faire de calcul de chemin optique ? Les techniciens ne savaient pas régler le Michelson, ce qui m'a pas mal stressé, mais finalement un prof préparateur l'a fait pour moi. Le jury m'a dit avoir beaucoup aimé la démonstration du théorème de localisation, qui était particulièrement claire paraît-il. Ils ont aimé que je vérifie à la main que les signes étaient bons en commentant le schéma, et que je sépare bien dans la conclusion de cette partie la condition de non-brouillage et la localisation. Pour le Michelson, je me suis limité aux calculs de différence de marche sans jamais écrire la formule des interférences, mais c'est tout à fait suffisant. Le passage en lumière blanche a raté (j'ai dû prendre mes notes pour la position du contact optique) mais ce n'est pas rédhibitoire, ni d'être seulement qualitatif sur le Fabry-Perot parce que j'ai bien expliqué les points importants, à savoir comment on l'éclaire et la localisation. D'après le jury, la problématique de la leçon est bien de montrer en quoi la division d'amplitude solutionne le problème de la cohérence spatiale, plus que de présenter des interféromètres. Ainsi, ils estiment que la démonstration du théorème de localisation est plus importante que de faire des calculs sur le Fabry-Perot.

### **Agrégation 2012 - Note : 05/20**

Le jury aurait aimé voir plein d'ordres de grandeur. Lorsque l'on donne une application, tout étudier à fond et pas seulement expliquer le principe. Par exemple sur la résolution de la raie du sodium avec un Michelson montrer l'enveloppe, donner l'écart entre les deux raies.

### **Agrégation 2014 - Note : 07/20**

Quel siècle pour Newton ? Redonner la définition de la longueur de cohérence, est-ce ce qu'on mesure sur l'écran ? Peut-on faire de la division du front d'onde avec un Michelson ? On est très entouré par les techniciens qui sont vraiment extraordinaires. Tout donner jusqu'au

bout et ne rien lâcher, même si une épreuve est plus dure, on a le droit d'avoir un carton ! J'ai failli tout arrêter début juin, tellement je me sentais en retard et n'ayant pas le niveau, cela aurait été dommage ... !

## LP35 : Diffraction de Fraunhofer

### Rapports du jury

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Diffraction de Fraunhofer. Applications.

**2011, 2012, 2013, 2014** : Les conditions de l'approximation de Fraunhofer doivent être clairement énoncées. Pour autant, elles ne constituent pas le coeur de la leçon.

**2009, 2010** : Les phases associées aux amplitudes doivent être traitées avec soin.

**2006, 2007, 2008** : Le principe de Huygens-Fresnel doit être exposé clairement, sans débordements mathématiques excessifs. Il faut expliquer pourquoi la diffraction de Fraunhofer est pertinente dans la formation des images.

**2005** : Rappelons que la diffraction de Fraunhofer accompagne l'image géométrique d'une source initiale et que l'écriture du principe de Huygens-Fresnel dans le cadre de l'approximation de Fraunhofer doit être rigoureuse. Les applications ne doivent pas se limiter au trou circulaire et à la fente fine. Dans ce dernier cas, il faut justifier le calcul qui est mené.

**2004** : Les conditions de l'approximation de Fraunhofer doivent être précisées et discutées.

**2001** : Les conditions de Fraunhofer doivent être clairement exposées. Il faut éviter les calculs trop lourds et valoriser les applications. Notons que le pouvoir séparateur de la lunette astronomique n'est pas le seul exemple d'application.

**1999** : Le principe de Huygens-Fresnel doit être expliqué puis appliqué à l'approximation de Fraunhofer dont on discutera les limites.

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2017 - Note : 15/20

La plupart des questions que j'ai eues ont porté sur des choses que j'avais dites pendant ma leçon. Par exemple : vous pouvez refaire le schéma du montage à deux lentilles ? Il y a une phase à l'amplitude en plus, pourquoi vous ne la prenez pas en compte ? Ils sont passés où les dénominateurs ? et j'en passe.. Comme vraies questions j'ai eu : que se passe-t-il si l'ouverture diffractante est plus petite que la longueur d'onde ? connaissez-vous un exemple de la vie de tous les jours où c'est le cas ? Est-ce que c'est une bonne idée d'introduire la diffraction par l'impossibilité de réaliser un faisceau de lumière infiniment fin, n'y aurait-il pas d'autres possibilités ? Est-ce qu'au niveau où vous avez mis la leçon (PCU) on peut attendre des élèves qu'ils maîtrisent la transformée de Fourier ? Au final, très peu de questions de physique.

#### Agrégation 2008 - Note : 06/20

Lien entre polissage des miroirs et diffraction ? Conséquence d'une translation de la fente ? Faites une figure. Que se passe-t-il en incidence non normale ?

### **Agrégation 2009 - Note : 06/20**

Questions sur le paramètre angulaire que j'avais introduit au début pour la diffraction. Les examinateurs sont revenus 5 minutes sur une formule qui n'était plus écrite au tableau, parce que j'avais intégré sur les coordonnées de l'écran au lieu des coordonnées de la pupille diffractante. Retour sur le principe d'Huygens Fresnel (apparemment dire qu'on fait la somme des amplitudes des ondes des sources secondaires c'est pas assez, il faut dire que les ondes interfèrent, même si ça revient au même). Le pouvoir de résolution d'un réseau, est-ce que c'est vraiment le produit de l'ordre et du nombre de traits éclairés ? Fraunhofer, c'est pour n'importe quelle onde incidente ? Comment retrouver la forme de la figure de diffraction par un rectangle sans calcul (et bien sûr sans dire que c'est une TF) ?

### **Agrégation 2014 - Note : 11/20**

A quoi sert de faire un développement limité au second ordre ? Quelle est la condition sur le nombre de Fresnel pour être en complètement en Fraunhofer ? Peut on démontrer le principe de Huyghens-Fresnel ou est ce une formule empirique ? Que se cache-t-il derrière la constante que vous avez noté C ? Quelle est l'unité de la vibration lumineuse ? Expliquez concrètement comment est réalisé le filtrage spatial dans votre expérience ? Comment l'expérience (Duffait p. 109) illustre-t-elle le critère de Rayleigh ? Connaissez vous d'autres domaines où l'on réalise de la diffraction ? Quelles conditions faut-il respecter pour avoir diffraction entre la longueur de l'onde et la taille de l'obstacle ? Dans un cristal, quelle est la taille de l'obstacle ? Quelles sont les ondes utilisées ? Quelles particules fait-on diffracter ? Donnez une condition sur la longueur d'onde de De Bröglie en vous aidant de l'incertitude d'Heisenberg pour avoir diffraction.

## **LP36 : Diffraction par des structures périodiques**

### **Rapports du jury**

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

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

**2012, 2013, 2014** : Cette leçon donne souvent l'occasion de présenter les travaux de Bragg ; malheureusement, les ordres de grandeur dans différents domaines ne sont pas toujours maîtrisés.

**2009, 2010** : La notion de facteur de forme peut être introduite sur un exemple simple. L'influence du nombre d'éléments diffractants doit être discutée.

**2008** : Diffraction par des structures périodiques dans différents domaines spectraux.

**2007** : Le jury souhaite que la diffraction d'ondes autres que les ondes électromagnétiques soit envisagée. C'est pourquoi l'intitulé 2008 précise dans différents domaines de la physique.

**2005** : On peut admettre que l'expression mathématique du principe de Huygens-Fresnel est acquise, ainsi que son application au cas d'une ouverture unique, plus particulièrement d'une fente fine.

**2004** : Il faut veiller au bon équilibre de l'exposé : il est inutile de faire l'étude de la diffraction de Fraunhofer qui doit être supposée connue et il est souhaitable de consacrer plus de cinq minutes à l'étude de la diffraction des rayons X par les cristaux par exemple.

**2003** : La leçon ne peut pas se limiter à une étude du réseau plan en optique. Il faut donc pouvoir dégager les idées importantes assez rapidement pour pouvoir passer à l'étude d'autres domaines.

**2002** : Cette leçon doit être illustrée expérimentalement de manière efficace. Le pouvoir de résolution d'un réseau est toujours présenté, mais la détermination de son expression théorique pose systématiquement des problèmes aux candidats.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2009 - Note : 09/20

Plusieurs questions pour préciser des hypothèses de calcul exposées trop rapidement (par exemple pourquoi on fait un calcul unidimensionnel pour le réseau, à quelle approximation cela revient dans la direction verticale?). Retour sur la figure de diffraction du réseau : pouvoir de résolution ? Comment déterminer le nombre de traits éclairés, le rapport  $a/e$ , etc. Matière condensée : qu'est-ce qu'on sonde avec des neutrons ? Quelle est la forme de la figure de diffraction ? Étude des biomacromolécules : c'est facile de faire des cristaux ? Comment expliquer la couleur bleue du papillon « machin » ?

### Agrégation 2013 - Note : 11,5/20

Pourquoi historiquement on a continué à utiliser des prismes alors que les réseaux existaient encore ? Comment fabrique-t-on un réseau blazé ? Réalisation précise d'un émetteur ultrasonore utilisé pour l'échographie ? Dans quelle démarche épistémologique s'inscrit l'expérience de Davisson et Germer (diffraction d'électrons en 1925) ? Agrégation 2014 - Note : 10/20 Plan : (I) Réseau plan en optique – (II) Deux échelles : l'échographie – (III) Diffraction à 3D par un cristal, à peine abordé par manque de temps Commentaires : Faire plus de lien entre les différentes parties et bien faire ressortir la diffraction dans chacune des parties et les conditions d'application du principe de Huygens-Fresnel.

## LP37 : Absorption et émission de la lumière

### Rapports du jury

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

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Absorption, émission spontanée ou induite du rayonnement. Caractéristiques et applications.

**2011, 2012, 2013, 2014** : Trop souvent, il y a confusion entre les processus élémentaires pour un atome et un ensemble d'atomes. De même le candidat doit préciser au cours de sa leçon le caractère monochromatique ou non du champ de rayonnement qu'il considère et plus généralement les caractéristiques du rayonnement stimulé.

Jusqu'en **2010**, le titre était : Absorption, émission spontanée ou induite du rayonnement. Coefficients d'Einstein. Applications.

**2010** : Le laser n'est pas la seule application de cette leçon. Le Laser He-Ne n'est pas l'illustration la plus simple. Il est maladroit d'introduire les coefficients d'Einstein dans une situation de rayonnement parfaitement monochromatique. À propos du nouveau titre : Il s'agit de mettre en évidence les caractéristiques des émissions et absorptions et de présenter en détail une ou plusieurs applications.

**2009** : Le laser n'est pas la seule application de cette leçon. Le Laser He-Ne n'est pas l'illustration la plus simple.

**2004** : Les coefficients d'Einstein ne doivent pas être évoqués dans le seul cas du rayonnement thermique.

**2002** : Le laser ne doit pas être présenté de façon trop superficielle.

**2000** : À l'occasion de cette leçon (ainsi que de quelques autres), les candidats présentent souvent l'expérience de résonance optique dans le sodium, de façon très maladroite : lorsqu'on éteint la première lampe spectrale, il ne faut pas s'attendre à voir la seconde illuminée un temps notablement supérieur à  $10^{-8}s$  !

## Retours d'oraux

### Agrégation 2009 - Note : 19/20

pourquoi avoir fait le spectre de la lampe au Hg ? Quelles conditions pour appliquer la statistique de Maxwell- Boltzmann ? Détailler les caractéristiques identiques du photon incident et du photon induit. Détailler les différentes probabilités du laser à 3 niveaux. À quoi est due la largeur de la raie d'émission induite ? Peut-on faire léviter un trombone avec des faisceaux laser ?

### Agrégation 2013 - Note : 10/20

Pourquoi le photon émis par émission stimulée a même direction, même fréquence et même état de polarisation ? Lien entre largeur énergétique du niveau et temps de relaxation ? Au niveau spectral la largeur est-elle due seulement à la largeur énergétique non nulle du niveau ? Comment mesure-t-on des longueurs d'onde avec un appareil de lycée ? Vous avez parlé de refroidissement d'atomes et n'avez pas eu le temps de le traiter, vous pouvez détailler ? De même le rôle de la cavité pour un laser ? Vous avez conclu sur les condensats de Bose-Einstein, vous pouvez définir ce que c'est ? Après la proclamation j'ai été les voir, il m'ont dit qu'ils ont bien aimé mon dynamisme mais qu'il manquait dans la leçon un peu de sens physique et surtout des applications, qui font partie du titre. Je n'avais traité que rapidement le laser à 3 niveaux car la première partie sur les coefficients d'Einstein m'avait pris trop de temps. Commentaires personnels : Je conseille de s'organiser au mieux pour prendre 10 à 15 min avant l'arrivée du jury pour se poser, relire les notes, boire un coup et se concentrer sur la leçon.

### **Agrégation 2013 - Note : 08/20**

Questions et commentaires du jury : Comment décrire classiquement aux élèves de CPGE les 3 phénomènes d'interaction rayonnement-matière ? Comment le modéliser de manière quantique ? De quoi dépend la finesse de la cavité laser ? Commentaires personnels : Les techniciens que j'ai eu ont toujours été très avenants, et très gentils. On m'a dit aussi que la sympathie que je transmettais dans mes oraux a été un atout pour mes résultats. Ne pas hésiter à demander de reformuler une question si elle ne semble pas bien comprise. Les membres du jury savent qu'au bout de 4 heures de préparation et 50 min de présentation, on n'est plus très au taquet.

### **Agrégation 2013 - Note : 06/20**

Je n'ai pas eu le temps de finir mon exposé : j'ai commencé par définir les trois comportements et faire les calculs sur les coefficients d'Einstein. J'ai eu uniquement le temps d'expliquer le principe du laser. Ma note s'explique par le fait que j'ai perdu beaucoup de temps au début, j'ai donc accéléré mon rythme de parole et donc perdu beaucoup en clarté, tout en m'embrouillant sur des détails comme les notations. Ce que j'en ai retenu c'est qu'il ne faut pas être trop ambitieux et surtout ne jamais se précipiter. Les questions que l'on m'a posé étaient (en tout cas je trouve) étonnamment dures par rapport à la qualité de ma prestation : le jury n'est pas revenu sur des détails de ma présentation mais m'a posé (en tout cas il me semble) des questions de haut niveau auxquelles je n'ai pas su répondre. La note que j'ai eue est donc amplement méritée même si j'ai été très étonné par les questions qu'ils m'ont posé, m'attendant plutôt à des questions de base où j'aurais dû réexpliquer les concepts. Sinon pour les détails techniques, le technicien qui m'encadrait était très sympa et m'a monté le laser transparent avec SpidHR, sans que je perde trop de temps pour lui dire comment faire.

### **Agrégation 2018 - Note : 16/20**

Commentaires généraux : leçon plus dure que ce qu'elle a l'air de prime abord, par exemple à cause des définitions des coefficients d'Einstein, qui diffèrent selon les sources et les conditions choisies. J'ai utilisé le Cagnac, bien mais compliqué et le Tout-en-un Dunod PC Nouveau programme, mal fait mais plus terre à terre. Attention surtout aux dimensions, à force de travailler en densités spectrales par unité de fréquence, on se perd vite.

Questions (aucune des questions ne sort de nulle part, elles sont des rebonds de ce que j'ai pu dire pendant la leçon) : Comment expliquer à un élève le lien entre le temps de vie de l'état excité et la durée des trains d'onde ? Comment fait-on pour comprendre simplement avec les outils modernes (postérieurs à Einstein) que  $B_{12} = B_{21}$  ? Quels sont les profils de raies usuels ? Peut-on le vérifier sur le spectre de la Balmer ? Avez-vous entendu parler de profil de Voigt ? Quels sont les utilisations des lasers ? Exemples de lasers ? Fonctionnent-ils toujours dans le domaine de l'optique ? Pour a-t-on voulu fabriquer des blue ray ? L'inversion de population se fait-elle toujours par pompage optique ? Dans les lecteurs CD par exemple ? Quel est l'intérêt du stockage numérique ? Pourquoi veut-on fabriquer des lasers de plus grande énergie ? Utilité des lasers de forte puissance ? Les lasers émettent-ils plusieurs modes ? Comment étudier les modes d'un laser ? (Avec un Fabry-Pérot) Pourquoi les pertes sont-elles plates en fréquence ? En régime de fonctionnement, gain > pertes ou gain = pertes ? Est-ce que le laser peut

démarrer si gain = pertes ? La pureté spectrale du laser vient-elle uniquement des propriétés des photons émis ou aussi de la cavité Fabry-Pérot ? Commentaires du jury : Très bonnes deux première parties, avec une bonne introduction des coefficients d'Einstein. Points perdus principalement pour la 3ème partie, avec une mauvaise explication de l'exemple de pompage optique présenté.

## **LP38 : Aspects corpusculaires du rayonnement. Notion de photon.**

### **Rapports de jury**

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

**2014** : Cette leçon ne devrait pas se limiter à une description d'expériences historiques du début du XXème siècle. Des développements récents, expériences à un photon, décohérence, peuvent être mentionnées. Le transfert de quantité de mouvement est souvent présenté par le biais de l'expérience de Compton, il peut également être illustré à l'aide d'applications modernes de l'interaction atome-rayonnement. Cette leçon peut éventuellement permettre de parler de la notion de superposition d'états. La lumière peut parfois présenter un comportement ni corpusculaire, ni ondulatoire.

**2012, 2013** : Le transfert de quantité de mouvement est souvent présenté par le biais de l'expérience de Compton, il peut également être illustré à l'aide d'applications modernes de l'interaction atome-rayonnement. Cette leçon peut éventuellement permettre de parler de la notion de superposition d'états. Le jury invite les candidats à réfléchir sur la physique à l'oeuvre à l'échelle de la longueur d'onde Compton.

**2011** : Le transfert de quantité de mouvement est souvent présenté par le biais de l'expérience de Compton, il peut également être illustré à l'aide d'applications modernes de l'interaction atome-rayonnement. Cette leçon peut éventuellement permettre de parler de la notion de superposition d'états. Au cours des questions, le jury a été surpris de constater que la notion de spin associée à un photon n'est pas toujours maîtrisée.

**2009, 2010** : Les expériences réalisées à l'aide d'une cellule photoélectrique sont souvent mal comprises ou interprétées abusivement. Les candidats cernent souvent mal pourquoi la notion de photon s'est dégagée de l'effet photoélectrique et du corps noir.

**2008** : Il ne faut pas oublier que le photon possède un moment cinétique. Les applications ne se limitent pas à l'effet Compton. Les récents développements dans le monde quantique constituent une mine d'applications pour cette leçon.

Jusqu'en 2007, le titre était : Le photon : la particule et ses interactions avec la matière.

**2007** : Cette partie importante de la physique quantique est mal couverte par les manuels usuels. Le photon a une énergie, une quantité de mouvement, mais aussi un moment cinétique. Les illustrations ne se limitent pas à l'effet photo-électrique et à l'effet Compton, et les récents développements de la physique quantique constituent une mine d'illustrations pour cette leçon : ralentissement d'atomes par la lumière, interférences avec des photons uniques, comportement de la lumière sur une lame semi-réfléchissante . . .

**2004** : Des expériences doivent être décrites et modélisées en prenant soin de donner des ordres de grandeur. Les échanges de moment cinétique méritent d'être discutés.

**1997** : Il faut comprendre que le photon garde les attributs d'un champ électromagnétique, en particulier (à propos de l'effet Compton) la capacité d'interagir avec des particules chargées. Il n'est pas interdit de parler du moment cinétique d'un photon et de sa relation avec la polarisation d'une onde.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2013 - Note : 11/20

Questions et commentaires du jury : Les questions ont portés sur la différence d'interprétation entre les effets que l'on observe et les effets que l'on pourrait déduire avec la théorie classique du champ électromagnétique, notamment via la force de Lorentz : la force de Lorentz est orthogonale à la direction de propagation alors que l'interprétation en terme de photons donne une force selon la propagation. On m'a également posé des questions sur la masse du photon. Comment on fait la démonstration en vrai ? (je ne sais même pas si on peut la faire) Quelle seraient les conséquences si le photon était massique ? (limitation de la portée de l'interaction). Quel est le rôle de la force de frottement dans l'existence d'un moment dans le modèle de l'électron élastiquement lié ? Quelle est son origine ? (j'ai répondu que c'était dû à la perte d'énergie d'une particule chargée accéléré et que cela induisait un déphasage entre le champ E polarisé circulairement et l'électron d'où un moment). On m'a posé des questions sur l'effet Compton et sur l'aspect déterministe du calcul alors qu'a priori on a des ondes et des probabilités (en fait dans le calcul on suppose l'angle de déviation  $\theta$ ).

## LP39 : Aspects ondulatoires de la matière. Notion de fonction d'onde.

### Rapports du jury

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

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

**2010** : Cette leçon peut être l'occasion d'introduire simplement l'équation de Schrödinger. La signification physique des différents termes de l'équation de Schrödinger n'est pas toujours connue. Le jury constate qu'un nombre significatif de candidats confondent équation aux valeurs propres et équation de Schrödinger. Enfin, les candidats sont invités à s'interroger sur les aspects dimensionnels de la fonction d'onde et sur sa signification physique précise.

**2009** : La signification physique des différents termes de l'équation de Schrödinger n'est pas toujours connue. Le jury constate qu'un nombre significatif de candidats confondent équation aux valeurs propres et équation de Schrödinger. Enfin, les candidats sont invités à s'interroger sur les aspects dimensionnels de la fonction d'onde et sur sa signification physique précise.

**2008** : La justification physique des relations de continuité aux interfaces est trop souvent éludée.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2016 - Note : 07/20

D'où vient le caractère complexe de la fonction d'onde ?

Vous dites qu'en optique ondulatoire on factorise les états stationnaires en fonctions à valeurs réelles alors qu'en mécanique quantique on le fait avec des fonctions à valeurs complexes. Pourquoi fait-on cela ?

Comment le paquet d'onde se propage-t-il ? Quelle est la différence avec un train d'onde. Décrivez l'expérience de Davisson et Germer.

Vous avez dit que de Broglie a émis son hypothèse pour le cas d'un système isolé, mais comment se fait ce qu'on puisse la vérifier vu que le système ne sera plus isolé en le mesurant ?

### Agrégation 2009 - Note : 11/20

Questions et commentaires du jury : questions sur les inégalités d'Heisenberg, j'avais fait un paragraphe sur Heisenberg et les paramètres atomiques du Cohen que j'avais pas bien compris. Principe de correspondance, importance de la mesure en MQ, interférences atomiques : pourquoi n'ont elles été obtenues que récemment ?

### Agrégation 2010 - Note : 08/20

Commentaires personnels : j'ai commencé par présenter les expériences historiques qui ont conduit à considérer l'aspect ondulatoire de la matière (interférences de neutrons notamment et expériences de Franck et Hertz). Le jury est revenu dessus. Je n'avais pas été assez clair sur la façon dont ces expériences illustraient l'aspect ondulatoire de la matière (je suis allé trop vite). On a ensuite parlé de la notion de cohérence pour les ondes de matière. Ma deuxième partie concernait la fonction d'onde, l'équation de Schrödinger . . . Le jour des résultats, je suis allé voir le jury, on m'a dit qu'il aurait été bienvenu d'illustrer l'utilisation de l'équation de Schrödinger sur un exemple simple, ce que je n'avais pas fait. J'ai terminé la leçon sur les inégalités de Heisenberg et je n'ai pas eu de questions particulières sur cette partie.

### Agrégation 2012

Quel est le rôle de la diffraction dans l'expérience d'Young ? Ordre de grandeur ? Et avec les grandeurs sur les électrons que vous avez considérés ? Est-ce réaliste ? Comment choisit-on la taille de la fente et pourquoi ? Date de De Broglie ainsi que des différentes expériences que vous avez présentées ? Quel a été la démarche de De Broglie ? Pourquoi avoir présenté De Broglie après ? Dans l'expérience de la diffraction sur le graphite, pourquoi voit-on les anneaux ? Pourquoi ne voit-on que le premier ordre ? Pourquoi voit-on deux anneaux ? Pourquoi les ondes se réfléchissent avec le même angle en sortie ? Comment vous l'expliqueriez devant une classe ? Comment on fait normalement pour étudier un cristal ? Pourquoi une fonction d'onde doit être normalisée ? Comment feriez vous pour montrer  $E = \hbar\omega$  et  $p = \hbar k$  pour le photon dans une classe ? Avez-vous fait une démonstration de Schrödinger ? Pourriez-vous expliquer votre démarche et pourquoi l'avoir fait comme cela ? Quelles sont les conditions pour avoir des interférences avec des électrons ? L'électron passe par les deux fentes... et si

je mesure par où il passe? Pourriez-vous l'expliquer à une classe facilement? Réexpliquer l'étalement du paquet d'onde. Il s'étale comme une statistique comme par exemple maxwell Boltzmann? Et avec des atomes? Peut-on avoir des longueurs d'ondes très grande avec des électrons? Si non, qu'est ce qui limite? Pourriez-vous expliquer la quantification? Quand le confinement est-il important? Avez-vous une interprétation physique de la vitesse de phase pour les ondes de matière?

### Agrégation 2014 - Note : 14/20

Questions sur les limites de la fonction d'onde, retour sur des choses qui leur ont paru peu claires lors de la leçon. Questions sur les manip présentées sur transparents (genre quelles tailles pour les fentes d'Young? c'est écrit dans le Basdevant).

### Agrégation 2014 - Note : 20/20

La préparation s'est bien passée (biblio assez facile : Pérez, Cohen, Badevant, Aslangul) et j'ai demandé la manip de diffraction des électrons, qui a bien fonctionné. Plan assez classique et plein d'ordres de grandeur. J'ai utilisé aussi le CD du Badevant pour les interférences de particules avec le dispositif des fentes d'Young. Donner les modifications à apporter pour la résolution d'un problème pour un système de particules? (modification de la fonction d'onde, ex pour une molécule polyélectronique; modif du Hamiltonien en prenant en compte les interactions) Donner les plus grosses particules avec lesquelles on a fait des interférences? Pour l'expérience des fentes d'Young, on voit la figure se dessiner selon la position sur l'écran., exemple d'expériences de figures de diffraction dans le domaine des impulsions? (Mach et Zehnder, en prenant un atome à deux niveaux, impulsion laser modifie l'impulsion de l'atome et on fait interférer en sortie, je ne savais pas répondre) Comment faire des interférences d'atomes? (il faut les refroidir, écrire la longueur d'onde de de Bröglie et dire qu'il faut mv faible, refroidissement laser)

## LP40 : Confinement d'une particule et quantification de l'énergie

### Rapports du jury

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

**2016** : Le lien entre le confinement et la quantification doit être explicité.

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Confinement de l'électron et quantification de l'énergie. Exemples. 47

**2011, 2012, 2013** : La justification des conditions aux limites est essentielle.

**2009, 2010** : Une justification physique des conditions aux limites adoptées est attendue.

**2008** : Le modèle de Bohr a maintenant une importance surtout historique. Il est évidemment possible de l'aborder mais il n'est pas un passage obligé pour aborder la quantification.

L'interprétation des principaux résultats de la théorie quantique de l'atome d'hydrogène est primordiale 44. Jusqu'en 2007, cette leçon était séparée en deux leçons distinctes : Puits de potentiel : exemples et applications en physique quantique. et Confinement de l'électron et quantification de l'énergie dans les atomes. Les commentaires du jury associés à ces deux titres ont été rassemblés pour les années antérieures.

**2007** : La quantification des niveaux d'énergie des atomes est évidemment un exemple important, mais pas unique. Noter que le modèle de Bohr peut être évoqué, en raison de son importance historique ou heuristique, mais qu'il n'est pas du tout un passage obligé pour aborder la quantification.

**2005** : Les notions de confinement et de discrétisation de l'énergie qui en découle doivent être dégagées. Le jury n'attend pas un exposé purement historique.

**2004** : Le candidat ne doit ni se limiter à un exposé historique purement qualitatif, ni se lancer dans des calculs non maîtrisés. En particulier l'étude quantique de l'atome d'hydrogène n'est pas indispensable 45. Trop souvent l'interprétation des expériences présentées n'est pas comprise. La résolution analytique du puits de potentiel doit être présentée de façon synthétique pour réserver une durée suffisante aux applications.

**2000** : Le modèle de Bohr ne peut être présenté sans en discuter les limitations.

**1999** : L'aspect historique peut être souligné mais l'étude quantique doit être abordée (sans pour autant développer les calculs) et illustrée d'exemples. Notons que la physique des hétérostructures à base de semiconducteurs offre des exemples simples de puits de potentiel que les candidats pourraient facilement traiter.

**1998** : Si les détails des calculs peuvent être omis, les bases de ceux-ci, ainsi que la signification physique des conditions aux limites imposées au système doivent être explicitées. Par ailleurs, le jury attend la présentation d'applications significatives et bien comprises.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 17/20

Retrouver la quantification du modèle de Bohr à partir de la relation de De Broglie. Détailler le calcul de la constante de normalisation de la fonction d'onde dans le puits de potentiel infini ; quels changements apporter si on tient compte de la masse finie du noyau ? Retrouver la distance moyenne entre électron et noyau pour l'orbitale 1s. Expliquer comment apparaît la quantification lors de la résolution de l'atome d'hydrogène. Connaissez-vous d'autres potentiels avec une quantification ? Expliquez la valeur limite de la série de Balmer, qu'est-ce qui se passe si le puits n'est plus infini ?

### Agrégation 2012 - Note : 15/20

Questions : Pouvait-on prévoir le fait que les solutions se répartissent en solutions paires et impaires ? Que se passe-t-il si le puits de potentiel n'est pas indépendant du temps ? Que se passe-t-il pour une particule dont l'énergie initiale est supérieure à celle du « haut » du puits ? Pouvait-on prévoir l'ordre de grandeur de l'énergie du premier niveau quantifié ? Est-ce que ces phénomènes sont purement quantiques ? Est-ce que le modèle d'un puits fini est bien adapté à l'atome d'hydrogène ? Commentaires du jury : Le jury m'a dit qu'il avait particulièrement apprécié la justification de la forme de la fonction d'onde aux limites du puits

de potentiel, et il aimerait que l'on insiste sur deux choses : (i) le fait que la quantification sort « naturellement » avec les relations de Heisenberg (on fixe  $\Delta x$ , ça nous donne l'ordre de grandeur pour  $\Delta p$  et donc pour l'énergie quantifiée), et (ii) le fait que le traitement que l'on fait n'a rien de quantique en soi, puisque la quantification est quelque chose qui sort dès qu'on a des phénomènes ondulatoires (et donc les analogies avec la physique classique sont les bienvenues).

### Agrégation 2014 - Note : 15/20

Questions : Vous avez dit que l'énergie de la particule ne peut pas être plus basse que le minimum du potentiel, pourquoi ? Il y a une explication dans le Aslangul si la fonction d'onde est réelle, je l'ai donnée. Oui, mais est-ce que la fonction d'onde est nécessairement réelle ? Non, elle peut être complexe. Et dans ce cas ? (apparemment dans ce cas on peut avoir une énergie plus basse que le minimum du potentiel mais il faut réinterpréter la fonction d'onde). Vous avez déjà entendu parler de l'équation de Dirac ? Qu'est-ce que ça implique l'équation de Dirac ? Commentaires du jury : Ils ont apprécié mon dynamisme, ma partie "cas général", l'application aux ions colorés (Basdevant Problèmes quantiques). Ils ont précisé qu'il faut faire attention, en traitant ma partie "cas général", de ne pas la rendre trop lourde. Il y a eu quelques imprécisions sur la continuité de la fonction d'onde, je n'ai pas été assez rigoureuse sur la justification des conditions aux limites (qui sont le coeur de la leçon). Je n'ai pas assez développé l'utilité du modèle des électrons confinés dans une boîte, donc comme en plus c'était dans la partie applications ça les a laissé un peu sur leur faim. Enfin, je n'avais plus que 5 minutes pour traiter l'atome d'hydrogène donc je l'ai fait beaucoup trop vite, du coup je n'ai pas suffisamment justifié ce que j'ai fait.

## LP41 : Effet tunnel

### Rapports du jury

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

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

**2014** : Même commentaire qu'en 2011, 2012, 2013, mais la dernière phrase sur le microscope à effet tunnel a été supprimée.

Jusqu'en 2013, le titre était : Effet tunnel. Applications.

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

**2009, 2010** : Une justification physique des conditions aux limites adoptées est attendue.

**2007, 2008** : Il est important de justifier les relations de continuité aux interfaces.

**2000** : Ces leçons conduisent parfois à des calculs très lourds. Afin de les minimiser, dans cette leçon, on pourra utiliser des considérations de symétrie.

**1998** : Si les détails des calculs peuvent être omis, les bases de ceux-ci, ainsi que la signification physique des conditions aux limites imposées au système doivent être explicitées. Par ailleurs, le jury attend la présentation d'applications significatives et bien comprises.

**1996** : Il existe, pour l'effet tunnel, d'autres applications que la microscopie et l'émission  $\alpha$  : il y en a aussi en physique de la matière condensée (les diodes tunnel, les super-réseaux, l'effet Josephson . . .).

## Retours d'oraux

### Agrégation 2012 - Note : 18/20

Connaissez-vous des manifestations macroscopiques de phénomènes quantiques ? (On m'a fait chercher des exemples jusqu'à ce que je mentionne la supraconductivité). Sur le calcul de la probabilité de transmission : comment convaincre un élève que la probabilité de transmission est le rapport des coefficients des deux ondes planes ? (Analogie avec la physique des ondes, il faudrait raisonner en terme de courant de probabilité). Comment justifier physiquement la continuité de la dérivée première de la fonction d'onde ? Pourquoi chercher des solutions de l'équation de Schrödinger stationnaire ? Comment peut-on interpréter l'effet tunnel avec les relations d'incertitude de Heisenberg temps-énergie ? Sur le microscope à effet tunnel : comment se fait le déplacement de la pointe du microscope à effet tunnel ? (À courant constant ou à hauteur constante). Comment faire si on n'a pas une surface conductrice ? Sur la molécule d'ammoniac : comment répondre physiquement à la question d'un élève qui ne comprendrait pas pourquoi on a une fonction d'onde antisymétrique bien que le potentiel soit lui symétrique ?

### Agrégation 2012 - Note : 15/20

autre technique que le microscope à effet tunnel pour sonder les surfaces et qui n'utilise pas les propriétés électriques des métaux ? Autre exemple où il y a autant d'écart d'ordres de grandeur j'avais présenté 1030 OG entre les temps de demie-vie de l'uranium et du polonium ? Expliquer pourquoi on fait l'approximation de barrière épaisse pour découper un potentiel quelconque, alors qu'on les fait tendre vers une épaisseur nulle ? Quelles conséquences si on considère un puits de potentiel au lieu d'une barrière de potentiel ? Est-ce incohérent avec la mécanique classique ? Dans la molécule de  $\text{NH}_3$ , pourquoi la fonction d'onde n'est-elle pas symétrique alors que le potentiel l'est ? Pourquoi la dérivée de la fonction d'onde est-elle continue aux bornes de la barrière de potentiel ?

## LP42 : Fusion, fission

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

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

**2013** : [À propos du nouveau titre] Le nouvel intitulé de cette leçon doit inviter les candidats à réfléchir à la physique sous-jacente aux phénomènes de fusion et fission nucléaires.

Jusqu'en 2013, le titre était : Le noyau : stabilité, énergie. Applications.

**2012** : Le modèle de la goutte ne peut être simplement énoncé. Le candidat qui ferait le choix d'en parler doit commenter la physique inhérente à chaque terme du modèle. Cette leçon ne peut se réduire à un catalogue d'informations diverses et variées, mais les candidats doivent dégager du temps pour les applications.

**2011** : Le modèle de la goutte ne peut être simplement énoncé. Le candidat qui ferait le choix d'en parler doit commenter la physique inhérente à chaque terme du modèle. Cette leçon ne peut se réduire à un catalogue d'informations diverses et variées.

**2009, 2010** : L'énergie est un point central et les applications ne doivent pas être traitées trop rapidement en fin de leçon.

**2008** : Les applications doivent être envisagées. Parmi elles, figure l'énergie nucléaire, qu'il paraît difficile de ne pas aborder.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 15/20

Pourquoi découpe-t-on le modèle de la goutte liquide en la somme d'une contribution de volume et d'une contribution de surface ? Comment calcule-t-on le terme proportionnel à  $Z(Z - 1)$  ? Pourquoi la courbe  $B/A$  en fonction de  $A$  n'est elle pas « bien lisse » ?

### Agrégation 2010 - Note : 06/20

Connaissait-on déjà le noyau d'hélium dans l'expérience de Rutherford ? Quel est le rôle des électrons ? Pouvez-vous développer et donner une expression mathématique des forces nucléaires que vous avez présenté ? Ensuite ils ont décortiqué chaque terme de la formule de Weizsaecker que j'avais expliqué sur transparent. Retrouver la forme du terme électrostatique (avec la force de Coulomb). Expliquer le terme de surface (j'ai fait un lien avec la force de tension superficielle et son origine). Comment pouvait-on prévoir qu'on allait récupérer une énorme quantité d'énergie avec la fission ?

Commentaires personnels : première des choses, j'ai été un peu surpris qu'il n'y ait aucun livre de terminale S ni de vieux livres de terminale C et E dans lesquels j'avais trouvé plein d'applications, j'ai dû chercher dans d'autres bouquins, et j'ai perdu un peu de temps du coup. Je n'ai pas eu le temps de traiter la fusion et les applications médicales ont été rapidement abordées en conclusion. Ensuite, si j'ai un conseil à donner c'est vraiment de faire des choses simples qu'on maîtrise et j'ai senti que j'étais un peu juste sur les forces nucléaires et le modèle de la goutte liquide et le jury l'a ressenti aussi.

### Agrégation 2011 - Note : 11/20

Commentaires personnels : Ils ont commencé par revenir sur ma définition de la section efficace et la section efficace différentielle (qui n'était pas bonne et que je n'ai pas réussi à donner juste, c'est principalement ce qui fait baisser ma note d'après les commentaires du jury). J'ai parlé d'utilisation en cosmologie des éléments lourds, d'où viennent-ils ? (j'avais dit que la fusion ne se faisait pas pour ces éléments, j'ai donc argumenté sur l'énergie sans doute suffisante dans une étoile . . .). La désintégration alpha, en parler plus ? (j'ai parlé de la théorie de Gamov, l'effet tunnel, l'existence présupposée de la particule alpha, la forme du potentiel) Dans le terme d'assymétrie, on a des puits, pourquoi les nucléons ne sont pas tous au fond ? (ce sont des fermions) Dans le terme d'assymétrie, j'ai dit que  $\Delta E$  était proportionnel à  $1/A$ , pourquoi simplement ? (j'ai dit que c'était un calcul quantique de largeur de puit que je ne saurais pas refaire simplement comme ca...) Les proportions relatives d'isotopes sur Terre sont 25retrouverait la même chose sur une autre planète ? La vallée de stabilité, qu'est-ce que c'est exactement ? Ca veut dire qu'on ne peut pas être ailleurs ? Globalement ils ont aimé, j'ai été claire bien que rapide. Je pensais payer le fait d'être passée très vite sur les applications, apparemment, ce qui m'a surtout coûté cher c'est la section efficace que je n'ai pas su expliquer proprement.

### **Agrégation 2014 - Note : 13/20**

J'ai été rapide sur les réactions en chaîne, du coup ils m'ont demandé de détailler un peu plus. J'ai eu des questions sur l'interaction forte, sur le médiateur de l'interaction forte, sur la radioactivité, sur le rayon critique avec ODG, sur les différents types de confinement du plasma, sur comment fabriquer une bombe nucléaire, sur pourquoi le proton et le neutron ont des masses différentes, etc. Au final, le jury m'a dit que je m'en étais bien tiré, que c'était une LP casse-gueule où ils pouvaient toujours trouver une question pour nous enfoncer. Agrégation 2014 - Note : 12/20 Comment fonctionnent les confinements magnétiques et inertiels ? Sur quelle force repose le confinement magnétique ? Dans quels centres de recherche l'une ou l'autre de ces méthodes est-elle employée ? Pourquoi faut-il un temps de confinement de 1 ou 2 s ? La première fission, réalisée par Fermi, dégageait quelques kW, qu'en pensez-vous ? Pourquoi les expériences actuelles de développement de la fusion sont-elles de dimension beaucoup plus grandes que celle de Fermi ? Qu'est-ce qu'une section efficace ? Sur quelle condition nécessaire de la fusion intervient-elle ? Le modèle de la goutte liquide est-il suffisant pour tout expliquer ? Sur quoi repose-t-il ? Quelles sont ses limites ? Modèle semi-empirique. Quels termes de l'expression de l'énergie de liaison de Bethe-Waiszecker permet-il d'expliquer ? D'où viennent les autres termes ? Que signifie que le noyau d'uranium est dans un état excité ? Peut-on faire une analogie avec l'excitation d'un atome et les niveaux électroniques ? Comment voir les niveaux d'énergie du noyau ? Vous avez supposé dans le calcul d'ODG pour l'énergie cinétique des neutrons thermiques une température de  $10^6$ K. Que représente-t-elle ?

## **LP43 : Évolution temporelle d'un système quantique à deux niveaux**

### **Rapports du jury**

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

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

Jusqu'en 2014, le titre était : Oscillateurs à deux degrés de liberté en mécanique classique et en mécanique quantique.

Jusqu'en 2013, le titre était : Oscillateurs à deux degrés de liberté en mécanique classique : modes propres. Systèmes à deux niveaux d'énergie en physique quantique. Analogies et différences.

**2009, 2010** : Le phénomène de battement (comme son analogue quantique) est au coeur de la leçon.

**2005** : La notion de mode propre doit être parfaitement maîtrisée.

**2002** : Trop souvent les leçons privilégient la partie classique par rapport à la partie quantique. Différences et analogies sont rarement mises en lumière.

**2000** : Dans la partie relevant de la mécanique classique, il n'est pas utile d'envisager le cas le plus général, l'important étant de dégager les effets physiques avec un minimum de calculs. Les aspects énergétiques méritent d'être considérés. Il faut réserver un temps suffisant pour traiter le point « analogie et différences ». Bien que couramment utilisé comme exemple de système quantique à deux niveaux, l'inversion de l'ammoniac est un exemple délicat, car le terme de couplage  $y$  est difficile à interpréter physiquement. On peut trouver d'autres systèmes à deux niveaux, plus simples à présenter.

**1999** : Le choix du système quantique à traiter doit être bien réfléchi. Les candidats doivent être conscients que le couplage par effet tunnel est délicat à traiter. Il faut bien prendre le temps de dégager les analogies et les différences des systèmes classiques et quantiques.

**1997** : La notion de mode propre doit être définie avec précision.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018

Quelques questions posées : - Pertinence du corps noir dans cette leçon ? - Peut-on réaliser une inversion de population lorsque l'on a deux niveaux ? - Lien entre absorption et émission pour le corps noir ? (je n'ai pas compris où ils voulaient en venir) - Questions sur quelques problèmes d'homogénéité dans mes formules - Questions sur les profils de raie, doppler, chocs, Voigt, etc. - Émission stimulée, deux photons identiques, pas incompatible avec Pauli ?

### Agrégation 2016

Vous avez parlé des postulats de la mécanique quantique. C'est quoi ? À quoi servent-ils ? D'où vient l'expression du ket dépendant du temps comme combinaison linéaire des états propres pondérés par les exponentielles ?

Vous avez parlé de « résonance », en quoi est-ce une résonance ?

Vos exemples portaient sur des systèmes forcés ou pas ?

Discussion sur les niveaux d'énergie dans l'exemple de l'ammoniac.

Pouvez-vous nous réexpliquer, l'approximation du système à deux niveaux dans le cas de l'ammoniac ?

Comment et pourquoi passe-t-on d'un puits à l'autre dans l'exemple de la molécule d'ammoniac ?

Qu'est-ce qu'un état fondamental ?

Que représentent les angles  $\phi$  et  $\theta$  introduits ? À quels paramètres sont-ils liés ?

Remarques du Jury :

Leçon bien construite.

Attitude dynamique, c'est bien !

Exemples traités proprement.

Quelques passages flous, les questions ont surtout porté dessus.

### **Agrégation 2016**

Donner l'équation de Schrödinger

Quelle formulation est la plus générale : dépendante ou indépendante du temps ?

Qu'est-ce qu'un état stationnaire ?

Qu'est-ce qu'une perturbation ?

Comment s'écrit l'énergie potentielle d'une particule dans un champ électrique en classique ?

Que représente physiquement le  $\delta$  du moment dipolaire ?

Comment visualiser l'évolution temporelle d'un système quantique ?

### **Agrégation 2008 - Note : 11/20**

pourquoi, au bout d'un certain temps, un système d'oscillateurs couplés se met dans le mode de vibration symétrique (oscillations en phase) ? En mécanique quantique, quelle est l'origine du couplage entre les deux puits ? Commentaires personnels : j'ai choisi le système de 4 ressorts couplés, en en gardant 2 libres pour illustrer la leçon, c'était un point positif. Il semble important pour le jury de définir un mode propre comme une manière particulière qu'ont les oscillateurs de vibrer : elle est harmonique et on a une relation particulière entre les amplitudes des deux oscillateurs : par exemple  $a_2 = -a_1$  pour le mode de vibration antisymétrique. Il faut bien insister, au fur et à mesure qu'on les rencontre, sur les analogies et différences entre les deux, et c'est pertinent de faire un tableau récapitulatif à la fin.

### **Agrégation 2010 - Note : 10/20**

Questions : comment obtient-on le jeu d'équations différentielles pour les pendules ? Obtention de l'expression de l'énergie des pendules ? Est-ce que les modes propres en mécanique classique et les états propres en mécanique quantique représentent la même chose ? Quelles hypothèses pour pouvoir négliger le déplacement vertical des pendules ? Comment justifier l'approximation de Born-Oppenheimer ? Pourquoi chercher la solution sous forme de combinaisons linéaires des solutions des systèmes découplés ? Est-ce que c'est exact ? Définition d'un mode propre ? Influence du couplage dans les deux systèmes ? À quelle condition on observe des battements ? Comment fonctionne le logiciel videocom utilisé ? Pas de gros défauts selon le jury mais quelques raccourcis un peu rapides (j'ai posé les solutions), pas assez de temps passé sur la dernière partie analogies/différences (j'ai fait un transparent), il faut bien

insister sur la notion de mode propre et bien exploiter dans la partie quantique les analogies avec la partie classique. Commentaires personnels : j'ai commencé par perdre 20 min à retrouver le BUP sur BupDoc (il faut vraiment apprendre les numéros . . .). En préparant la leçon pendant l'année j'avais beaucoup hésité à traiter H+2 ou le spin 1/2 et le doute est revenu pendant la préparation, ça m'a fait perdre un peu de temps. Le jury m'a collé sur ce que je savais ne pas être au point (expression de l'énergie, validité de Born-Oppenheimer, fonctionnement de videocom). Les techniciens m'ont monté la manip, réglé l'alignement des ressorts, cherché comment faire la FFT etc, j'ai pas perdu de temps sur les manips.

### Agrégation 2012

- Comment expliquer de manière rigoureuse (sans utiliser les symétries du problème) que la fonction d'onde en mécanique quantique et la fonction déplacement en mécanique classique puissent se décomposer en une partie symétrique et une partie antisymétrique ?
- Qu'en est-il pour la fonction d'onde d'un système de particules indiscernables ?
- Peut-on traiter le problème de la molécule d'ammoniac en utilisant la théorie des perturbations ?
- Lors de la levée de dégénérescence des niveaux d'énergie de la molécule d'ammoniac, l'énergie moyenne des deux niveaux est plus basse que l'énergie du niveau de départ. Pourquoi ? Ce phénomène existe-t-il en mécanique classique ?
- Comment mettre en évidence par l'algèbre linéaire l'existence d'un mode symétrique et d'un mode antisymétrique en mécanique classique ?
- Comment obtenir par la même méthode (algèbre linéaire) l'énergie des niveaux non dégénérés de la molécule d'ammoniac ?
- Sur l'enregistrement des battements des pendules couplés (sur synchronie) on observe un autre phénomène (décroissance) à quoi est-il dû ?
- Quel type de frottement est-ce ? Comment le savoir ?
- Par un enregistrement comment savoir si on observe un seul mode ou les deux modes ?
- Quelle est la quantité échangée entre les deux pendules couplés lors d'une oscillation quelconque ?
- Quelle est la quantité échangée dans le cas de la mécanique quantique ?
- Vous avez dit : « en mécanique quantique c'est la fonction d'onde qui oscille entre les deux niveaux d'énergie ». Quelle est la quantité qui oscille en mécanique classique ?
- La fonction d'onde n'est-elle pas l'équivalent quantique de la position du système classique ?

## LP44 : Capacités thermiques : description, interprétation microscopique

### Rapports du jury

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

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

**2006, 2007, 2008** : Cette leçon ne doit pas se limiter à un long exposé de méthodes calorimétriques mais laisser une place importante aux modèles microscopiques. Les capacités thermiques sont définies à partir des dérivées partielles de l'entropie ou de l'énergie interne.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 08/20

Questions sur les définitions des capacités thermiques, ré-explications des méthodes de mesures, questions de « culture générale » sur les capacités des gaz et des solides, éclaircissement sur le modèle d'Einstein.

### Agrégation 2009 - Note : 11/20

Questions sur le modèle du gaz parfait, la notion de particules ponctuelles, le passage à Van der Waals et le covolume. Autres questions sur les limites quantiques du théorème d'équipartition. Questions sur les degrés de liberté dans les gaz parfaits polyatomiques : par exemple pourquoi deux degrés de liberté de rotation et seulement un seul de vibration ? Le jury a trouvé le sujet très bien maîtrisé, mais pense que la leçon était trop ambitieuse. Question temps, ils n'ont pas reproché le déséquilibre entre les parties. Ce qui les a embêtés, c'est que je suis allé trop vite sur les hypothèses pour le gaz parfait. En fait, ils auraient voulu voir moins de calculs : un fait de A à Z, mais j'aurais pu zapper les autres à condition de les poser très soigneusement

## LP45 : Paramagnétisme, ferromagnétisme : approximation du champ moyen

### Rapports du jury

**2011, 2012, 2013** : Le moment magnétique, son image semi-classique et son ordre de grandeur doivent être maîtrisés. De même, le lien avec l'ordre de grandeur de l'aimantation d'un aimant doit être connu.

**2009, 2010** : L'origine microscopique de l'interaction d'échange doit être discutée. L'influence de la température sur les propriétés magnétiques est au cœur de la leçon.

**2006** : Il s'agit ici de présenter une interprétation microscopique du paramagnétisme et du ferromagnétisme.

Jusqu'en 2002, le titre était : Paramagnétisme. Approche du ferromagnétisme dans l'approximation du champ moyen. Température critique.

**2001** : Il convient de conserver du temps pour discuter du modèle du champ moyen lors de l'étude du ferromagnétisme.

**1999** : On doit faire ressortir l'aspect phénoménologique du champ moyen. Cette leçon est une occasion de faire apparaître les propriétés essentielles d'une transition de phase.

**1997** : L'expérience du clou chauffé au-dessus de la température de Curie n'est pas la seule illustration possible du ferromagnétisme. Il serait par exemple souhaitable que les candidats manipulent des ferrofluides et puissent citer des applications dans le domaine de l'enregistrement magnétique.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note : 20/20

Questions : - Quelle est l'origine physique du facteur de Landé ? Avez-vous déjà entendu parler du couplage spin-orbite ? Le facteur de Landé apparaît-il dans l'expression du magnéton de Bohr (suite à une erreur de ma part, qui le faisait effectivement figurer) ? Comment l'estime-t-on ? - Comment se traduit la transition de phase para/ferro en terme de potentiel thermodynamique ? - Qu'est-ce que le diamagnétisme ? - Comment mesure-t-on, en pratique, la susceptibilité paramagnétique des matériaux solides ? Et liquides ? - Quel est l'ordre de la transition para/ferro ? - Qu'est-ce que le "champ moléculaire" ? - Quelles sont les applications des matériaux ferromagnétiques, autres que la boussole (dont j'avais déjà parlé en introduction) ? Comment classe-t-on les matériaux ferromagnétiques ? Dans les transformateurs, on utilise quelle catégorie, et pourquoi ?

### Agrégation 2010 - Note : 16/20

On m'a demandé de revenir sur l'approximation de champ moyen et de préciser de quelle moyenne il était question. Quelle est la grosse différence entre les matériaux ferromagnétiques et paramagnétiques ? J'ai parlé de la constante de couplage lors de l'étude du ferromagnétisme et je l'avais choisie positive pour le raisonnement. On m'a demandé l'origine de cette constante de couplage et son signe. Dans quel cas peut-elle être négative ? Donner des ordres de grandeurs des susceptibilités magnétiques. J'avais choisi la résolution graphique pour l'étude de l'aimantation induite des corps ferromagnétiques, on m'a demandé s'il était possible de faire autrement. D'autres petites questions ont porté sur la définition de l'énergie interne, de l'énergie libre, de différentes formules de physique statistique. On m'a questionné ensuite sur les domaines de Weiss. Pourquoi a-t-on besoin d'un microscope polarisant pour les observer ? Quels sont les propriétés optiques des milieux ferromagnétiques ? Commentaires personnels : j'ai voulu réaliser deux expériences : l'observation des domaines de Weiss et la transition ferro/para. Je n'ai pas eu le temps de faire la seconde en live. Par contre, j'ai l'impression qu'ils ont aimé l'observation des domaines de Weiss. Les techniciens ont été super !

## LP46 : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques

### Rapports du jury

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

**2016** : Un bilan de puissance soigné est attendu.

Jusqu'en 2013, le titre était : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques. Applications.

**2009, 2010** : L'intérêt du champ  $\vec{H}$  doit être clairement dégagé. L'obtention expérimentale du cycle d'hystérésis doit être analysée.

**2005** : Les dispositifs expérimentaux utilisés au cours de cette leçon doivent être parfaitement maîtrisés. Il existe bien d'autres applications que le transformateur idéal.

Jusqu'en 2004, le titre était : Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques : applications aux circuits magnétiques.

**2001** : Il faut consacrer du temps aux applications (stockage des données, transformateurs, électroaimants, . . .) en justifiant l'adéquation du type de matériau ferromagnétique à la fonction visée.

**1999** : Les intensités, les forces électromotrices et les flux doivent être donnés de manière algébrique. Les diverses sources de pertes doivent être mentionnées. Il est souhaitable de distinguer plus nettement les domaines d'application des ferro doux et des ferro durs (par exemple pourquoi une tête de lecture est-elle en ferro doux alors que le support d'enregistrement est en ferro dur?).

**1998** : Quelques notions sur les aimants permanents seraient les bienvenues. Par exemple : le point représentatif du matériau d'un aimant permanent se situe dans le deuxième (ou le quatrième) quadrant de son cycle d'hystérésis de jeux de variables (B, H) : pour obtenir un champ magnétique donné dans un entrefer de volume donné, le volume du matériau magnétique utilisé est minimal lorsque la quantité  $\vec{B} \times \vec{H}$  est maximale, l'aimantation n'ayant pas, alors, sa valeur rémanente.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2009 - Note : 11/20

Comment obtenir expérimentalement la courbe de première aimantation ? Pourquoi dans le circuit intégrateur du transfo mettre une résistance en parallèle de la capacité ? Comment avez-vous choisi le nombre de spires ? Comment désaimanter un matériau magnétique ? Comment s'interprète la température de Curie paramagnétique ? Quelle est la différence entre les ferrimagnétiques et les ferromagnétiques ayant deux types d'atomes différents ? Ordre de grandeur de l'aimantation rémanente du fer ? L'évaluer sachant qu'on ne peut imposer un champ supérieur à 1 T ? Citer d'autres phénomènes d'hystérésis. Disparition de l'aimantation pour  $T > T_{sat}$ . Comment  $T_{sat}$  est elle reliée à  $M_{sat}$  ? Les techniciens ont tout monté. Il y avait deux profs et deux techniciens au moment critique du montage de cycle d'hystérésis (2h pour le monter). Comme ils n'y arrivaient pas, ils ont utilisé la pince dont ils n'ont pas su m'expliquer le fonctionnement et sur laquelle je me suis faite piéger. Les techniciens et profs préparateurs sont sympas. Les membres du jury se sont systématiquement déplacés pour chaque expérience (domaines de Weiss, hystérésis, température de Curie).

### Agrégation 2011 - Note : 13/20

Comment calculer le champ magnétique créé par deux aimants permanents ? Est-ce la somme des champs créés par les deux aimants ? Pouvez-vous représenter le schéma de votre dispositif expérimental (celui permettant de tracer à l'oscillo le cycle d'hystérésis d'un tore de fer doux) au tableau ? Comment obtenez-vous B et H ? Que sont les domaines de Weiss ? Comment expliquer leur répartition spatiale ? Vous avez dit que les matériaux ferromagnétiques guident les lignes de champs, comment expliquer ce phénomène ? Quelle caractéristique ( $\mu_r$ , aimantation rémanente, champ coercitif) influe de manière prépondérante sur le guidage ? Dans quel but avez-vous présenté l'expérience des domaines de Weiss ? Juste après l'ouverture des sujets, on procède à un premier choix des livres que l'on va consulter. Il est bon d'avoir précédemment repéré l'emplacement des livres au cours des horaires de visite prévues à cet effet.

### Agrégation 2012 - Note : 18/20

La préparatrice était vraiment super sympathique! Bien que connaissant assez peu le matériel et les manips que je voulais monter, elle a vraiment été aux petits soins et je pense que si on est sympa avec les technicien(ne)s, on y gagne vraiment! J'ai pu avoir tout le matériel de l'ENS Lyon (tores de fer doux et ferrites) et les amplis sans le moindre problème. Un jury très bref, qui n'a posé de questions que pendant 15 minutes... Comment fonctionnent les résistances dont la résistance varie lors de la variation d'un champ? Quel matériau utilise-t-on alors dans les transformateurs? Comment éviter les courants de Foucault? Démontrez rapidement que l'aire du cycle correspond à un travail perdu.

### Agrégation 2014 - Note : 15/20

Expliquer qualitativement d'où vient la formule  $\vec{j}_{lié} = \vec{r} \otimes \vec{M}$ . Comme j'avais négligé les courants dans le circuit secondaire sur le montage pour tracer le cycle d'hystérésis, il m'a demandé d'expliquer cette approximation (courants faibles dus à l'amplificateur opérationnel). Pourquoi observe-t-on les domaines de Weiss au microscope polarisé (effet Faraday)? À quoi sont dues les irrégularités sur la courbe de première aimantation (aux défauts du matériau qui "fixent" les parois de Bloch)? Pourquoi n'observe-t-on plus l'aimantation à hautes températures, quelles sont les grandeurs en compétition?

### Agrégation 2014 - Note : 07/20

Provenance de l'hystérésis? Qu'est-ce que la reluctance? Comment faire sentir pédagogiquement le lien entre le sens du courant et la direction du champ induit? D'autres applications de l'aimantation? (J'avais parlé des aimants et du paléomagnétisme).

### Agrégation 2018 - Note : 13/20

Comment faire comprendre qualitativement à un étudiant que ce sont des charges liées et non libres qui sont responsables de l'apparition d'un dipôle? Comment expliquer que  $M_{sat}$  aie toujours a peu près la même valeur? Quand est-ce que l'on préfère utiliser un ferro doux ou un ferro dur? Loi de Lenz et loi de Faraday?

## LP47 : Mécanismes de la conduction électrique dans les solides

### Rapports du jury

**2017** : Cette leçon ne concerne pas que la conduction dans les métaux.

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

Jusqu'en 2013, le titre était : Mécanismes de la conduction électrique. Loi d'Ohm. Effet Hall. Applications.

**2009, 2010** : Dans cette leçon, il est important de bien distinguer les grandeurs microscopiques et les grandeurs moyennes.

**2008** : La conduction électrique dans les semi-conducteurs est en général présentée de manière très approximative.

**2001** : Si l'on utilise le modèle de Drude, on s'efforcera d'en préciser les limites. Une approche probabiliste peut être envisagée. La théorie quantique de la conduction peut être évoquée.

**1997** : Il est inadmissible de laisser croire à des élèves que le modèle de Drude, si respectable et si utile soit-il, s'applique réellement aux métaux et de ne pas évoquer les limites du modèle imposées par la mécanique quantique et le principe de Pauli. La confusion entre force de Lorentz et force de Laplace n'est pas davantage admissible.

**1996** : Trop peu de candidats réalisent que la relation  $j = \rho v$  est une définition de la vitesse d'ensemble  $v$ , plutôt que de  $j$ . Par ailleurs, trop de candidats se figurent que le modèle de Drude est une description suffisante de la réalité microscopique.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 17/20

Vous avez dit que le champ  $E$  ne devait pas être « trop grand », ça veut dire quoi ? Quelle valeur ? Votre modèle de conduction électrique avec des chocs : à quoi correspond votre temps  $\tau$  ? Est-il directement transposable à votre exemple sur la conductivité des solutions chimiques ? Comment évolue la conductivité molaire ionique en fonction de la taille de l'ion ? Si on considérait les électrons dans le métal comme un gaz, comment peut-on évaluer leur vitesse ?

### Agrégation 2009 - Note : 13/20

Essentiellement des questions sur la théorie des bandes et les semi-conducteurs : comportement de la conductivité en fonction de la température pour les métaux et les semiconducteurs. Que veut dire conduction par des trous ?

### Agrégation 2009 - Note : 13/20

Quelle est la vitesse dans le modèle de Drude ? Et dans l'effet Hall ? Pour l'expérience sur l'effet Hall, avez-vous choisi délibérément une plaquette avec un semi-conducteur ou est-ce celle qu'on vous a apporté ? Les électrons subissent des collisions, avec quoi se produisent-elles dans un monocristal parfait ? Comment peut-on mesurer le temps de relaxation  $\tau$  ? Validité de la loi d'Ohm ? Est-il possible que  $\vec{j}$  et  $\vec{E}$  ne soient pas colinéaires ? Qu'est-ce qu'un matériau anisotrope ? Peut-on provoquer l'anisotropie dans un matériau ? Dans le modèle des bandes présenté sur le carbone, quelle est l'hybridation des orbitales atomiques ? (J'ai présenté le modèle des bandes comme cela est présenté dans « Introduction à l'électronique » de Donnini et Quaranta). J'ai parlé du carbone pour lequel à la distance interatomique du cristal on a création, pour  $N$  atomes ayant chacun 4 électrons de valence (2 dans une orbitale 2s et 2 dans les 3 orbitales 2p), de 2 bandes de  $4N$  niveaux d'énergie (une bande de valence et une bande de conduction séparées par une bande interdite) : les  $4N$  niveaux de la bande de valence sont remplis et la bande de valence est vide : il s'agit dans ce cas de la structure du

diamant (isolant) pour lequel on a une hybridation  $sp^3$  (géométrie tétragonale). Dans le cas du graphite, on aurait une hybridation  $sp^2$  (le graphite est constitué de feuillets d'hexagones). Connaissez-vous l'ordre de grandeur de la magnétorésistance pour un conducteur ou un semi-conducteur ? Pouvez-vous donner un ordre de grandeur pour le gap du Si ?

### Agrégation 2013 - Note : 17/20

Est-il légitime de négliger les interactions électromagnétiques entre les particules dans un métal ? En mécanique quantique, les électrons doivent ils être considérés comme des particules ? Vous avez négligé la force magnétique et vous avez dit qu'elle était 1010 fois inférieure à la force électrique, comment le justifiez-vous ? Il m'ont ensuite demandé de plutôt majorer le champ magnétique mais j'ai pas tout compris, peut-être que le Ashcroft apporte des précisions. Si on garde comme expression de la conductivité  $\gamma_0$  (c'est à dire en régime permanent) et qu'on essaye de propager une onde dans un fil qu'est ce qui se passe ? Connaissez-vous un autre effet qui rentre en compte ? Supraconducteur ? La loi d'Ohm est-elle encore valable ? Loi équivalente pour les supraconducteurs ? Pour illustrer l'effet Hall, vous avez pris un conducteur long dans le sens du courant et étroit dans l'autre sens (un rectangle quoi). Si on fait cela dans l'autre sens en prenant quelque chose de très long pour pas avoir d'accumulation de charges et très court dans le sens du courant pour que les électrons soit absorbés de suite, qu'est-ce qui se passe ? Quel est cet effet ? Effet Hall quantique ? Soudures de la sonde de Hall qui ne sont pas forcément en face, comment on fait ? Comment le constructeur fait-il pour corriger ce problème ? Vous avez un bouton réglage du zéro sur le dispositif, il sert à quoi ? Ils ont regardé mes livres pendant la présentation et ont apparemment apprécié que j'utilise le BUP 550.

### Agrégation 2014 - Note : 04/20

Comparez les ordres de grandeur de l'énergie de répulsion entre électrons et de leur énergie d'interaction avec le champ électrique extérieur. Appliquer une statistique de Maxwell-Boltzmann aux électrons revient-il à les assimiler à un gaz parfait ?

## LP48 : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique

### Rapports du jury

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

**2010** : L'analyse du seul circuit RLC est très insuffisante pour cette leçon. Le phénomène de résonance ne se limite pas aux oscillateurs à un degré de liberté.

**2009** : L'analyse du seul circuit RLC est très insuffisante pour cette leçon.

**2008, 2007** : Le jury regrette que les cavités résonnantes soient rarement présentées.

**2006** : L'aspect énergétique de la résonance est ignoré la plupart du temps. Trop souvent, la notion même de résonance n'est liée qu'à l'existence d'un maximum d'amplitude. Les applications dans le domaine microscopique sont rarement abordées.

**2003** : La leçon porte sur l'étude de phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique. Le candidat ne doit pas se limiter à l'électricité et à la mécanique. Il doit prendre soin de dégager les propriétés communes aux différents exemples présentés. Quel lien y a-t-il entre le circuit RLC et la résonance du sodium ?

Jusqu'en 2001, le titre était : Phénomènes de résonance dans les systèmes linéaires. Exemples.

**1998** : Il est bien entendu nécessaire d'insister sur la généralité du phénomène de résonance en physique et de ne pas cantonner l'exposé à un domaine unique (mécanique ou électricité). Les relations entre le comportement des systèmes forcés et les propriétés des mêmes systèmes, libres, doivent être soulignées, de même que les aspects énergétiques des phénomènes de résonance.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2016 - Note : 11/20

L'incontournable : «Vous n'avez utilisé que des signaux excitateurs sinusoïdaux, il y a une raison à cela?» -> Un signal quelconque peut se décomposer en somme de signaux sinusoïdaux, blabla.

«Il n'y a pas des hypothèses à faire pour que ça marche?» -> Linéarité du système.

«Si jamais je prends la tension au borne de la capacité au lieu de la résistance : Kes-kisepasse?» -> Il y a un pic de tension pour une valeur de pulsation inférieure à la pulsation propre du système, mais ce n'est pas vraiment une résonance selon ma définition, vu qu'aucune énergie n'est transférée à la capacité en moyenne sur une période. (D'ailleurs, ce maximum n'existe qu'avec une condition sur Q)

«Si jamais je change votre circuit RLC, ici en série, que je prends les composants en parallèle ou autre : ça change la pulsation propre ? Le facteur de qualité ?» Euh, ptèt, ptèt pas, faudrait faire les calculs.

«Dans l'électron élastiquement lié, vous avez dit que l'électron était soumis à un frottement visqueux, précisez.» -> Blablabla. J'avais déjà précisé pendant la leçon, mais ils devaient dormir.

«C'est quand même bizarre cette force harmonique, l'électron devrait plutôt être soumis à un force coulombienne, non ? Vous répondez quoi à élève qui vous poserait cette question ?» -> J'ai d'abord dit que dans un cadre purement classique, on pouvait justifier ça avec le modèle de Thomson, mais sinon, il faut sortir de la mécanique quantique pour quelque chose de plus rigoureux et juste. Ça ne les a pas convaincus. (cf. la suite)

«Je me permet d'insister sur la question de mon collègue : vous répondez quoi à cet élève ?» Mais euuuuuuuuh.

«Sinon, vous avez dit qu'il y avait des résonances optiques dans le sodium : ça veut dire que c'est les seules qui existent ? Et les résonances IR pour la vibration ? C'est les seules ?» Sur le coup, je n'ai pas très bien compris le sens profond de la question et j'ai tourné autour du pot. Je crois que c'était une question pour savoir si j'étais un grand fan de spectroscopie.

«L'électron est non relativiste dites-vous, est-ce que vous avez un moyen de déterminer un odg de sa vitesse de manière classique ?» Gros trou. J'ai eu l'impression de perdre 5 points d'un coup pour ne pas savoir répondre à cette question.

«Je me permets de vous poser à nouveau la question de mes collègues, vous répondez quoi à un élève qui...» Mais arrêteeeeeeeeeez.

«Sinon, pour le système à deux degrés de liberté, vous avez choisi un système à deux ressorts : il y a une application à ce système?» Non, j'emmerde les applications.

«Sinon, vous avez dit que la corde fixée à deux extrémités avait un nombre infini de degrés de liberté : komensa?» on divise la corde en une infinité de petits bouts qui constituent plus ou moins des systèmes à un degré de liberté!

L'idée était de présenter la résonance (en intensité) avec l'exemple du RLC pour définir de manière précise la résonance en terme de transfert d'énergie (J'ai laissé totalement tomber la discussion sur la phase vu que j'ai considéré que ce n'était pas une caractéristique d'une résonance, ils me l'ont pas reproché, donc...). À la fin de la première partie, de faire une analogie avec la résonance (en vitesse) du système masse-ressort, histoire de dire «C'est trop cool, ça marche partout.». Puis en II) décrire les résonances atomiques avec l'électron élastiquement lié, puis qualitativement les résonances dues aux degrés de vibration en ouvrant sur la spectroscopie IR (Wah, c'est utile en chimie!). Puis la dernière partie était là pour faire passer le message «Ya autant de pulsation de résonance que de degré de liberté», histoire d'ouvrir ensuite sur les cavités résonantes ou de les développer si ya le temps. (J'ai eu la flemme)

Remarque de quelqu'un : Un potentiel harmonique, c'est toujours une limite de mouvements faibles par rapport à l'équilibre. L'électron va à une vitesse = taille de l'atome \*  $\omega_0 \sim 10^{-10} * 10^{16} = 10^6 \ll c$ . Ça doit correspondre à dire que l'amplitude du mouvement est petite devant la longueur d'onde du champ, soit encore que la partie magnétique de la force de Lorentz est négligeable.

Je n'étais vraiment pas confiant à la sortie de l'oral vu que j'avais eu dès le départ un bug de 1 minute sur l'établissement de l'équa diff d'un RLC (commencer à 5h30, c'pas la joie)... Mais finalement, la note n'est pas si catastrophique. Apparemment, ils ont apprécié mon dynamisme, mais il y avait certaines longueurs dans l'exposé qui m'ont un peu desservi. J'ai demandé ce qu'il fallait répondre à la question de l'origine de la force harmonique. Coup de théâtre : «Ah mais il y avait pas de réponse attendue. Faut juste que vous soyez préparé à ce genre de question chiantes des élèves, hein!»

### **Agrégation 2012 - Note : 15/20**

À propos du Fabry-Pérot : comment améliorer un coefficient de réflexion? À propos de la corde de Melde : physiquement, où se trouve la dissipation? Citer d'autres types de dissipation, autre qu'en dérivée première. Influence des non-linéarités? À quoi servent les résonances? Comment les éviter? Comment s'affranchir des résonances parasites des hauts parleurs? Exemple de résonance en architecture? Commentaire du jury à la confession : leçon vivante et dynamique, c'est ce qui les a le plus marqué. Ils avaient vu d'autres candidats sur cette leçon qui avaient tous le même plan et moi j'avais une partie un peu différente sur la corde de Melde avec une étude en réflexions multiples pour comparer au Fabry-Perot : ils ont adoré. Ils ont trouvé que ça manquait un peu de sens physique parfois et que je n'ai pas trop bien répondu aux questions.

# LP49 : Oscillateurs, portraits de phase et non-linéarités

## Rapports du jury

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

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

**2013** : [À propos du nouveau titre] Les aspects non-linéaires doivent être abordés dans cette leçon sans développement calculatoire excessif, en utilisant judicieusement la notion de portrait de phase. Une simulation numérique bien présentée peut enrichir cette leçon.

Jusqu'en 2013, le titre était : Exemples d'effets de non linéarité sur le comportement d'un oscillateur.

**2011, 2012** : Une simulation numérique bien présentée peut enrichir cette leçon.

**2010** : L'analyse de l'anharmonicité des oscillations du pendule pesant ne constitue pas le cœur de la leçon. Différents effets des non linéarités doivent être présentés.

**2007, 2008** : Le régime forcé des oscillateurs non linéaires est également envisageable.

**2003** : La leçon ne doit pas se limiter à une résolution d'équations différentielles non linéaires. Une discussion des effets en liaison avec la forme de l'énergie potentielle peut être intéressante. La présentation d'un oscillateur de van der Pol précablé sur une plaquette reste trop souvent théorique. En quoi ce système est-il représentatif de problèmes usuels en électronique ?

Jusqu'en 2002, le titre était : Exemples d'effets de non linéarité sur le comportement d'un oscillateur.

**2000** : Cette leçon est parfois présentée de façon très abstraite. Par ailleurs on doit s'efforcer de varier les exemples, en tout cas de ne pas les limiter exclusivement à l'électronique.

**1999** : La simple étude de la non-linéarité du pendule simple et du vase de Tantale ne peut suffire. Il faut dégager clairement, sur différents exemples, l'impact des non-linéarités sur (selon les cas) la période, l'amplitude des oscillations, voire la forme du signal, sa valeur moyenne.

**1997** : Le jury regrette que certains candidats passent beaucoup de temps à traiter de l'effet relativement banal de certaines non-linéarités, comme l'influence de l'amplitude du mouvement sur la période d'oscillation d'un pendule, sans évoquer les phénomènes, beaucoup plus riches, d'instabilités ou de transition vers le chaos.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2010 - Note : 10/20

(I) Oscillations libres ; (1) Le pendule : le pendule que vous avez considéré a-t-il une particularité ? S'il était pesant cela changerait-il quelque-chose ? Pourriez-vous nous donner une expression plus complète du développement de la période en fonction de l'angle ? Sur les portraits de phase, j'avais tracé la dérivée en fonction de l'angle et j'avais parlé de portrait quasi circulaire : expliquer pourquoi ? (en fait ça donne l'équation d'une ellipse) Qu'aurait-il fallu tracer pour avoir des cercles ? (2) Le ressort : Est-ce qu'on aurait pu trouver l'expression de la position d'équilibre autrement qu'en résolvant l'équation différentielle ? Vous avez parlé

de lien avec la dilatation thermique, est-ce que vous pourriez ré-expliquer (j'ai été un peu vite pendant la leçon). — (II) Oscillations forcées : vous avez déclaré que la solution centrale est instable, vous pourriez expliquer pourquoi ? — (III) Oscillations auto-entretenues ; (1) Vase de Tantale (Qualitatif, je ne pensais pas le faire au début et comme finalement il me restait 5 min je l'ai rajouté à la fin). (2) Van der Pol : À partir de l'équation différentielle de van der Pol, comment expliqueriez-vous simplement pourquoi la non linéarité stabilise les oscillations ? C'est quoi en gros l'amplitude des oscillations ( $s_0$ ) ? Plutôt plus petit ou plus grand ? Commentaires du jury : la leçon était plutôt bien, un peu trop mathématique à leur goût, elle manquait de sens physique. Commentaires personnels : les techniciens ont été très sympa, ils m'ont ramené un pendule un peu amoché du coup je ne sais pas si c'était ça ou Synchronie, mais l'acquisition était plutôt bruitée et du coup les portraits de phase était assez moches, pas du tout lisses, mais globalement démonstratifs donc je me suis dit que pour une leçon, ça suffirait bien. J'étais partie pour monter un Van der Pol, je me suis vite ravisée et du coup les techniciens m'ont ramené une boîte fermée de Montrouge avec deux molettes pour faire varier les résistances et un bouton pour court-circuiter le premier condensateur.

### **Agrégation 2012 - Note : 07/20**

Y a-t-il un intérêt particulier à l'oscillateur de van der Pol ? Avez-vous un exemple de système mécanique qu'il peut représenter ? Comment représenter le portrait de phase du pendule pour qu'il soit plus facilement reconnaissable ? Comment expliquer simplement aux élèves le fait que l'harmonique apparaissant soit à 3!, l'absence d'harmonique à 2!, et le fait que l'on peut prévoir que l'harmonique suivante sera 5! dans le spectre du pendule simple ? Serait-ce différent si l'on avait un pendule pesant ?

### **Agrégation 2012**

Qu'est ce qu'une harmonique ? Comment les mettre en évidence par une expérience simple ? Et comment les voir dans cette expérience ? Est-ce qu'on peut voir sur la représentation de l'énergie potentielle du pendule simple que les non-linéarités vont augmenter la période ? Sur le portrait de phase du pendule simple, vous avez indiqué un sens de rotation, de quoi dépend-il ? Sur la résonance, comment pourrait-on se convaincre que la partie de la courbe dans le creux de la vague correspond à un mouvement instable ? Vous avez montré que sur la dilatation des métaux la valeur moyenne n'était plus la longueur du ressort à vide, alors que pour le pendule simple, la valeur moyenne reste  $\theta = 0$ , comment expliquer cette différence ? Comment se fait-il que le pendule simple ne fait apparaître que les harmoniques impaires ? Pouvait-on le prévoir avec l'expression de l'énergie potentielle ? Quelles sont les conditions pour qu'on puisse développer un signal en série de Fourier, et est-ce qu'on peut toujours le faire ?

### **Agrégation 2013 - Note : 10/20**

Ouverture sur le chaos : quel type de chaos ? Qu'est-ce que le chaos ? Pourquoi traiter le Van der Pol, quel intérêt pédagogique ? Même question pour le stick-slip. Quels commentaires physiques peut-on faire sur la formule de Borda ? Même question sur le portrait de phase du pendule. Citer des noms (en rapport avec la leçon). Qu'est-ce qu'une bifurcation ? Sujet bien maîtrisé. Leçon très illustrée expérimentalement, mais du coup peut-être trop :

manque de temps pour tout exploiter à fond, oubli des aspects physique parfois. Problème, essentiellement, d'organisation, pour savoir comment gérer les illustrations expérimentales sans tomber dans l'excès en oubliant de discuter. Il faut faire parler les équations, exploiter au maximum les illustrations expérimentales. Sur la fin (Van der Pol) : c'est devenu confus. Commentaires personnels : Techniciens super sympas. Pleins de petits problèmes techniques qu'ils ont réussi à régler à temps, des petites blagues pour détendre l'atmosphère.

# Chapitre 2

## Montages de Physique

### MP1 : Dynamique du point et du solide

#### Rapports du jury

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

**2014, 2015, 2016** : Contrairement à une idée apparemment répandue chez les candidats, les mesures précises en mécanique ne sont pas nécessairement hors d'atteinte, et il est possible de discuter quantitativement une loi de conservation en prenant en compte les incertitudes expérimentales. Par ailleurs, le jury constate que les mobiles autoporteurs donnent le plus souvent lieu à des expériences trop simples, mal exploitées quantitativement et coûteuses en temps, au détriment d'expériences plus en accord avec le niveau attendu à l'agrégation ; une informatisation de ces expériences serait profitable pour éviter des erreurs de mesures et limiter leurs durées.

Jusqu'en 2013, le titre était : Quantité de mouvement, moment cinétique et énergie en mécanique classique.

**2013** : Contrairement à une idée apparemment répandue chez les candidats, les mesures précises en mécanique ne sont pas nécessairement hors d'atteinte. L'étude quantitative du moment cinétique est très peu abordée. L'étude des solides en rotation est essentiellement limitée au gyroscope, dont le principe est par ailleurs souvent mal compris.

**2011, 2012** : Il faut bien différencier mécanique du point et mécanique du solide pour valider un modèle théorique. Les trois aspects de l'intitulé sont d'égale importance. Les systèmes isolés ou pseudo-isolés ne sont pas les seuls pouvant illustrer ce montage.

**2010** : Il faut bien différencier mécanique du point et mécanique du solide pour valider un modèle théorique. L'étude quantitative du moment cinétique est souvent négligée. Les systèmes isolés ou pseudo-isolés ne sont pas les seuls pouvant illustrer ce montage.

Jusqu'en 2004, le titre était : Dynamique Newtonienne.

**2004** : Les tables à coussin d'air ne sont pas les seuls outils à la disposition des candidats pour ce montage. L'utilisation de tables à digitaliser couplées à des logiciels d'acquisition et de dépouillement des données permet une présentation plus riche, ainsi qu'un gain de temps

permettant de présenter plus d'expériences abordant des phénomènes plus variés

Jusqu'en 2000, le titre était : Illustration de quelques lois de la dynamique newtonienne.

**2000** : Les expériences choisies doivent couvrir un domaine le plus large possible. Il faut prévoir une expérience quantitative concernant la rotation : les oscillations pendulaires ouvrent d'intéressantes perspectives...

**1999** : Le plus simple est de commencer par donner brièvement un énoncé correct des lois de Newton. Rappelons qu'il n'est pas indifférent de dire « système » ou « solide ». Par ailleurs, le principe des actions réciproques s'applique même lorsque les systèmes qui interagissent sont en mouvement relatif, mais il est vrai que la vérification directe en est un peu difficile. Parfois la vérification dans le cas statique a été présentée sous forme de deux dynamomètres accrochés l'un à l'autre. Le pendule pesant est un dispositif souvent étudié. On obtiendra des mesures beaucoup moins dispersées si on repère la date du passage à la position d'équilibre ( $\theta = 0$ ) plutôt que celle de l'élongation maximale. L'utilisation de l'ordinateur (éventuellement connecté à une table à numériser) permet d'éviter les opérations fastidieuses que sont les relevés de mesures sur la table à coussin d'air ou sur les oscillations du pendule.

**1998** : Les lois de la mécanique newtonienne sont celles correspondant aux propriétés de la quantité de mouvement, du moment cinétique et de l'énergie mécanique. Une au moins des expériences présentées doit concerner la rotation du solide, mouvement dont l'importance est considérable. Les lois phénoménologiques (résistance des matériaux, loi de Hooke, lois du frottement, ... ) sont souvent utilisées dans les sciences appliquées mais n'ont pas à être évoquées dans ce montage.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2008 - Note : 11/20 - choix avec Filtrage**

Des questions sur l'approximation du pendule simple, les frottements, les non-linéarités sur le pendule et les erreurs commises par Synchronie. Le jury m'a dit que le montage était bien, que ça pouvait mériter 14 ou 15 mais que parmi les questions, deux d'entre elles auxquelles je n'ai pas su bien répondre m'ont coûté cher (je n'ai pas tout discuté l'approximation du pendule simple, et j'ai utilisé un ressort reliant les 2 mobiles autoporteurs pour modéliser une force centrale ce qui n'était pas tout à fait correct).

### **Agrégation 2009 - Note : 13/20**

Réalisation de la force constante ; évaluation des incertitudes. On remarque que la quantité de mouvement décroît (très lentement) au cours du temps. Peut-on le prendre en compte pour corriger les courbes à forces constantes ? Quelle erreur fait-on lorsque l'on assimile la masse ajoutée sur le pendule pesant à une masse ponctuelle ? (La manip marche très bien, l'erreur est inférieure au La note signifie que deux expériences ont bien marché. J'ai terminé 7 minutes en avance, mais il ne m'en ont pas du tout voulu. En fait le reproche qu'il m'ont fait est double : une imprécision et une erreur qui rendait inutilisable la mesure de  $g$ , et le fait que le gyroscope ne marchait pas. Le matériel qui ne marche pas est moins pénalisant pour le candidat que ses propres erreurs, mais ça pénalise quand même, car l'expérience ne

peut être menée à fond. Il ont toutefois valorisé le fait que j'ai fait le maximum avec mon matériel défectueux.

**Agrégation 2009 - Note : 18/20 - choix avec Systèmes bouclés (oscillateurs exclus).**

Beaucoup de questions sur la rotation pour les mobiles auto-porteurs. Est-ce qu'on peut remonter à quelque chose de constant avec la loi des aires (constante de raideur du ressort). Pour le pendule simple est-ce que j'ai pris en compte le système d'attache? (réponse non). Si j'en avais tenu compte quelle grandeur serait intervenue?

**Agrégation 2009 - Note : 11/20 - choix avec Photorécepteurs.**

Pourquoi lors de la vérification de la 1ère loi de Newton le mobile n'a-t-il pas la trajectoire rectiligne à laquelle on s'attend? L'horizontalité imparfaite de la table (j'avais fait de mon mieux à ce niveau là mais elle penchait toujours un peu). Pourquoi la vitesse diminue dans cette expérience? Les frottements. Lesquels? Frottements air-mobile. Peut-on caractériser le jet d'air sous le mobile? On peut connaître la pression à partir de la mesure de la masse et de la surface du mobile car le jet compense le poids. Pour calculer l'accélération j'avais supposé que la dérivée était égale au taux d'accroissement et pour les points  $x_{n-1}$ ,  $x_n$  et  $x_{n+1}$  je les avais choisis distants de 3 points les uns des autres, ils m'ont demandé de justifier mon choix : plus on les prend éloignés plus on gagne sur l'incertitude relative des mesures mais moins l'hypothèse est vérifiée. Un des membres du jury est resté collé à moi pendant toute la présentation pour vérifier tout ce que je faisais : les mesures, les calculs, les modélisations... au début ça surprend! L'expérience de la chute libre donnait  $g = 12.5 \text{ m/s}^2$  donc la majeure partie de la correction a été consacrée à essayer de trouver d'où venait l'erreur (j'ai expliqué ce que j'avais fait en préparation pour essayer de résoudre le problème, ils ont proposé quelques explications mais j'ai vérifié que ce n'était pas ça non plus donc au final on n'a pas trouvé l'origine de l'erreur). Dans l'expérience où l'on vérifie la loi des aires, il faut bien découper les « tranches » à partir du point d'application de la force centrale, c'est-à-dire l'endroit où le ressort est attaché sur le mobile autoporté fixe et non à partir du centre de ce mobile.

**Agrégation 2010 - Note : 14/20 - choix avec Milieux optiquement actifs : biréfringence, pouvoir rotatoire.**

Pourquoi la vitesse diminue-t-elle dans la première expérience? (frottements...) Comment pouvait-on améliorer l'expérience avec le pendule simple? Vaut-il mieux compter quand le pendule est à son minimum d'énergie cinétique ou à son maximum? Discussions des incertitudes pour le pendule simple. Questions sur l'échantillonnage pour la règle. Mon plan : (I) Mobiles autoporteurs et lois de la dynamique ; 1) Première loi de Newton ; 2) Loi des aires (II) Le pendule simple (III) Chute libre d'une règle. 4 manips assez simples, j'ai sollicité sans arrêt les techniciens. Ils n'avaient pas la règle de la manip, du coup j'en ai fabriqué une avec une règle transparente et des bandes de papiers blanc espacées régulièrement, le faisceau des capteurs passait à travers la règle transparente et était réfléchi sur les bandes. Je pense qu'ils ont vraiment bien aimé, le fait que je fabrique ça et que je m'adapte. Sinon j'avais pensé faire le gyroscope aussi, mais je pense que ces manips sont suffisantes. Je pense qu'il faut absolument traiter proprement au moins une fois le calcul d'incertitude pour une manip. Ici

je l'ai fait pour le pendule simple, pour les autres manip c'est un peu plus délicat, car il y a des paramètres que l'on ne maîtrise pas.

### **Agrégation 2014 - Note : 14/20**

Mes manip : Mesure de  $g$  et conservation de l'énergie sur la chute de la règle, mesure du moment d'inertie d'un pendule, conservation de l'impulsion et du moment cinétique sur table traçante. Le point négatif soulevé pendant la discussion avec le jury était qu'il faut être rigoureux sur les conservations car elles ne sont jamais parfaites donc il faut se donner des critères pour être convaincant. Par exemple, pour l'énergie sur la règle, il faut regarder que  $E_c$  augmente de 10 J (exemple au hasard),  $E_p$  diminue de 10 J et les fluctuations de  $E_c + E_p = E_m$  bien plus petite que 10 J. Donc  $E_m$  fluctue peu et on peut conclure qu'elle est conservée.

### **Agrégation 2016 - Note : 12/20 - Choix avec Ondes : propagation et conditions aux limites**

Temps de réponse de la photodiode ? Comment interpréter l'écart entre la valeur de  $g$  déterminée par le I) et la théorie ? Les frottements Comment interpréter l'écart entre la valeur du moment d'inertie du gyro et la théorie ? La calibration du tachymètre. Comment utiliser le chi carré réduit pour corriger les incertitudes ? Moment de jouissance où j'évoque la magouille d'Erwan Allys qui plait beaucoup à la membre du jury tout en disant que par honnêteté intellectuelle on ne peut pas le faire, mais sur le principe il faut le savoir. Comment fonctionne le tachymètre sur le gyro ? J'ai dit que j'avais oublié sur le moment puis en revenant au bureau j'ai vu la tête du dispositif d'un peu plus loin et la réponse m'est revenue. N'hésitez pas parfois à prendre de la distance avec votre dispositif ! Comment vous démontrez la formule du coefficient de frottement dynamique que vous annoncez ? J'ai expliqué la procédure sans rien écrire et voilà...

I) Mesure de  $g$  avec des lasers II) Précession du gyroscope III) Frottement dynamique bois-bois Techniciens adorables, ils ont tout monté et ont cherché à améliorer le dispositif si nécessaire. Sur les 4h, ils ont du ne "rien faire" que pendant 30 min. Ne pas hésiter à les solliciter ! Ils ont fait les mesures et ont rentré des données sur IGOR. Ils vous encouragent et vous donnent des repères temporels pendant l'épreuve et juste avant le passage. J'ai tchatché avec eux et ils veulent juste qu'on leur explique les choses et s'ils rechignent parfois c'est car ils n'ont pas compris le protocole. Il faut juste leur ré-expliquer. Le prof préparateur est venu deux fois, n'a rien dit. Un autre encadrant est venu me rappeler de faire des mesures devant le jury (... ça l'a fait sourire et moi aussi...) 3 manip quantitatives, 3 régressions linéaires avec discussion du chi carré réduit, des résidus à un moment, et des incertitudes (pourquoi celles-ci, pourquoi pas celles-là, pourquoi en ordonnée...) En prépa, pas le temps de faire une manip quantitative de plus. Le temps de tout régler, horizontalité, distances, peser les masses, verticalité,... Visiblement tous ces détails ont été bien perçus et j'insiste sur le fait que les techniciens peuvent vous guider vers la prise en compte de ces détails si vous les négligez, notamment l'horizontalité des balances de Cachan où le niveau a disparu ! En passage, ayant eu un accroc sur la régression du II) j'ai accéléré un poil sur le III) pour avoir 2 min pour corriger partiellement mon erreur du II). Pendant les questions, j'ai demandé si j'avais 10 secondes pour terminer la correction, venant d'avoir une idée. Lallemand m'a dit oui si c'était rapide et ça a marché... J'insiste sur un point : les jurys ne savent pas tous qu'IGOR ne prend pas en compte les incertitudes horizontales dans le calcul d'incertitude !

En passage, une quatrième manip quantitative passerait, mais c'est à vous de voir. J'ai pris le parti de tout expliquer et tout détailler, surtout les incertitudes, et 3 quantitatives, c'est suffisant! Questions en 15 min à peu près. 0 question sur le III) et un membre du jury a semblé bien aimé la discussion de l'aspect microscopique des frottements. Sur le gyro il y avait des améliorations clairement possibles, mais le temps manque. Penser que la manip du I) prend du temps à monter et exploiter, surtout au niveau des incertitudes où il faut se taper un calcul chiant Jury agréable dans l'ensemble. Lallemand a tout pris en photo : tableaux, graphiques,... Et après discussion on pense que c'est pour éviter les copiés-collés d'épreuve en épreuve. Pour terminer, l'archi-classique 4h c'est très très court! Une technicienne m'a rappelé avant le passage qu'ils n'attendaient pas de manip exceptionnelles mais que l'on fasse des manip très propres, niveau lycée c'est pas un soucis! Je n'ai pas eu l'impression de glander mais 1h30 avant la fin, je n'avais quasiment aucune régression de prête...

### **Agrégation 2018 - Note :**

La préparation s'est bien déroulée, au bout de 3h, tout était terminé, tous les points étaient pris. Les techniciens, fort sympathiques, serviables et soucieux du bon déroulement de l'épreuve, ont monté les manipes et effectué la prise d'une dizaine de points pour le pendule simple.

La dernière heure, je figole les graphes, les incertitudes, je prépare et range dans des dossiers tous les fichiers Igor.

À 12h01, le jury entre dans la salle en me saluant. Il s'installe très rapidement, et m'invite à commencer. Le montage s'est bien déroulé dans l'ensemble, à l'exception d'un bug informatique Igor, dont la résolution m'a bien consommé 5 minutes. De ce fait, j'ai dû sauter quelques petites choses.

Je termine à peu près dans les temps en accélérant à la fin. La séance de question commence, voici celles dont je me rappelle :

- Questions sur les conditions de l'expérience avec la table à coussin d'air (planéité, horizontalité, choix de la caméra, de la fréquence d'enregistrement d'images, etc.) - Questions sur la manière dont j'avais calculé les incertitudes - Questions sur le moment cinétique, comment on aurait pu le mesurer avec les mobiles, etc. - Questions sur le pendule simple, quelles précautions j'ai prises pour monter la fourche optique, qu'y a-t-il dans le boîtier qui contient la photodiode, etc. - Questions sur le gyroscope, notamment : faut-il qu'il soit à l'horizontale pour que la formule du BFR soit valable?

Le jury m'invite à sortir pour les délibérations, ces dernières dureront environ 10 minutes.

## **MP2 : Surfaces et interfaces**

### **Rapports du jury**

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

**2015, 2016** : Le principe de certaines mesures est mal maîtrisé. Par exemple, la mesure de la tension de surface par la balance d'arrachement nécessite d'avoir compris avec précision la

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

**2014** : De bons montages ont été vus sur ce sujet. Toutefois, le principe de certaines mesures est mal maîtrisé. Par exemple, la mesure de la tension de surface par la balance d'arrachement nécessite d'avoir compris avec précision la nature des forces en jeu lors de la rupture du ménisque pour pouvoir justifier la formule qui est utilisée. Plus généralement, il convient de préciser clairement l'interface étudiée lorsqu'une expérience fait intervenir plus de deux phases. Enfin, il faut veiller à nettoyer le mieux possible les surfaces étudiées plutôt que de justifier de mauvais résultats par une « saleté » sensée excuser des écarts parfois excessifs aux valeurs tabulées.

Jusqu'en 2013, le titre était : Phénomènes de surface.

**2013** : Ce montage se limite trop souvent aux liquides et à l'étude de la tension superficielle. Le titre est pourtant large et n'exclut pas les surfaces solides.

**2012, 2011** : La tension superficielle (intitulé 2010) n'est pas le seul phénomène de surface pouvant être mis en évidence.

Jusqu'en 2010, le titre était : Tension superficielle

**2010** : Ce montage comporte des mesures délicates qui, si elles sont bien exécutées avec un protocole précis, peuvent mettre en valeur l'habileté expérimentale du candidat. Il peut par contre donner lieu à des prestations décevantes si les candidats ignorent les difficultés de ces mesures. L'intitulé devient « phénomènes de surface » en 2011. Le jury espère ainsi augmenter la variété des expériences possibles.

**2009** : Ce montage est choisi par de nombreux candidats et donne lieu, le plus souvent, à des prestations décevantes lorsque les candidats ignorent la difficulté des mesures de tension superficielle.

**2008** : Les balances d'arrachement sont délicates à utiliser, il est nécessaire de bien comprendre leur fonctionnement. Les ondes capillaires ne s'observent que pour un certain domaine de longueurs d'onde.

**2007** : Si le candidat souhaite utiliser une balance d'arrachement, il est invité à en choisir une dont il maîtrise le fonctionnement. L'utilisation d'une webcam pour la loi de Jurin donne de meilleurs résultats qu'une projection à l'aide d'une lentille.

**2006** : Ce sujet, souvent choisi, cette année a été réussi de manière inégale. Il demande un soin expérimental tout particulier. Les mesures nécessitent de se placer en régime statique.

**2005** : Dans la détermination de tensions superficielles par arrachement, une meilleure maîtrise du protocole de mesure permettrait une discussion des incertitudes.

Jusqu'en 2000, le titre était : Tension superficielle : mise en évidence. mesures.

**1999** : La notion de longueur capillaire semble inconnue à la plupart des candidats. De simples considérations dimensionnelles permettent d'en retrouver l'expression.

**1997** : Il est dommage de se limiter à des mesures en régime statique. On peut élargir l'étude à la propagation des ondes de surface (relation de dispersion, atténuation).

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 20/20

- Lequel est le plus grand, le coefficient de frottement statique ou dynamique ?
- Pourquoi vous avez placé la poulie comme ça ? Comment vous avez choisi la hauteur de chute ?
- Comment on retrouve la formule du coefficient de frottement dynamique ?
- Aire du solide a une influence ? Et le temps depuis lequel le solide est posé ? C'est plus facile de bouger un meuble qui est là depuis 1 min ou depuis 10 ans ? Quelle interprétation microscopique ?
- Donner quelques Ordres de Grandeur de coefficient de tension superficielle ?
- Loi de Laplace : comment fonctionne un manomètre différentiel ? quelle est l'influence du tube sur la forme de la bulle ? pourquoi il y a un 4 dans la formule ? influence de la gravité sur la forme de la bulle ? quelle influence alors sur le gamma ? quelle précision de lecture sur le diamètre ?
- Ondes de surface de l'eau : comment avez vous mesuré le grandissement ? expliquez la forme des franges ? on est dans quel régime : gravité ou capillaire ? le  $\tanh(kh)$  est important ? calculez-le pour vos différents points ? pourquoi un gamma si différent ? effet de la pollution de l'eau par la poussière, physiquement ?
- Tensiomètre à lame mouillée : commenter le mouillage de la lame ? influence de la poussée d'Archimède ? influence du matériau de la lame ? de la forme de la lame ? comment calculer les incertitudes ?

Le plan suivi a été : I) Interface solide/solide II) Interface fluide - fluide : loi de Laplace et cuve à ondes III) Tensiomètre à lame mouillée.

Les préparatrices étaient très sympa et disponibles.

Un jury très sympathique, qui met à l'aise et en confiance dès le début. Beaucoup de questions pour justifier les choix de manips et des protocoles utilisés. Des questions sur les incertitudes également.

Retour du jury : bon plan, manips bien choisies. La manip de la loi de Laplace leur a bien plu, ils m'ont dit qu'ils ne la voient vraiment pas souvent. Ne pas s'alarmer si les valeurs de gamma sont à l'ouest, ils ont l'habitude et n'en tiennent pas trop compte.

### Agrégation 2008 - Note : 14/20 - choix avec Phénomènes dissipatifs.

Commentaires personnels : j'ai commencé par 2 expériences quantitatives : loi de Jurin à la caméra (2 dispositifs pour plus de points) et la cuve à ondes gravito-capillaires. Une expérience qualitative : instabilité de Rayleigh-Plateau en immergeant un petit dispositif avec des fils de différents diamètres dans de l'eau. Ça ne donne à peu près rien de quantitatif, ou du moins les résultats de la mesure de la distance moyenne entre deux gouttes sont très différents de ce qui est attendu. Le problème de ce montage est qu'il faut être minutieux parce que tout est délicat. J'ai dû sécher les tubes de la loi de Jurin au sèche-cheveux et remettre de l'alcool juste avant la présentation pour éviter l'évaporation et la formation de bulles. Longue discussion des erreurs de mesures sur les deux manips. Je pense que c'est payant parce que j'ai une bonne note avec seulement 2 manips faciles. Questions et commentaires du jury : 1. Loi de Jurin : comment améliorer la précision ? (Bouger la caméra). Retour sur l'explication

des incertitudes. Hypothèse  $\cos(\theta) = 1$  pour l'angle de mouillage sur le verre : valide ? Quel serait l'ordre suivant en précision ? Qu'est-ce qui fixe l'angle de contact ? — 2. Cuve : de quel type d'ondes s'agit-il ? Explication de l'image optique ? Qu'est-ce qu'on mesure entre deux maxima d'intensité ? Si c'étaient des ondes stationnaires, ce serait quoi ? Explication physique sommaire de la forte variabilité de la tension de surface, en particulier dans le cas de l'eau distillée ? En termes d'interactions entre molécules, qu'est-ce qui est responsable de la tension de surface ? Dans quels phénomènes quotidiens se manifeste la tension superficielle ?

### **Agrégation 2010 - Note : 14/20 - choix avec Amplification de signaux.**

Questions et commentaires du jury : quelle eau a été utilisé pour les différentes expériences ? C'était la même eau (du robinet) c'est pour ça que les résultats collaient aussi bien d'un manip à l'autre. Quelle est la formule générale qui régit la pression au sein d'une bulle ? Quelle autre manip vous auriez pu faire à partir du montage avec les deux bulles ? On aurait pu mesurer le coefficient de tension superficielle en mettant un manomètre sur une entrée et en faisant plusieurs tailles de bulles. Sur la loi de Jurin pendant le montage j'ai pris une référence arbitraire pour la surface de l'eau de la cuve et j'ai dit que je prenais la même pour chaque tube. Je peux la prendre arbitraire parce que comme ça c'est une erreur systématique (et toujours la même) et après au lieu de modéliser par une loi linéaire, je modélise par une loi affine et c'est ok. Du coup j'ai eu le droit à la question : mais sinon si on voulait prendre la vraie bonne référence, il faudrait la prendre où ? Et pourquoi on n'a pas une démarcation claire ? Pas de démarcation claire parce qu'il y a effet de mouillage qui fait que sur les bords l'eau monte Est-ce qu'il y a toujours ascension du liquide dans le capillaire ? Non, ça dépend de l'angle de contact donc de la capacité de mouillage du liquide sur le matériau. Pour la cuve à onde : j'avais oublié de mettre la tangente hyperbolique dans la formule générale, du coup ils ne comprenaient pas pourquoi certains points ne respectaient plus trop l'approximation. Est-ce que vous êtes sûr de bien mesurer  $\lambda$  et pas  $\lambda/2$  ? J'ai d'abord justifié qu'on a pas d'ondes stationnaires puis avec un dessin j'ai montré que la crête et le creux des vagues ne se comportent pas de la même manière pour la déviation des faisceaux lumineux. Donc on mesure bien  $\lambda$ . Où la tension superficielle joue-t-elle des rôles importants ? Commentaires personnels : je n'ai pas assez détaillé l'étalonnage du montage pour la loi de Jurin sinon les expériences étaient bien choisies... Ils m'en ont un peu voulu d'avoir pris de l'eau du robinet parce qu'on ne connaît pas bien sa tension de surface. Surtout que mes deux résultats étaient identiques donc c'était dommage de pas pouvoir les comparer à une valeur plus réaliste que celle de l'eau pure.

### **Agrégation 2013 - Note : 19/20 - choix avec Lasers.**

Présentation : Est-ce que les phénomènes de capillarité et de mouillage n'ont pas un lien physique ? J'ai oublié de préciser que les coefficients de tension superficielle était entre deux phases et donc il m'ont demandé si les valeurs que j'avais donné pour l'eau et l'air était valable dans une atmosphère d'azote pur par exemple. — I - Frottements solides : La force de frottement dépend-t-elle de la surface ? Comment l'expliquez-vous au niveau microscopique ? Il ont été de me faire dire que j'avais caché sous le tapis la vitesse de glissement et m'ont demandé à la fin si le coefficient dynamique dépendait de la vitesse de glissement Ils m'ont demandé de réexpliquer le mouvement se stick slip que l'on avait parce que je suis passé un peu vite dessus. Puis il m'ont demandé de recadrer les incertitudes. — II - Capillarité. Ils ne

sont pas vraiment revenu sur les valeurs bizarres que j'avais trouvé mais ils m'ont demandé pourquoi se mettre à l'arrachement pour mesurer. Il m'ont demandé de redéfinir l'angle de contact puis m'ont demandé quel coefficient je mesurais dans cette manip? J'ai alors dit qu'il fallait appliquer la loi de Young-Dupré et que l'on négligeait des termes car le platine mouillait bien. Commentaires personnels : La préparation a été un peu galère pour diverses raisons : la salle était loin du matos donc un aller retour prenait du temps, on n'a pas trouvé tout le matériel que je voulais notamment pour les ondes gravitocapillaires on a du fabriquer une tige plus longue pour faire marcher la manip, la disposition de la salle était pas optimal car c'était une salle de TP donc pas trop la place de circuler. Les techniciens (un mieux que l'autre) très efficace mais savent pas toujours où sont les choses... Au final j'ai perdu beaucoup de temps en préparation et j'ai fait les mesures un peu trop vite je pense et je n'ai pas pu les refaire pour voir ce qu'il n'allait pas. La manip du Stick and Slip est peut-être a améliorer pour qu'elle marche plus rapidement (1h pour la faire marcher). Donc au final je pense qu'il faut vraiment gérer son temps et mon erreur a été de m'acharner sur les ondes gravito-capillaires au lieu de me focaliser sur la balance d'arrachement/Jurin. Les professeurs préparateurs passe 2 à 3 fois dans la salle pour savoir ce que l'on a prévu comme manip et savoir si tout se passe bien. Il m'a également un peu donné des indications pour le stick and slip pour l'optimiser. Commentaires du jury le jour des résultats : Ce qui a été apprécié : bonne qualité expérimentale (connaissance des protocoles et des conditions), illustration des différents phénomènes de surface (lecture des rapports de jury), tableau propre, des manip variés, exploitation complète de chaque manip, stick and slip vraiment apprécié des 3 jurés, balance d'arrachement aussi simple avec les 3 fils pour que l'anneau ne bascule pas apprécié aussi et enfin les manip qualitative d'intro apprécié pour savoir de quoi on va parler. J'ai demandé pour les valeurs que j'ai trouvé complètement à coté, ils m'ont dit qu'il n'y avait pas de soucis pour ce montage parce que c'est très dur de mesurer ces coefficients. Pour la balance d'arrachement on arrive jamais à trouver la bonne valeur pour l'eau (77) on trouve 40 en général. En effet pour avoir une meilleur mesure il faudrait nettoyer puis bruler la surface du platine puis aspirer les poussières sur le platine et à la surface de l'eau... et encore on trouve que 60 apparemment. Enfin pour la loi de Jurin il est préférable de faire une régression affine même si l'origine que l'on a prise est la surface de l'eau car on peut avoir une erreur systématique et on compare la valeur à l'origine à l'erreur systématique que l'on peut avoir.

**Agrégation 2013 - Note : 14/20 - choix avec Systèmes bouclés (oscillateurs exclus).**

Questions et commentaires du jury : J'ai présenté le plan de l'année. On m'a posé pas mal de questions sur les problèmes expérimentaux ... Pourquoi le stick slip n'a pas marché? Pourquoi ne peut on pas utiliser le coté mousse? Pourquoi sur la loi de Jurin il y a une ordonnée à l'origine? Pourquoi votre verre n'est pas totalement mouillant? Pourquoi sur la balance d'arrachement vous ne trouvez pas la bonne valeur? (Le disque de platine n'était pas bien horizontal). Il y a aussi eu les questions théoriques bien sur : interprétation microscopique du frottement. Le coefficient de frottement dépend t'il de la vitesse? Pourquoi la valeur du coefficient de tension de surface du platine n'intervient pas dans la balance d'arrachement? Est ce une approximation de négliger le rôle du matériaux? Pourquoi le coefficient de frottement est il si fluctuant? (pour la manip du plan incliné) Enfin : une petite question de pédagogie : comment expliquer à un élève le sens physique des lois d'Amontons-Coulomb?

En particulier le fait que ça ne dépend pas de la surface de contact ?

### Agrégation 2014

I-Frottements solides Manip bloc de bois sur planche en bois – mesure du coefficient de friction dynamique II- Ondes à la surface d'un fluide Cuve à onde. Montre ondes capillaire et ondes de gravité. Pour capillaire, retrouve la tension superficielle de l'interface eau-air en ajustant  $v^2 = f(1/\lambda)$ . Note que la tension dépend de la température. III- Mesure de tensions superficielles 1) Interface alcool-air : loi de Jurin Retrouve tension superficielle de l'alcool avec ajustement de  $h=f(1/r)$  2) Interface métal-eau : gouttes de Gallinstan Mesure de la masse de gouttes de Gallinstan, retrouve tension du metal. (j'ai fait cette manip plusieurs fois durant l'année, sans problèmes, avec m(10 gouttes) 1g. Le jour de l'oral, j'ai mesuré 15 gouttes et j'ai eu m(15 gouttes) 0.5g! Je ne sais pas pourquoi... J'avais l'impression que les gouttes étaient plus petites que d'habitude, peut être les seringues étaient différentes...)

Questions : Manip 1 : • Décrire le mouvement dans la manip. (2 systèmes qui se succèdent – bloc bois+masse puis bloc bois seul ; transfert d'énergie) • Y aurait il une autre méthode que de noter la hauteur  $h$  de laquelle on laisse tomber la masse ? (oui, on peut poser la masse par terre et tirer le bloc de bois – seulement pas plus pratique dans le cas de cette manip à cause des crochets sur les masses (elles ne tiennent pas debout par terre)!) Manip 2 : • Comment varie la tension superficielle avec la température ? (elle augmente quand  $T$  diminue – cf Guyon) • Quels autres facteurs y a t'il dans la mesure de tension superficielle ? Les effets sont ils important ? (impureté dans l'eau, comme du savon. Effets importants) • Pourquoi a t'on des franges sombres et brillantes sur l'écran ? (j'ai buggé là) Manip 3 : • Pourquoi mesurer sur un écran et pas directement sur les tubes ? (plus pratique et donc meilleure précision • Pourquoi alcool et pas eau ? (alcool plus mouillant, donc  $\cos\theta=1$ ) Manip 4 : • Prend on en compte l'angle que fait la bulle sur l'aiguille ? (On suppose que la bulle est verticale au bout de l'aiguille) • Est ce qu'en général, les tension métal-eau et métal-air ont le même ordre de grandeur ? (non, la tension superficielle dépend de l'interface. Ici, on sait par expérience, ayant fait la manip plusieurs fois dans l'année, qu'elles ont le même ordre de grandeur [bien que je ne sois pas 100% sure de ça].

## MP3 : Dynamique des fluides

### Rapports du jury

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

**2016** : Comme recommandé par les précédents rapports, les candidats pensent à évaluer le nombre de Reynolds mais les conclusions qu'ils en tirent sont souvent incomplètes ou erronées. D'autres limitations des modèles (Stokes et Poiseuille en particulier) sont ignorées.

Les viscosités mesurées doivent être comparées aux valeurs tabulées aux températures des expériences réalisées.

**2009 à 2014** : Comme recommandé par les précédents rapports, les candidats pensent à évaluer le nombre de Reynolds mais les conclusions qu'ils en tirent sont souvent incomplètes ou erronées. D'autres limitations des modèles (Stokes et Poiseuille en particulier) sont ignorées. Le principe des anémomètres utilisés doit être connu. Les viscosités mesurées doivent être comparées aux valeurs tabulées aux températures des expériences réalisées. Rendre l'expérience de l'écoulement de Poiseuille quantitative nécessite certaines précautions.

**2008** : La classification des écoulements passe aussi par l'évaluation du nombre de Reynolds.

**2007** : Le tube de Pitot n'est pas le seul instrument permettant de mesurer la vitesse d'écoulement d'un fluide.

**2000** : L'étude de l'écoulement de Poiseuille est rarement satisfaisante, car les candidats ne savent pas où il convient de mesurer la pression. Le principe du tube de Pitot est mal connu. L'expression de la force de Stokes est connue, mais son origine (calcul, modèle, formule empirique ?) et son domaine de validité le sont moins. Est-ce vraiment une simple variante des expressions donnant la résistance de l'air à l'avancement d'une automobile ou d'une aile d'avion ?

**1999** : Le candidat doit avoir à l'esprit les relations ou formules les plus importantes (Euler, Bernoulli, Navier- Stokes). Il convient également d'avoir une idée des domaines dans lesquels la résistance à l'avancement d'un fluide peut être représentée par une force d'intensité proportionnelle à la vitesse ou au carré de celle-ci.

**1998** : Les mesures effectuées à l'aide du tube de Pitot ne peuvent être comparées aux mesures de vitesse données par l'anémomètre que si la zone de mesure est la même dans les deux cas. Il est nécessaire que le tube et le capteur soient fixés pour la mesure et non tenus à la main, comme c'est souvent le cas.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note : 04/20

Intro dynamique des fluides : atmosphère=> météo, plomberie, nombreuses machines, flux du sang dans les artères... 1 Ecoulement dans un tube (Poiseuille) Formule dérivée à partir de Navier Stokes (l'équation fondamentale de la dynamique des fluides!), terme de convection mathématiquement nul,  $dP/dx$  constant... Faire prendre différents points correspondants à différents niveaux du tube dans le vase de mariotte (car étant manifestement classifié comme candidat à risques mes préparateurs ne m'ont pas laissé le bouger moi-même car apparemment j'allais non seulement le casser mais aussi me le planter dans la main, saigner partout... comme quoi la première impression est très importante). Calcul de  $\eta$  et comparaison à la valeur tabulée, insister sur la linéarité entre débit volumique et variation de pression, analogie avec la loi d'ohm, résistance hydraulique utilisée en plomberie Tracer  $Q$  en fonction de  $dP/dx$  Prendre une mesure de température devant le jury pour prendre la valeur tabulée de  $\eta$  correspondante (ne pas dire que la valeur expérimentale correspondrait à une température de  $15^\circ\text{C}$ ) 2 Mesure de viscosité Remplir des tubes à essai avec de l'eau, de l'huile et de la glycérine, laisser une bulle d'air (scotcher les bouchons pour l'huile et la glycérine) et

retourner. Commenter sur la différence de vitesse des bulles Présentation du modèle à partir du PFD sur la bille, calculer un reynolds pour justifier Chutes de billes dans le glycérol, mesure à la caméra rapide. Placer un papier sur l'arrière du bocal avec une lampe derrière pour le contraste et essayer de lâcher les billes près de la surface avec une pince Tracer norme de  $(x,y)$  en fonction de  $t$ , la pente est la vitesse (car on a atteint la vitesse limite avant de prendre les mesures et toute autre manière de mesurer va être moche et critiquée) A partir de la vitesse revenir à éta, montrer qu'il est constant puis le comparer à la valeur tabulée du glycérol puis quand ça ne marche pas dire c'est normal le glycérol s'hydrate (apparemment) 3 Mesure de vitesse à grand nombre de Reynolds Présenter le montage. Bien se donner la peine de placer la sonde de pitot puis la cellule de l'anémomètre exactement à la même place plutôt que de les placer cote à cote. Ça prend à peine plus de temps et ça évite toutes les questions associées. Expliquer qu'on cherche à montre une relation linéaire entre vitesse et différence de pression et qu'on à une relation affine entre différence de pression et tension du manomètre différentiel donc une relation globalement affine. Revenir au coefficient entre  $v$  et  $\Delta P$  et dans un monde idéal (?) comparer à la valeur théorique calculée (voir questions) Si le temps le permet, qualitativement, mettre le profil d'aile d'avion sur une balance devant la soufflerie, expliquer le concept d'angle de décrochage (en bloquant l'aile pour différentes valeurs) et avec un schéma expliquer le lien avec la vitesse d'écoulement mesurée par le tube de pitot Dans tous les cas s'ébaudir devant le tube de pitot, existant dans sa « forme » actuelle depuis le milieu du XVIIIème siècle (et inventé par pitot un siècle plus tôt) J'ai fait n'importe quoi sur l'exploitation numérique avec igor, oublié de montrer les tubes à essai. . . Tube de pitot, Est-ce que l'on peut faire le calcul théoriquement et comment pour obtenir les coefficients affines. Oui en calculant la pression d'arrêt au bout du tube (ie en imposant la vitesse nulle) et la pression au niveau des trous sur le coté en fonction de la vitesse puis en faisant la différence. Principe de mesure puis limite de la méthode de mesure de l'anémomètre à fil chaud. J'ai dit que le transfert de chaleur dépendait de l'hygrométrie ce qui n'était pas pris en compte par l'appareil. A posteriori la réponse attendue était probablement plutôt que la présence d'une couche limite réduirait le flux de chaleur par rapport à un écoulement turbulent (ce qui n'est pas non plus pris en compte par l'appareil) Choix de taille de bille : pour atteindre vitesse limite, faire le calcul du temps caractéristique pour la plus grosse. Chute dans de la glycérine, quelle l'influence de la taille de la bille pour le modèle. J'ai commencé à parler de la loi de frottement utilisée linéaire en  $v$  et du Reynolds mais apparemment il a été content quand j'ai fini par parler d'effet de bord des parois du bocal (astuce de mécanique des fluides : pour évaluer si c'est pertinent où pas calculer le déplacement du fluide dû à la chute de la bille dans un milieu infini à la distance correspondant au rayon) Remarque en passant, la glycérine et le glycérol sont apparemment la même chose (et en anglais c'est glycérol (pour le hand book)). Rentrer soi-même les valeurs prises par les préparateurs sur l'ordinateur, sinon l'ordinateur est inutilisable pendant de grandes plages de temps pour rien. Si vous avez une soufflerie (de cachan) où le cône ne tient pas en place sur le ventilateur (parce qu'il manque une pièce style courroie), insistez lourdement sur le fait qu'il faut les scotcher ensemble sinon ça tiendra pas. Tous les préparateurs ne sont pas forcément topissimes sur toutes les manip quelque soit leur bonne volonté. Observez comment ils suivent votre protocole de mesure avant de décider de les séparer. . . ou pas. Parce que des points mal pris vont quand même vous faire perdre plus de temps que ne pas les séparer pour faire deux manip à la fois. Ecoulement de poiseuille, Pourquoi on utilise un vase de mariotte (et comment ça marche) Ayant parlé de

l'analogie de résistance hydraulique et comment c'est extrêmement utilisé en plomberie, le jury a voulu savoir si l'écoulement dans un tube était toujours un écoulement de poiseuille. J'ai commencé par dire qu'en théorie le terme de convection était mathématiquement nul quelque soit le reynolds mais qu'en pratique il fallait une certaine distance pour que ça en devienne un, évaluable de manière simplifiée à la propagation de la couche limite jusqu'au centre du tube pour le montage qu'on avait, puis j'ai parlé qu'il faudrait à minima rajouter un terme de gravité si le tube n'était pas horizontal et en pratique plus compliqué. Au final la question était plutôt voulue par rapport au reynolds. De mon point de vue si le reynolds est petit le terme de viscosité est suffisamment grand pour faire disparaître relativement rapidement la vorticité et si le reynolds est grand, même si l'écoulement est horriblement turbulent, ça ne fait qu'allonger la longueur caractéristique au bout de laquelle on va s'approcher d'un poiseuille.   a aurait été plus convaincant avec des ordres de grandeurs .

### **Agrégation 2008 - Note : 09/20 - choix avec Induction ; auto-induction.**

Commentaires personnels : j'avais un facteur 10 sur l'expérience de chute d'une bille dans le glycérol (un g oublié!), un facteur  $10^6$  pour le tube de pitot (j'ai inversé la viscosité de l'air et du liquide), et un dernier facteur 10 pour l'écoulement de Poiseuille (j'ai oublié la longueur du tube!). J'ai beaucoup paniqué en préparation parce que je trouvais pas mes fautes (je cherchais des erreurs d'unité), du coup, je me suis perdue dans mes horaires et après 4h, je croyais qu'il me restait encore 1h! Je n'ai pas fait une très bonne présentation, mais je crois m'être rattrapée un peu sur les questions. Ils ont commencé par me faire trouver mes fautes, puis m'ont posé des questions sur les barres d'erreurs, les chiffres significatifs, l'utilité des mesures répétées, le position de l'anémomètre à fil chaud, son fonctionnement, et les conditions de validité de l'écoulement de Poiseuille.

### **Agrégation 2009 - Note : 11/20 - choix avec Mesures   lectriques.**

Commentaires personnels : deux techniciens très dévoués et disponibles. Ils ont passé toute la préparation à manipuler avec moi, il fallait juste que je donne les instructions au début. J'ai été moi même choisir mon matériel dans les salles de réserve. Toutes les manip ont « foir   » . Matériel défectueux (anémomètre à fil chaud instable, billes de verres éparpillées dont on ne connaît ni la taille ni la masse volumique...). Grosse panique, prise de mesures jusqu'à la dernière minute de préparation, exploitation et incertitudes en direct assez à l'arrache. (Je conseille, si ça vous arrive, de lâcher une manip une heure avant la présentation, pour avoir le temps d'exploiter correctement les 3 autres sans paniquer).

### **Agrégation 2009 - Note : 18/20 - choix avec Conversion   lectrom  canique.**

Questions et commentaires du jury : principe de l'anémomètre à fil chaud ? Nom de l'erreur pouvant être commise sur la manip du viscosimètre à bille ? Avantages/inconvénient d'utiliser le dispositif prévu à l'ENS pour Poiseuille avec des raccords souples menant aux capillaires, plutôt que d'utiliser un réservoir directement relié à un long capillaire se vidant dans un b  cher ? Commentaires personnels : la préparation a été compliquée et très stressante car au bout de 3 heures, une seule manip fonctionnait ! Il faut savoir que les capillaires de la manip pour l'écoulement de Poiseuille se bouchent régulièrement, et que pour le trajet Lyon-Paris, le liquide manométrique du tube de Pitot est vidé... Il faut donc bien préciser au technicien

qu'il s'agit d'alcool et non d'eau, au risque d'avoir à purger tout le système et de perdre pas mal de temps... Du coup je n'ai présenté que 3 manips (viscosimètre à billes, écoulement de Poiseuille, illustration de la relation de Bernoulli avec la turbine et le tube de Pitot) mais j'ai détaillé à fond chaque manip. C'est-à-dire justifié toutes les hypothèses et les approximations faites pour l'établissement des relations vérifiées expérimentalement : évaluation du nombre de Reynolds pour les 3 manips ; pour le viscosimètre : distance nécessaire à l'établissement du régime permanent négligeable devant la distance du haut du tube au 1er trait, effets de bords négligés ; pour Poiseuille : distance nécessaire à l'établissement du profil de l'écoulement négligeable devant la longueur du tube, pour Bernoulli : écoulement incompressible ; j'ai également pris toutes les valeurs numériques dans le Handbook, et fait un calcul d'incertitudes pour toutes les manips. On a passé un certain temps à vérifier avec le jury chacune de mes applications numériques, parce qu'ils ne trouvaient pas le même résultat (il se trouve qu'elles étaient correctes). En fait je n'avais pas eu la place au tableau de détailler chaque ligne de calcul (je faisais une régression linéaire et utilisais la valeur de la pente pour extraire la viscosité ou la masse volumique), ce qui a sans doute un peu perdu le jury. Un moyen d'y remédier aurait été d'utiliser des transparents.

### **Agrégation 2010 - Note : 07/20 - choix avec Capteurs et transducteurs.**

Questions et commentaires du jury : j'ai fait « le Poiseuille » , le viscosimètre à bille, « le coefficient de traînée » et le tube de Pitot. Quelle autre incertitude sur la valeur tabulée de la viscosité ? (température). Comment estimer par le calcul la durée du régime transitoire pour le viscosimètre à bille ? Comment on peut expliquer qu'on a bien une loi linéaire pour la loi de Poiseuille mais que les valeurs soient systématiquement supérieures à celles attendues ? Dans la soufflerie est-ce que c'est grave si on fait pas le zéro pour la mesure de la force ? (le ressort était tout bancal, les techniciens avaient eu du mal à faire le zéro et l'avaient dit au jury avant). Pourquoi l'anémomètre à fil chaud serait plus précis que le tube de Pitot ? Pourquoi la position de l'anémomètre à fil chaud a autant d'importance ? Reproductibilité des manips avec la soufflerie ? Commentaires du jury : les manips étant ultra classiques il faut les réaliser parfaitement et justifier toutes les approximations, ça manquait dans mon montage. Le jury m'a reproché d'avoir aligné les manips sans fil conducteur. J'ai loupé mon point pour Poiseuille en direct (ça ne bullait pas), et même si les points de préparation étaient bon ça m'a fait perdre des points. J'ai manqué de rigueur dans mes réponses aux questions. Je n'ai pas assez justifié les protocoles (pourquoi tel diamètre de tube, pourquoi on met une grille à la soufflerie,...) Commentaires personnels : la préparation s'est plutôt bien passée, techniciens très sympas qui m'ont fait plein de points. La fin était un peu speed parce qu'on n'arrivait pas à régler la soufflerie.

### **Agrégation 2013 - Note : 09/20 - choix avec Acquisition analyse et traitement des signaux**

Commentaires personnels : J'ai fait la chute de la bille dans le rhotitherme 1, l'écoulement de Poiseuille, et la soufflerie. La dynamique des fluides n'est pas mon domaine de prédilection et ça s'est senti. Discours brouillon sauf lors de l'explication des expériences. Les expériences ont marché dans l'ensemble. Questions et commentaires du jury : ils ont repris manip par manip. Chute de la bille : vous avez parlé d'effet de bord, vous pouvez en dire plus ? comment détermine t on la vitesse limite ? Comment obtient l'expression de la viscosité que vous avez

marqué au tableau ? La viscosité dépend elle de la température ? Poiseuille : Cette manip était foireuse car je suis remontée à la longueur du capillaire alors que je me servais de cette longueur pour déterminer le diamètre. Je n'avais donc pas assez réfléchi à quoi remonter. J'avais d'énormes incertitudes car entre la préparation et la présentation j'ai enlevé et remis le capillaire sur le vase et le débit était différent car la longueur devait être différent. J'avais évalué la longueur d'établissement du régime. Ils sont beaucoup revenus dessus : Vous pouvez réexpliquer à partir de quand on considère que le régime est établie ? En considérant cette longueur d'établissement, quelle est la différence de pression que l'on évalue alors ? Si on enfonce le tube dans le vase de Mariotte (sans ouvrir le robinet), on voit que le niveau de l'eau par rapport au bout du tube a changé, pourquoi ? Soufflerie : Comment ça marche un anémomètre à fil chaud ? Comment avez vous étalonné la force en fonction de la graduation lue ? Comment êtes vous sûre que la graduation circulaire donne une expression de la force linéaire ? A la proclamation, ils m'ont dit que la manip de Poiseuille était foireuse et que remonter à la longueur du capillaire n'était vraiment pas une bonne idée. Ils m'ont dit que les manips ce sont bien passé mais que ça se voyait que je n'étais pas à l'aise avec les notions.

### **Agrégation 2014 - Note : 09/20 - choix avec « Effets capacitifs »**

Plan : écoulement de Poiseuille, viscosimètre à chute de bille et viscosimètre d'Ubbelohde, écoulement d'air en soufflerie. Les expériences n'ont pas marché du premier coup, je ne trouvais plus certaines valeurs numériques dans le Handbook, et surtout la soufflerie est tombée en panne à cause d'un faux contact, m'empêchant de faire des mesures en préparation. Finalement, le jury est rentré alors que les manips n'étaient pas finalisées, et j'ai donc dû les faire tant bien que mal devant eux. Pour la soufflerie, le jury a été prévenu par les techniciens et m'a proposé de l'aide pour faire les mesures en live. Du coup un membre du jury était à mes ordres pour les manips, ce qui était assez agréable ! :- ) J'ai pu prendre trois points et faire une droite. Au final, malgré des manips pas bien finies, j'ai discuté à chaque fois en détail les protocoles de mesure, les incertitudes, les hypothèses (longueur d'établissement du régime de Poiseuille, régimes permanents atteints, etc. . . ). Les fits ont donné à chaque fois des valeurs à un facteur multiplicatif près, qui venaient de problèmes d'unités que j'ai su corriger pendant les questions. Ils m'ont donné les valeurs numériques des trucs qui me manquaient pour faire les applications numériques. Globalement j'ai su répondre à toutes les questions, et corriger ou préciser les trucs pas clair du montage (ça a pris la moitié du temps de questions). Toutes les valeurs numériques se sont avérées correctes après correction. Vous avez dit que l'écoulement de Reynolds était purement diffusif, vous pouvez justifier pourquoi exactement ? Comment quantifier les effets des bords lors de la chute de la bille ? Comment évaluer numériquement le temps d'établissement du régime permanent pour la chute de la bille ? Pour le viscosimètre d'Ubbelohde, aurait-on pu mesurer la viscosité de l'eau ? (non, il y a des classes différentes selon la gamme de viscosité). Sur la soufflerie : pourquoi le ressort de droite n'a-t-il aucune incidence ? (toujours la même tension à l'équilibre). Entretien avec le jury : Ils ont ressenti le stress de la présentation et ont regretté les nombreuses étourderies lors des calculs, et le manque d'exploitation des mesures. Par contre, ils ont trouvé les expériences très bonnes, bien menées et les protocoles très bien justifiés, ce qui justifie la note. . .

### **Agrégation 2016 - Note : 17/20**

I - Propagation d'une onde : Cuve à ondes II - Écoulement de Poiseuille III - Application à l'aéronotique 1/ Tube de Pitot 2/ Portance : Profil d'aile d'avion

Pourquoi voit-on des "franges" à l'écran sur la cuve à ondes ? Quelles sont les conditions à respecter pour que  $\tanh(kh) = 1$  ? Sont-elles respectées ici ? Quel est le nom des ondes dans ces conditions ? Combien vaut la longueur capillaire de l'eau ? Quelle valeur trouve-t-on pour la tension de surface de l'eau avec une balance d'arrachement ? Comment aurait-on pu mesurer le débit plus précisément dans l'écoulement de Poiseuille ? -> En pesant l'eau recueillie plutôt qu'en lisant le volume dans une éprouvette graduée Comment fonctionne un anémomètre à fil chaud ? Et le manomètre différentiel ? Dans la manip du tube de Pitot, l'air étant compressible, sa masse volumique ne dépend-elle pas de la vitesse de l'écoulement ?

Commentaires : Les techniciens étaient très sympas et m'ont fait absolument toutes les mesures une fois que je leur ai montré comment faire ! Mesures faites peut-être un peu rapidement sur la cuve à ondes, mais bon. Ils entrent aussi les valeurs dans les tableaux Igor, bref il faut profiter d'eux sans scrupule ! (Sans oublier de les remercier à la fin, bien évidemment)

### **Agrégation 2018 - Note : 12/20 - Choix avec Matériaux semi-conducteurs**

Manip : I) Ondes de surface II) Tube de Pitot III) Écoulement de Poiseuille cylindrique.

La préparation s'est bien déroulée, les manip ont été montées vite mais les mesures ont pris du temps. Les techniciens ont fait les trois séries de mesures et ont rentré tout les points dans Igor. Il faut faire attention à aligner le tube de Pitot avec les lignes de courant sinon la mesure est faussée, ne pas oublier de calculer le grandissement de la cuve à onde.

Pour les questions : I) Quelle allure pour les lignes de courant sous la surface ? Comment estimer l'incertitude précisément sur la longueur d'onde ? Pourquoi considère-t-on l'écoulement parfait ? Pourquoi perd-on les vagues après plusieurs longueurs d'onde ? La relation de dispersion est valable pour des ondes planes ? peut on alors mesurer  $\lambda$  près du point source ? II) D'où vient la dépendance en  $d^4$  pour le débit ? Pourquoi avec un Reynolds de 2000 on est en régime visqueux ? Comment varie la pression dans le tube entre deux bulles ? III) Quelle serait l'influence d'un erreur systématique sur le manomètre différentiel ? Comment ça marche un anémomètre à fil chaud ?

Retour du jury : La discussion que j'ai faite à propos du nombre de Reynolds pour les écoulements parallèles les a un peu embrouillé. Dans ce montage il est très important de discuter toutes les approximations qui amènent aux lois que l'on essaie de vérifier (écoulement visqueux laminaire, écoulement parfait, relation de dispersion pour des ondes planes...).

## **MP4 : Capteurs de grandeurs mécaniques**

### **Rapports du jury**

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

**2016** : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse...

Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, certaines grandeurs mécaniques varient dans le temps et il n'est pas obligatoire de se limiter aux grandeurs stationnaires.

**2015** : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse... Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, certaines grandeurs mécaniques varient dans le temps et il n'est pas obligatoire de se limiter aux grandeurs stationnaires.

**2014** : Les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse ... En revanche, ce montage ne peut pas se limiter à l'étude d'un ressort ! Lors de l'étude d'un capteur, le candidat doit s'intéresser aux qualités de fidélité, de sensibilité et de justesse qui permettent d'utiliser ce capteur comme un instrument de mesure. Par ailleurs, les notions de temps de réponse et de fonction de transfert ne doivent pas être ignorées.

**2013** : Dans ce nouveau montage, les candidats peuvent choisir d'étudier tous types de capteurs qui mesurent des grandeurs mécaniques : accéléromètres, jauges de contrainte, capteurs de position, de vitesse ...

Jusqu'en 2013, le titre était : Capteurs et transducteurs

**2010 à 2013** : Les notions de temps de réponse des capteurs et de fonction de transfert des transducteurs sont essentielles. On devrait aussi s'intéresser aux qualités de fidélité, sensibilité et justesse qui permettent de transformer ces capteurs en instruments de mesure.

**2007** : Le montage ne peut se résumer à un catalogue plus ou moins exhaustif des capteurs. Le jury attend au moins une étude approfondie des propriétés de l'un des capteurs présentés ainsi que celle d'un transducteur. Les principes physiques qui sous-tendent le fonctionnement des capteurs étudiés ne peuvent être ignorés des candidats.

## Retours d'oraux

# MP5 : Mesures de températures

## Rapports du jury

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

**2016, 2015** : De nombreux candidats utilisent à bon escient les échelles secondaires de température (résistance de platine) et ont compris que la notion de point fixe est essentielle pour l'établissement d'une échelle thermométrique. En revanche, certains ignorent encore les

mécanismes physiques mis en jeu dans les différents capteurs qu'ils utilisent et ne réfléchissent pas suffisamment à la précision requise lors de l'utilisation d'un thermomètre «de référence». Enfin, il serait intéressant de faire intervenir des capteurs de température plus modernes, comme des caméras infrarouges.

**2014** : De nombreux candidats utilisent à bon escient les échelles secondaires de température (résistance de platine) et ont compris que la notion de point fixe est essentielle pour l'établissement d'une échelle thermométrique. En revanche, certains ignorent encore les mécanismes physiques mis en jeu dans les différents capteurs qu'ils utilisent et ne réfléchissent pas suffisamment à la précision requise lors de l'utilisation d'un thermomètre « de référence ». Enfin, il serait intéressant de faire intervenir des capteurs de température plus modernes, comme des caméras infra-rouge.

Jusqu'en 2013, le titre était : Échelles et mesures de température.

**2013** : Les candidats utilisent en général à bon escient les échelles secondaires de température (résistance de platine). Les mécanismes physiques mis en jeu dans les différents capteurs utilisés doivent être connus. La notion de point fixe est essentielle pour l'établissement d'une échelle thermométrique.

Jusqu'en 2013, le titre était : Thermométrie.

**2012** : Ce montage est trop souvent réduit à un catalogue de capteurs thermométriques sans hiérarchie : la notion de points fixes est trop souvent inexploitée, ou mal exploitée. En 2013, il devient échelles et mesures de température. Lors de l'utilisation de thermocouples, il faut en connaître le principe, la température de référence, et le domaine de validité.

**2010** : Comme recommandé dans les précédents rapports, les candidats utilisent en général à bon escient les échelles secondaires de température (résistance de platine). Les mécanismes physiques mis en jeu dans les différents capteurs utilisés doivent être connus. La notion de point fixe est essentielle pour l'établissement d'une échelle thermométrique. Il est important de faire la différence entre mesure et repérage de température.

**2009** : On attend dans ce montage des manipulations plus pertinentes que l'étalonnage d'une résistance de platine par un thermomètre à mercure. La notion de point fixe doit être connue.

**2008** : Ce montage ne peut pas se résumer à une simple comparaison de capteurs. La notion d'échelle de température doit être dégagée. Le jury rappelle le statut particulier des thermomètres de référence (thermomètre à gaz et résistance de platine) et des points fixes.

Jusqu'en 2000, le titre était : Thermométrie : capteurs, points fixes, étalonnages, mesures.

**2000** : Deux types de thermistances existent, dénommées CTP lorsque la résistance augmente avec la température, et CTN dans le cas contraire. Certains candidats ont fait des confusions à ce sujet. Dans le cas des CTN à semi-conducteur, il convient d'explorer une gamme de températures suffisamment large si l'on veut vérifier la relation  $R_g = R_0 \exp(-E_g / k_B T)$ . Sur l'étendue 20-50 degrés, la courbe donnant  $R_g(T)$  peut tout à fait s'avérer aussi proche d'une droite que la courbe donnant  $\text{Log}(R_g) = f(1/T)$ ...

## Retours d'oraux

**Agrégation 2009 - Note : 04/20 - choix avec Amplification de signaux.**

Questions et commentaires du jury : échelles de température, points fixes ? à quoi est lié

le temps de réponse d'un capteur ? Thermomètre à gaz : que peut-on dire de l'ordonnée à l'origine et de « l'abscisse à l'origine » ? Ordre de grandeur de la température du filament de la lampe est-il correct ? Principe de l'ohmmètre ?

### **Agrégation 2013 - Note : 12/20 - choix avec Amplification de signaux.**

Commentaires personnels : J'ai fait la manip du thermomètre à gaz avec la seringue, où l'on trace une droite dans le diagramme d'Amagat et on construit une échelle à partir de l'ordonnée à l'origine. Ça n'a pas très bien marché, ils sont donc revenus dessus. Je pense qu'ils voulaient me faire dire que supposer que  $PV = a(T) + b(T) \times P$  est une grosse approximation pas toujours vérifiée.

### **Agrégation 2014 - Note : 20/20**

Questions du jury :

Une première série sur l'échelle de température, comment elle est fixée, est-ce que je connais d'autres points triples que l'eau dedans, comment on fait des mesures sur les différentes plages de température, sur quelle plage la loi de Planck, la résistance de platine – Sur la première manip : principe d'une mesure à quatre points, ça veut dire quoi PT100, ce qui mène sur pourquoi on ne mesure pas 100 Ohm dans l'eau-glace, en lien avec la question précédente est-ce qu'on est sûr qu'il n'y a pas d'autres facteurs que la pression pour la température de fusion par exemple (les minéraux dedans), interprétation d'un coefficient (si on met la résistance en  $a + b \cdot T$  en K, le  $a$  est légèrement négatif, mais c'est normal car la loi n'est plus valable à basse température), estimation des incertitudes, précision électrique de la mesure, est-ce que la mesure à quatre points est tout le temps utile, comment précisément a été calculée l'incertitude sur les coefficients de la droite, est-ce que vous pouvez me détailler comment on calculerait l'incertitude sur la sensibilité du thermomètre (avec une erreur produit et une erreur somme), pourquoi une résistance de platine et pas autre chose (du bismuth par exemple) – Sur la deuxième manip : c'est quoi un corps noir, pourquoi le four fait un rayonnement de corps noir, c'est quoi une thermopile (typiquement j'ai juste eu le temps de dire « des thermocouples en série électriquement et en parallèle thermiquement, et il m'a coupé pour continuer), pourquoi ça a bougé par rapport aux points de la préparation (la thermopile avait un peu tourné), pourquoi on peut par retomber sur la constante de Stefan, pourquoi avoir ajusté un  $T^4$  plutôt qu'une droite, le thermocouple dans le cul du four, il compare avec quoi (la température interne qui est celle extérieure) – Pour la troisième manip, des questions plus ou moins longues sur tout les coefficients, et leur signification physique et interprétation, sur le fait d'ajuster avec une loi complète ou pas, sur la valeur trouvée pour le gap, pourquoi ne pas avoir mis directement dans de la glace ou de l'eau chaude (question de thermalisation et de temps de réponse des capteurs), si c'est diffusif comment estimer le temps caractéristique, et si c'est convectif (il y avait un turbulent) – Pour la dernière manip (que j'avais faite rapidement, sans montrer de résultat vraiment joli parce qu'il fallait conclure -satané corps noir-), est-ce que je peux ré-expliquer rapidement ce que je mesure et comment, comment je sais que c'est bien le temps de réponse que je mesure, pourquoi ce choix de manipulation, interprétation de la courbe, comment estimer physiquement le temps de réponse (diffusion thermique), puis le membre du jury tout souriant m'a fait re-zoomer deux fois sur la courbe (j'avais déjà zoomé), et on a fait apparaître une magnifique exponentielle que je désespérais d'avoir (en fait je pensais que ça foirait un peu, j'avais fait la

dernière version du montage pendant l'oral en vingt secondes ...), et il a eu l'air très content, commentaires sur la forme de l'exponentielle.

Remarques générales : Sinon le jury et les préparateurs étaient hyper sympas pendant la préparation et le passage, et les préparateurs m'ont bien aidé pour les problèmes techniques qui sont survenus, notamment le fait de devoir utiliser deux ordinateurs avec un seul écran, mais deux claviers et deux souris bien évidemment. Le membre du jury tout souriant voyant que je galérais avec le temps de réponse (il fallait que je fasse le tour de la table après avoir déclenché la prise de mesure de 3 secondes) a insisté pour le lancer pour moi pendant le montage, il a fait un petit décompte et tout, c'était cool!

### **Agrégation 2016 - Note : 15/20 - Choix avec Mise en forme, transport et détection de l'information.**

Expé 1 : Étalonnage d'une résistance de platine en utilisant 4 points fixes

Expé 2 : Principe du thermocouple.

Expé 3 : Pyromètre.

Question : - À quoi sert l'arrivée d'eau pour le four? - Comment qu'ça fonctionne une thermopile? - Les fils pour mesurer le potentiel entre les deux thermocouples sont en cuivre : n'y a-t-il pas un «effet parasite» à cause de la jonction cuivre/métal A du thermocouple? - Les coefs thermo-électriques sont toujours constants? Entre la linéarité du thermocouple ou de la résistance de platine, vous pouvez discuter? - Il y avait des morceaux de solide dans votre azote liquide hors du point triple : c'est quoi? Est-ce ça a une influence sur la température d'ébullition/point triple?

Commentaire : Jury très agréable, technicien très gentils également. J'avais prévu de faire quelque chose de plus transcendant et ambitieux pour la deuxième manip', à savoir l'évolution avec la température d'une thermistance. Mais de peur de me planter, j'ai préféré rester simple. En contrepartie, j'ai sorti les notices de tous les appareils et essayer de discuter à fond toutes les incertitudes pour faire un peu valoir des manip' très classiques dans le fond. Il semble que le jury a particulièrement apprécié le fait que je fasse les 4 mesures pour la résistance de platine devant eux, et ce même si ça a pris du temps.

## **MP6 : Transitions de phase**

### **Rapports du jury**

**2017** : Ce montage doit être quantitatif et il ne faut donc pas se limiter à une série d'expériences qualitatives mettant en évidence des transitions de phases dans différents systèmes. Il faut, lors des mesures, avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés.

**2015, 2016** : Ce montage doit être quantitatif et il ne faut donc pas se limiter à une série d'expériences qualitatives mettant en évidence des transitions de phases dans différents systèmes. Il faut, lors des mesures, avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés.

Enfin, il faut rappeler aux candidats que le diazote n'est pas le seul liquide dont il est possible de mesurer la chaleur latente de vaporisation et que plonger un corps solide dans un liquide conduit à l'existence d'une force appelée poussée d'Archimède.

**2013 et 2014** : Ce montage doit être quantitatif. Il faut pour cela avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés. Dans les expériences de calorimétrie, il est important de tracer l'évolution temporelle de la quantité mesurée (température, masse) avant et après le phénomène étudié afin d'estimer les fuites thermiques.

**2010 à 2012** 2012 : Ce montage peut et doit être quantitatif. Il faut pour cela avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. La chaleur latente peut provenir de mesures calorimétriques, pas seulement de la courbe  $p(T)$ .

**2009** : Ce montage peut et doit être quantitatif. La notion de chaleur latente est trop souvent absente.

**2008** : Ce montage doit faire l'objet de mesures. L'établissement des équilibres thermiques étant parfois long, il est nécessaire de bien gérer le temps et d'anticiper le démarrage des expériences. La durée des régimes transitoires doit être prise en compte dans les interprétations.

**2007** : Il est important de ne pas se contenter d'une série d'expériences qualitatives.

**1999** : Le montage ne saurait se limiter à la détermination de quelques points du diagramme de phase d'un corps pur. Il est souhaitable de mesurer, par exemple, une chaleur latente. Lorsqu'il s'agit de la chaleur latente de vaporisation (enthalpie)  $L_v$  de l'azote liquide à la pression atmosphérique, le protocole souvent mis en œuvre consiste à introduire une résistance chauffante dans le calorimètre Dewar ; la détermination de l'énergie électrique consommée pendant un certain temps et la mesure de la masse du liquide vaporisé permettent de trouver l'enthalpie cherchée, même si on se place, le plus souvent à tort, dans l'hypothèse très défavorable des grandeurs corrélées, la détermination classique de l'incertitude (portant sur les mesures de masse, de temps, de tension et d'intensité) ne permet pas en général de justifier l'écart important entre la valeur de  $L_v$  ainsi déterminée et la valeur tabulée : le mode opératoire introduit en effet des erreurs systématiques qui doivent être prises en compte pour aboutir à un résultat corrigé. La manipulation est même un bel exemple pour illustrer ce sujet : l'hypothèse qui sous-tend la mesure est que toute l'énergie électrique consommée sert à vaporiser le liquide, or, en général, la résistance chauffante est loin de plonger toute entière dans celui-ci, à défaut de pouvoir résoudre totalement ce problème on se placera dans les conditions les moins défavorables possibles. De plus, si on n'y prête pas attention, la pesée du calorimètre contenant l'azote liquide prend en compte la poussée d'Archimède exercée sur la résistance chauffante qui varie évidemment avec le niveau du liquide ; la vaporisation a lieu même si on ne chauffe pas, la correction nécessaire est facile à déterminer. Elle peut être non négligeable. Ce n'est qu'après avoir corrigé tous ces biais qu'on peut commencer à évaluer l'incertitude.

## Retours d'oraux

**Agrégation 2012 - Note : 08/20**

SF6 : comment améliorer la thermalisation ? Explication de l'opalescence critique ? Calorimétrie : comment améliorer le protocole ? Courbe température en fonction du temps dans le calorimètre ? Comment l'utiliser pour arriver au résultat ?

**Agrégation 2014 - Note : 11/20 - Choix avec « Instabilités et phénomènes non linéaires »**

(I) SF6 : Incertitudes sur la lecture de la pression et du volume ? Température critique ? Hypothèses pour le modèle du gaz parfait ? Phénomène physique à l'origine de la thermalisation ? Comment estimer le temps de thermalisation ? De quel paramètre dépend le coefficient de diffusion ? (II) Acquisition de la courbe de refroidissement de l'étain liquide à solide avec Picolog. Détermination de la température de fusion de Sn. La température de fusion est-elle toujours la même ? De quoi dépend elle ? La profondeur de la surfusion est elle toujours la même ou varie-t-elle d'une expérience à une autre ? Comment fonctionne le thermocouple que vous avez utilisé ? (III) Pourquoi avez vous donné un intervalle de confiance à plus ou moins 100°C ? Quelles sont les plus grosses sources d'erreur sur cette mesure ? Comment pourrait-on l'améliorer et obtenir une mesure précise ? Que signifie la lettre K sur le thermocouple ? Pourquoi avoir utilisé une mesure 4 fils pour la résistance du supraconducteur ? Pouvez vous expliquer le principe de la mesure 4 fils ? Que signifie le Y dans YBaCuO ?

**Agrégation 2014 - Note : 07/20**

J'ai mené trop d'expériences de front pour gagner du temps (SF6, chaleur latente azote, fusion de l'étain, transition métal/supra). Résultat : j'avais plein de données que les techniciens m'avaient notés sur papier (du genre 5 isothermes avec 30 points par isotherme pour le SF6), qu'on n'a pas pu rentrer sur l'ordinateur à la fin de la préparation. Je n'ai donc pas pu exploiter ces courbes ainsi que celles sur l'azote. J'ai essayé de sauver le montage en reprenant des points devant le jury, l'expérience du SF6 devient qualitative avec une isotherme, et la manip de la chaleur latente n'a pas marché (sous le coup du stress certainement, j'ai pris des pertes de masse pendant des durées différentes, erreur stupide...). Les questions portaient essentiellement sur les manipulations . Le jour des résultats, le jury m'a dit que bien évidemment, une expérience quantitative ne suffisait pas (celle de la fusion de l'étain était la seule qui avait bien fonctionné) mais que j'avais bien répondu aux questions sur les expériences et que j'avais fait mon possible. Un conseil : traiter plus rapidement vos données, pour avoir une expérience quantitative qui tient la route.

## MP7 : Instruments d'optique

### Rapports du jury

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

**2016, 2015** : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. L'étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. Les candidats doivent comprendre quelles sont les conditions pour que la mesure du grossissement puisse se ramener à la mesure d'un grandissement lorsqu'ils présentent des dispositifs afocaux. Enfin, dans certains cas, les candidats peuvent envisager l'utilisation de lunette de visée afin d'améliorer leurs mesures.

**2013, 2014** : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. L'étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. De bons exposés ont été observés sur ce sujet.

Jusqu'en 2013, le titre était : Instrument(s) d'optique.

**2012** : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. Il ne faut pas appliquer sans discernement un protocole trouvé dans un livre. Les conditions de stigmatisme (approché ou rigoureux), les conditions de Gauss, les aberrations géométriques et les aberrations chromatiques ... doivent être connues. Les manipulations proposées doivent illustrer réellement le fonctionnement de l'instrument choisi.

**2011, 2010** : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. Il n'est pas suffisant d'appliquer aveuglément un protocole trouvé dans un livre.

Jusqu'en 2010, le titre était : Instruments d'optique.

**2009** : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. Il n'est pas suffisant d'appliquer aveuglément un protocole trouvé dans un livre

**1997** : Il est intéressant d'illustrer l'effet du verre de champ d'un instrument d'optique en expliquant son intérêt. On peut aussi souligner comment les qualités du récepteur jouent sur la résolution spatiale d'un instrument objectif.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 19/20

Une partie des questions est revenue sur des petits défauts de mes montages (4P mal fait pour une des lentilles par exemple...) pour me les faire corriger. Les autres :

- Expliquer les incertitudes sur la mesure de Bessel. Vous parlez de propagation, au moyen de quelle formule ?

- Comment votre logiciel réalise-t-il l'ajustement linéaire ?

- D'une manière générale, comment peut-on minimiser les aberrations géométriques ? (conditions de Gauss)

- Critère de Rayleigh, pourquoi la fente est-elle collée à la lentille ? (conditions de Fraunhofer)

- Discussion assez longue sur les notions de grandissement, grossissement et les mesures effectuées. Ainsi : pour un microscope on parle de grossissement, pourquoi ? Pourtant votre mesure, avec projection de la mire sur l'écran, est bien une mesure de grandissement ? (en effet, grandissement du système complet, microscope + écran). Cela ne pourrait-il pas induire un élève en erreur ? De la même façon, pour le grossissement de la lunette astronomique, en

fait vous mesurez un grandissement ? Pourquoi peut-on affirmer que le grandissement mesuré est en fait le grossissement de la lunette ?

- Comment fonctionne le filtre  $\lambda=546\text{nm}$  ?

- Il y a des aberrations géométriques aux bords de l'image issue de la lunette astronomique, comment les limiter ici ? (diaphragme de champ)

Techniciens hyper enthousiastes et disponibles. Je leur ai fait faire une série de mesure qu'ils ont très bien réalisée puis rentrée dans igor.

## MP8 : Interférences lumineuses

### Rapports du jury

**2017** : Les connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle doivent être reliées aux observations expérimentales. Enfin, il est judicieux de réaliser des expériences simples avant de se lancer dans des expériences sur les notions de cohérence.

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

**2013, 2014** : Certains candidats ne font pas le rapport entre leurs connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle, et leurs observations expérimentales. Il en résulte alors des montages mal réglés ou mal utilisés. Pourtant ce montage peut fournir des résultats quantitatifs précis. Il est en particulier intéressant de se placer dans des cas limites où la cohérence spatiale ou la cohérence temporelle peuvent être étudiées indépendamment. Enfin, il n'est pas raisonnable d'envisager d'apprendre à régler un interféromètre de Michelson devant le jury.

Jusqu'en 2013, le titre était : Interférences lumineuses ; conditions d'obtention.

**2012** : Les dispositifs d'interférences sont très divers. En choisir deux bien maîtrisés permet des présentations de qualité sur les cohérences spatiale et temporelle, et une analyse du lien entre les considérations théoriques et les observations expérimentales. Des montages bien réglés et bien utilisés fournissent des résultats quantitatifs précis si le candidat s'y prend bien. Il ne faut pas confondre les annulations périodiques de contraste obtenues avec un doublet (souvent le doublet jaune du sodium) et la teinte plate de fin de cohérence temporelle due à une trop grande différence de marche. Les battements de contraste donnent des informations sur l'écart des longueurs d'onde entre les deux raies du doublet, mais ne donnent pas d'information sur la longueur de cohérence de la source lumineuse.

**2010 et 2011** : Trop de candidats ne font pas le rapport entre leurs connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle, et leurs observations expérimentales. Il en résulte souvent des montages mal réglés ou mal utilisés. Pourtant ce montage peut fournir des résultats quantitatifs précis si le candidat s'y prend bien.

Jusqu'en 1997, le titre était : Interférences.

**1994** : Trop de candidats ne maîtrisent pas les notions de localisation ou de non-localisation des interférences lumineuses. Quant à la définition correcte de la cohérence spatiale et de

l'échelle ou de l'aire de cohérence, aucun candidat ayant pourtant choisi un sujet s'y rapportant (interférences, diffraction, laser) n'a pu la donner. Certains connaissent pourtant la définition des fonctions de corrélation et le théorème de Wiener-Kintchine. Dans tous les cas, le jury attend des approches quantitatives sur la mesure de la cohérence temporelle et de la cohérence spatiale d'une vibration lumineuse.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2014 - Note : 14/20

Pourquoi mettre un verre anti-calorifique devant la lampe quartz-iode ? Comment fonctionne le dispositif Caliens ? Expliquer le réglage du condenseur de la lampe par rapport aux autres éléments du banc optique.

### Agrégation 2016 - Note : 13/20

Manips :

- Fentes de Young, ajustement à la caméra CCD - Largeur de la raie verte mercure - Écart du doublet du sodium (pas le temps) - Fresnel Arago

Questions : - À quoi sert la fente fine avant les fentes de Young ? Quelle différence si on l'enlève. - Quel terme est de la diffraction et quel terme est de l'interférence ? - Diverses questions sur la spectroscopie par transformée de Fourier.

Commentaires personnels :

La manip des fentes de Young a super bien marché, mais j'ai paniqué sur le Michelson. Je savais faire le réglage initial, mais pas du tout le passage entre les deux configurations, et j'ai perdu du temps à essayer de reprendre la théorie qui me manquait : résultat, je n'avais qu'un Michelson à peu près réglé quand le jury est arrivé, et j'ai bien galéré en présentation pour changer la configuration entre les expériences. Je pense que j'aurais dû faire mes expériences sur deux Michelsons différents pour ne pas trop avoir à retoucher les configurations.

## MP9 : Diffraction des ondes lumineuses

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage a parfois été très bien présenté. Une condition nécessaire est de connaître la différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel, et on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique complémentaire. Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'onde de lasers !

**2016** : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises. La détermination de la taille d'un fil ou d'un cheveu est d'autant plus intéressante que la valeur mesurée peut être comparée à une valeur tabulée ou mesurée par une technique

complémentaire. Le jury voit trop souvent des expériences de diffraction par des fentes, généralement mal calibrées, servir à mesurer des longueurs d'ondes de lasers!

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

**2014** : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer sont remplies si l'on utilise les formules associées. Attention aux expériences de filtrage spatial qui sont souvent mal comprises.

**2010 à 2013** : La différence entre diffraction de Fraunhofer et diffraction de Fresnel doit être connue, et l'on doit s'assurer que les conditions de Fraunhofer (tant sur l'onde incidente que sur le plan d'observation) sont remplies si l'on utilise les formules associées. Rappelons que les phénomènes de diffraction peuvent s'observer avec d'autres sources lumineuses que des lasers, dont le « speckle » peut parfois nuire à la précision des mesures. À propos des réseaux : • Attention aux protocoles de réglages : alignements (bancs d'optique conseillés), orientation, hauteur, conditions de Fraunhofer. • Attention aux conditions de validité des relations employées : l'angle d'incidence n'est pas toujours nul (par exemple dans la relation de Bragg) : on peut avoir intérêt ou pas, à se placer à un minimum de déviation.

**2009** : La diffraction de Fraunhofer est souvent évoquée sans que ses conditions d'obtention soient bien connues. Rappelons que les phénomènes de diffraction peuvent s'observer avec d'autres sources lumineuses que des lasers.

**2008** : Dans toute expérience d'optique, les figures sont de bien meilleure qualité quand les appareils sont convenablement alignés. Ce fut tout particulièrement le cas pour ces deux montages.

**2004** : Dans ces montages, les mesures de largeurs de fentes mal calibrées, ou dont la largeur est donnée de manière indicative (sans indication de précision), ne peuvent pas constituer le thème central de l'étude. Il serait illusoire d'espérer déterminer avec une précision satisfaisante la longueur d'onde d'un laser He-Ne à partir de l'analyse de la figure de diffraction par une fente, même calibrée. L'utilisation de montages avec réseaux doit être mieux maîtrisée, en évitant de confondre angles et déviations par rapport à l'ordre zéro. Les conditions de Fraunhofer, plus larges que la simple diffraction à l'infini, gagneraient à être connues. Dans les expériences de filtrage spatial de type passe-haut, l'utilisation d'objets de phase serait certainement plus pertinente que celle d'une plume.

**2000** : La diffraction est certes un phénomène gênant, mais pas uniquement : le principe de fonctionnement d'instruments comme les réseaux optiques repose sur son existence. L'optique diffractive prend de plus en plus d'importance industrielle.

**1999** : Le passage de la diffraction de Fresnel à celle de Fraunhofer peut donner lieu à une estimation quantitative des conditions à remplir.

**1997** : On doit pouvoir donner le critère quantitatif de la limite entre l'approximation de Fresnel et celle de Fraunhofer. Le filtrage en éclairage incohérent a aussi des applications.

**1994** : La strioscopie est rarement montrée dans de bonnes conditions. Tout comme la réussite des expériences de biréfringence, la conduite de cette expérience exige une certaine

maîtrise théorique du sujet.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2013 - Note : 09/20

Questions du jury : Qu'est-ce que vous avez voulu montrer par votre première expérience ? Quelle différence entre Fresnel et Fraunhofer ? Est-ce que l'on ne peut pas tirer davantage d'information de votre première courbe (largeur de la tache principale de diffraction en fonction de l'ouverture de la fente, ndlr) ? Pour le choix du laser vert, vous avez parlé du rôle du filtre anticalorique. N'y a-t-il pas une autre raison (max de sensibilité de l'oeil, ndlr) ? Dans les expériences de filtrage, vous avez parlé de transformée de Fourier, mais dans quel domaine ? Remarques du jury : Début de l'exposé pas clair, et questions correspondantes aussi. Il manquait un enchaînement logique pour rendre l'exposé plus pédagogique. Sinon, la suite était bien et a été appréciée. Pouvoir de résolution bien traité, et filtrage aussi. L'expérience sur la diffraction de Fresnel est rarement présentée ainsi (protocole du Duffait, ndlr). Ça a été apprécié. Ce qui manquait pour passer au dessus de la moyenne, c'est une exploitation plus poussée des courbes. Il faut les exploiter jusqu'au dernier détail.

### Agrégation 2014 - Note : 09/20 - Choix avec « Amplification de signaux »

J'ai présenté la diffraction de Fresnel, celle de Fraunhofer via la diffraction par un fil, la diffraction par un réseau à l'aide d'un spectromètre, les limites liées à la diffraction (critère de Rayleigh). Questions : Autres types de diffractions ? Construction des anneaux de Fresnel (cf Bruhat optique) ? Dans Fresnel, où est située la source ? Dans Fraunhofer, expliciter les incertitudes prises en compte. Quels types de réseaux existent ? Leur fonctionnement ? Comment fonctionne le spectro ? En préparation les techniciens ont été très sympa et à l'écoute cependant ils m'ont plus ralenti qu'autre chose sur certaines manip. Concernant le spectro, Ulysse était cassé et Ocean optics uniquement sur le pc de Lyon qui était déjà utilisé donc j'ai pris un autre spectro dont je ne connaissais pas le logiciel, ça m'a valu la détection de 2 longueurs d'onde correspondant à la série de Balmer au lieu de 4 et une question à laquelle je n'ai pas su répondre. J'ai eu beaucoup de mal à obtenir plus de 3 anneaux de Fresnel (j'ai tout essayé sauf modifier la distance objectif de microscope/trou, c'est le jury qui me l'a fait remarquer) cependant ils ont apprécié la prise de risque avec cette manip qui est très rarement présentée. Pour la spectro, ils m'ont dit lors de l'entretien que c'était un peu hors sujet, et que la diffraction par un réseau pouvait cependant être présentée via un réseau posé sur un goniomètre tout en utilisant la formule des réseaux. Pour le critère de Rayleigh (que je n'ai pas eu le temps de présenter) qui n'était que qualitatif, ils conseillent de remplacer cette manip par une autre plus quantitative. En sortant du montage que j'ai passé à 5h30 et qui était mon premier oral, j'étais certaine d'avoir 3 ou 4/20. Au final j'ai eu 9, ce qui reste correct pour un montage et m'a permis d'avoir l'agreg. Surtout ne vous auto-évaluez pas, on n'y pense pas assez mais nous préparons l'agrégation dans les meilleures conditions et on place la barre très haute tout au long de l'année, le jour J c'est différent.

### Agrégation 2016 - Note : 14/20

- Quelle est la différence entre diffraction de Fraunhofer et Fresnel ?

- Comment mesurer la taille d'une fente autrement que par diffraction (par microscope).
- Quelle est l'origine des fluctuations pour les hautes intensités? (soit la saturation, soit quelques cellules abîmées, soit une structure dans le faisceau incident. Pour discriminer, on déplace la caméra, on met des densités optiques).

Plan : I- Figure de diffraction par une fente II- Diffraction par N motifs a) Répartis périodiquement : le réseau par transmission b) Répartis aléatoirement : les spores de lycopodes (pas fait)

Remarques : - Je suis passé en dernier (vers 18H) et il n'y avait plus beaucoup de lentilles disponibles... Dommage pour un montage d'optique. - Le jury a apprécié que je leur montre que toutes les optiques ont été alignées : utilisation d'un banc d'optiques, renvoi des réflexions (celles de l'autocollimation et des reflets des filtres) directement dans la fente source. J'ai aussi montré que la figure observée est bien due à de la diffraction et non d'éventuelles structures dans le faisceau résultant de la présence d'un filament dans la QI. - Impossible de réaliser les lycopodes avec le matériel disponible...

Retour sur l'entretien avec le jury : Bonne présentation, candidat à l'aise et explications claires . C'est dommage car "Si vous aviez fait les lycopodes, on vous mettait 18". Trois manipulations quantitatives, c'est vraiment le top. Faire une mesure à l'ordre 1 et -1 pour s'affranchir de l'angle d'incidence dans les calculs.

## MP10 : Spectrométrie optique

### Rapports du jury

**2017** : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. S'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

**2016** : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. S'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

**2015** : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. S'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

**2014** : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. Dans le cas où un candidat souhaite utiliser un spectromètre qu'il a réalisé lui-même, il est rappelé que la mesure des angles au goniomètre est bien plus précise que le simple pointé avec une règle sur un écran ; en outre, s'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit

s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

**2010 à 2013** : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe et sa manipulation doivent être connus. Le prisme à vision directe doit être réservé aux observations qualitatives. Enfin, le pouvoir de résolution des appareils doit être connu et leurs limitations discutées. Dans le cas où un candidat souhaite utiliser un spectromètre qu'il a réalisé lui-même, il est rappelé que la mesure des angles au goniomètre est bien plus précise que le simple pointé avec une règle sur un écran.

**2008** : La spectrométrie par transformée de Fourier, souvent réalisée de façon semi-quantitative sur les raies du mercure ou du sodium, se prête à un enregistrement numérique, qui sans être indispensable, est bien plus démonstratif et permet des mesures sensiblement plus précises. Si le cœur du sujet est la mesure de longueurs d'onde, les phénomènes qui affectent la résolution des spectromètres ne doivent pas être ignorés.

**2007** : La mesure de longueurs d'onde est le cœur du sujet mais il faut aborder la notion de résolution des appareils de mesure et les phénomènes responsables de sa limitation.

**2005** : La notion de résolution est importante et doit être abordée. Il en est de même de l'influence de la largeur de la fente d'entrée. L'usage des spectromètres informatisés à fibre ne doit pas être exclusif.

**2002** : L'utilisation de spectroscopes intégrés à un ordinateur et illuminés par fibre optique permet de réaliser rapidement des spectres convaincants mais ne nécessitant pas de pouvoir de résolution élevé. La connaissance du fonctionnement et des facteurs qui limitent la résolution de ce système « boîte noire » est indispensable. Le jury apprécie aussi l'utilisation de spectromètres à fentes traditionnels lorsqu'un grand pouvoir de résolution est nécessaire ou lorsqu'on cherche à illustrer quantitativement le rôle des fentes d'entrée et de sortie sur les performances des spectromètres.

Jusqu'en 1999, le titre était : Spectrométrie optique ; résolution.

**1998** : Dans les cas usuels d'utilisation des spectromètres, la largeur de la fente d'entrée, celle de la fente de sortie ainsi que la diffraction par l'élément dispersif ont une grande importance dans le pouvoir de résolution apparent ; un des objectifs du montage est de montrer le rôle respectif de ces paramètres.

**1994** : Ce montage est en général très mal traité. Le fait de montrer la dispersion par un prisme est bien entendu loin d'être suffisant. Rappelons que les prismes et les réseaux doivent être utilisés en lumière parallèle. Le rôle des fentes d'entrée et de sortie doivent être pris en compte dans l'analyse du spectroscopie. La notion de fonction d'appareil est bien souvent complètement ignorée.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 09/20 - choix avec Transitions de phase.

Questions et commentaires du jury : origine de la largeur des raies ? Comment améliorer l'incertitude attachée à la mesure faite avec le réseau ? Comment améliorer l'incertitude attachée à la mesure faite avec le Michelson ? Commentaires personnels : j'ai choisi d'utiliser un réseau pour la détermination relative et absolue de longueur d'onde, puis un tube de Plucker avec un spectromètre Ulice, et finalement la détermination des longueurs d'onde des

2 raies du sodium avec un Michelson. Sur l'expérience du réseau, il m'a été reproché d'avoir bougé un peu l'écran entre l'expérience d'étalonnage, et la mesure de la longueur pour la raie en direct, c'est normal. Il faut étalonner le spectromètre avec des raies connues, d'après un des correcteurs, et ne pas croire a priori les valeurs indiquées par le programme (sortir la notice). On m'a reproché de n'avoir pas réglé le Michelson au mieux, je me demande comment j'aurais pu mieux faire, pour augmenter le contraste, puisque justement, on cherche des zones de contraste nul. Le parallélisme des miroirs était à mon avis bon. Il faut parler de la résolution. Même avec des manips propres (j'ai demandé au jury, celle du réseau était propre, et celle du Michelson bonne) le moindre écart dans les mesures, ou des incertitudes qui ont un mauvais odg, coûtent cher. Même avec un bon réglage de hauteur, une diminution des aberrations au mieux, il faut encore exploiter correctement les manips, ce qui n'est pas toujours aisé en direct.

### **Agrégation 2012 - Note : 15/20 - choix avec Transitions de phase.**

Questions et commentaires du jury : plein de questions sur le montage avec le réseau : comment avoir une belle image, résolution, facteurs influant sur la résolution (fente, grain du récepteur, nombre de traits, géométrie) tout ça pour me faire dire au bout de 15 minutes la diffraction. Décrire le montage du Michelson : pourquoi on projette comme ci et pourquoi on condense comme ça.

### **Agrégation 2012 - Note : 09/20 - Choix avec Ondes Acoustiques**

En gros le jury n'avait rien à dire sur la résolution du doublet du sodium au Michelson, à part qu'ils auraient aimé une évaluation à la main devant eux de la période des battements et donc un ODG du décalage entre les longueurs d'onde, qu'on aurait comparé à la valeur donnée par l'acquisition de préparation. Mais le professeur préparateur agrégé m'avait dit en passant dans la salle une heure avant quand il regardait les manips « ah c'est bien l'acquisition mais surtout pas oubliez pas d'en relancer une partie devant eux », ce que je comptais bien faire, donc après qu'ils se mettent d'accord... Ils n'étaient pas du tout d'accord avec ma manière d'évaluer les incertitudes sur Balmer. La première partie du montage avec les manips qualitatives/étalonnage a été tellement catastrophique qu'ils ne pouvaient pas mettre la moyenne. Heureusement que j'ai à peu près compris pendant les questions pourquoi c'était n'importe quoi et que j'ai expliqué ce qui aurait dû être fait. Il faut se placer dans les conditions de Fraunhofer : on ne met pas le réseau n'importe où... influence axe optique pas normal aux appareils. Utilité du diaphragme que j'avais ajouté sur la lentille pour être dans les conditions de Gauss. On est pas vraiment en incidence normale : on ajuste  $\sin(\theta) - \sin(\theta_0) = k\lambda/l$ . Ça paraît débile mais dans le feu de l'action, quand on essaye d'avoir une belle paillasse et pas passer 50 ans sur l'exploitation on pense pas à tout... In fine, le spectromètre USB est un spectromètre étalonné. Soit on utilise un spectromètre analogique à réseau, qu'on étalonne, mais à ce moment-là faut le faire proprement, c'est trop approximatif avec une règle, il faut bidouiller le mode op pour avoir un dispositif de relevé d'angle optimal. Et à ce moment-là on utilise ce spectromètre étalonné pour faire de la spectrométrie, pourquoi pas Balmer. Soit on utilise le spectromètre USB et il faut alors faire bien l'étalonnage : l'incertitude n'est pas donnée par la largeur de raie ! Il faut bien suivre la notice, et montrer l'influence de la résolution de la fibre optique, de l'acquisition, l'influence du temps de moyennage...

## Agrégation 2012

Qu'es-ce qui est le plus limitant pour la résolution dans un spectromètre à réseau? pas du réseau ou taille de la fente source? Conditions d'éclairage de la fente, c'est important? comment est éclairé le réseau? Qu'est-ce qu'on utilise comme instrument en pratique pour un spectro réseau? Formule des réseaux? Comment Igor fait-il son incertitude sur la pente du fit linéaire? Résolution du spectro usb? Spectre d'émission de la rhodamine dans le rose, pourtant on regarde selon l'axe d'éclairement c'est orange, pourquoi? Incertitude du brouillage pour le doublet du sodium, vous avez pris la demi-graduation la plus petite du vernier, on fait toujours comme ça tout le temps? Aurait-on pu faire d'une autre façon pour exploiter les brouillages? Avec une acquisition plus précise? Si on chariote loin, on voit une diminution globale du contraste, pourquoi? On aurait pu remonter à la largeur de raie? Expliquer les choix d'éclairement, de lentilles du Michelson. Aurait-on pu résoudre le doublet du sodium en coin d'air?

## Agrégation 2014 - Note : 15/20

Réseau particulier? (blasé 2) Principe? Résolution? Comment on trouve  $\Delta\lambda$ ? Et sur la manip de principe? — Pas la 4e raie de Balmer, méthodes pour l'avoir? On moyenne, pourquoi? Spectro commercial : pourquoi miroirs et pas lentilles, idem pour réseau? — Protocole de réglage du FP? Spectra suite buggait quand je mettais les deux spectro en même temps (pas la version habituelle), quand j'ai voulu passer sur le 4000 pour montrer les raies isotopiques, il a définitivement planté J'avais eu un problème avec caliens, et les arbres du moteur et du michelson n'étaient pas alignés donc je ne pouvait pas faire un interférogramme automatique et je n'ai pas eu le temps de faire un contraste local, j'ai voulu leur montrer le principe mais en échangeant la sodium avec la mercure j'ai dû toucher quelque chose parce que le Michelson s'est dérégulé, je n'ai pas retrouvé les franges facilement et je ne savais plus où était mon papier avec la position du contact optique donc je suis passé à la suite J'avais divisé par  $\sqrt{N}$  et non  $N$  pour l'incertitude sur le doublet du sodium et j'ai mis un moment à comprendre quand ils sont revenus dessus pour les questions. Le FP s'était dérégulé aussi mais je l'ai rerégulé devant eux en 3 secondes, directement sur l'écran ... c'est clairement ce qui a sauvé mon montage!

## Agrégation 2016 - Note : 18/20 - Choix avec Régimes transitoires

- I Spectroscopie à fentes
  - 1 Pouvoir de résolution
  - 2 Loi des réseaux
- II Spectroscopie interférentielle
  - 1 Mesure d'un doublet
  - 2 Mesure d'une largeur de raie

Questions : A quoi ressemble la forme de la figure de diffraction par un réseau, et où interviennent les différentes longueurs caractéristiques (taille de la fente, largeur éclairée du réseau, pas du réseau)? Influence de la forme de la figure de diffraction si le réglage mécanique du gonio n'est pas bien fait? Si le réseau n'est pas parfaitement orthogonal au faisceau incident, alors la formule des réseaux n'est plus linéaire, voilà pourquoi il est judicieux de ne pas exploiter les ordres +2 et -2 pour lesquels la non linéarité serait visible et la

loi plus valable. Interféromètre de Michelson : choix des lentilles, localisation de la figure d'interférences. Pourquoi choisir une source spatialement étendue quand on observe la figure d'interférences dans le plan focal d'une lentille ? Que se passe-t-il si on place son écran autre part ? On perd en contraste, comment le récupérer, quelle type de cohérence est désormais à prendre en compte ? On pourrait par exemple diaphragmer la source pour gagner en cohérence spatiale et retrouver le contraste.

#### Commentaires

Le jury n'a pas relevé de fautes lors de ce montage, néanmoins quand même commises quelques-unes : le réglage mécanique du goniomètre aurait pu être amélioré, le réseau n'était pas parfaitement droit. J'ai également oublié de mettre un filtre interférentiel pour isoler la raie verte du Mercure... mais on voyait qd même bien les anneaux verts et le jury ne s'en est pas rendu compte!!! Ils ont dit que le gonio était rarement sorti, et 2 des 3 membres ont également été "impressionnés" par l'interféromètre de Michelson (je ne comprends toujours pas pourquoi vu qu'ils doivent en voir à longueur de journée pendant les oraux...) Les incertitudes étaient correctement estimées et ils ont appréciés les discussions sur les valeurs des  $\chi^2$  réduits. Les grandeurs mesurées étaient également bonnes et étaient à chaque fois cohérentes avec les valeurs tabulées/constructeur. La raison pour laquelle je n'ai pas obtenu la note maximale : manip trop classiques, il aurait par exemple fallu mesurer le contraste sur la manip de la raie verte du mercure afin d'estimer autrement qu'à l'oeil la largeur de cette raie.

## MP11 : Émission et absorption de lumière

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage ne devrait pas être confondu avec le montage « Spectrométrie optique ». Des expériences quantitatives sur l'absorption sont attendues. En outre, les propriétés d'émission du laser ne sont pas hors sujet.

**2016, 2015, 2014** : Ce montage ne devrait pas être confondu avec le montage « Spectrométrie optique ». Des expériences quantitatives sur l'absorption sont attendues. En outre, les propriétés d'émission du laser ne sont pas hors sujet.

Jusqu'en 2013, le titre était : Émission et absorption dans le domaine optique.

**2013** : Il est regrettable que les expériences d'absorption restent qualitatives.

**2012** : Les deux aspects de l'intitulé doivent être abordés. Rappelons que la qualité des mesures dans ce montage est souvent liée à une bonne connaissance des spectromètres utilisés.

**2011** : Si ce montage se distingue plus du montage no 9 cette année, les deux aspects de l'intitulé doivent être abordés. Rappelons que la qualité des mesures dans ce montage est souvent liée à une bonne connaissance des spectromètres utilisés.

**2010** : Les remarques des années précédentes s'appliquent toujours. Ce montage est à différencier du montage no 9 : Spectrométrie optique. Cela ne dispense pas de l'étalonnage des spectromètres, dont on doit connaître en particulier la résolution.

**2009** : L'émission du corps noir n'est pas stricto sensu une émission spontanée. Les ordres de grandeurs des largeurs de raies et leur origine devraient être connus des candidats.

**2008** : L'utilisation des récents spectromètres à fibre optique interfacés USB nécessite la

connaissance de son mode de fonctionnement et doit s'accompagner d'une analyse critique des résultats, notamment en termes de résolution et de justesse.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 17/20

Balmer avec le monochromateur : pourquoi avoir utilisé un monochromateur plutôt qu'un spectro USB ? Qu'est ce qu'il y a dans le monochromateur ? Et dans un spectro USB ? Pourquoi utiliser un photomultiplicateur ? Comment vous avez choisi la fente d'entrée du monochromateur ? Expliquer nous votre montage du Michelson, à quoi sert chaque lentille ? Pourquoi la rhodamine réémet une lumière rose si on lui envoie une lumière verte ? Pourquoi certain laser Helium-Neon donne une lumière verte d'autre rouge ? Pouvez-vous nous faire le montage de la photodiode autoalimentée ? Est-ce que la tension lue est proportionnelle au flux lumineux ? Est-ce que c'est toujours le cas ? J'en oublie je pense...

J'avais deux techniciens, un super, l'autre un peu plus mou. Ils se chamaillaient de temps en temps c'est surprenant au début.

Retour du jury : C'est à priori un montage qui n'a pas été beaucoup choisi cette année et qui est difficile (?). Ils en ont tenu compte dans la note. Ils ont apprécié mon dynamisme et se sont dit que je ferai une bonne prof. J'ai fait beaucoup de manipulations et ils me reprochent un peu justement d'en avoir fait trop et de ne pas avoir eu le temps de bien toutes les approfondir. Au niveau des questions, j'ai bien répondu même si j'ai bloqué sur certaines.

### Agrégation 2012 - Note : 14/20

Questions et commentaires du jury : j'ai préparé les manip suivantes : détermination de la constante de Rydberg, longueur de cohérence de la raie verte du mercure, loi de Beer-Lambert, analyse des modes du laser de la cavité Fabry-Perot et analyse du speckle. Les manip ont plutôt bien marché malgré le fait que je n'ai pas pu avoir mon matériel habituel (spectro et Michelson). Ils m'ont dit que je n'avais pas assez exploité mes résultats. Questions : il y avait manifestement un problème d'étalonnage du spectromètre. Ils m'ont posé des questions sur la façon d'étalonner le spectro et sur ce qu'il fallait tracer pour s'affranchir de ce problème. Convertir le Rydberg (que j'avais exprimé en  $\text{cm}^{-1}$ ) en eV. Je n'ai pas bien compris où ils voulaient en venir. Questions classiques sur les causes d'élargissement d'une raie spectrale (chocs dans une lampe haute pression, profil lorentzien ; effet Doppler pour une lampe basse pression, profil gaussien) Questions sur le choix de la position des éléments pour le montage dispersif avec le PVD, et sur la façon correcte de projeter l'image de la fente d'entrée sur l'écran. Beaucoup de questions que je n'ai pas trop comprises sur ce qu'on voyait lors de l'analyse du laser, notamment sur ce que je disais être la raie d'émission naturelle du milieu amplificateur.

## MP12 : Photorécepteurs

### Rapports du jury

**2017** : Il ne faut pas perdre de vue les aspects de métrologie dans ce montage. Il faut aussi connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs.

**2016, 2015, 2014** : Dans ce montage, les questions classiques de métrologie peuvent être abordées : sensibilité, bande- passante et temps de réponse. Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. Plus généralement, il faut connaître les principes physiques des photodétecteurs utilisés et pouvoir justifier les liens entre ces principes et les caractéristiques métrologiques. Il faut également, lorsqu'on cherche à effectuer une étude spectrale, faire attention à la réponse spectrale de tous les éléments du montage, y compris celle des éventuels polariseurs et analyseurs. Remarquons pour finir que la notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.

**2013** : Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. La notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.

**2012** : Ce montage se prête à l'utilisation à la fois des composants fondamentaux et de matériel grand public (photodiode, cellule solaire, capteur CCD, bolomètre...). Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et les détecteurs thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale et du temps de réponse. Trop de candidats utilisent une photodiode sans en connaître suffisamment les propriétés. La notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode. Ne pas confondre une photodiode nue avec un bloc formé d'une photodiode et d'un circuit de polarisation.

**2010, 2011** : Il importe de distinguer les détecteurs photoniques et thermiques, notamment du point de vue de leur réponse spectrale. La notion de point de fonctionnement peut être utile pour bien expliquer et justifier un montage avec photodiode.

**2007, 2008** : Il existe d'autres photorécepteurs que la photodiode. Un éclaircissement d'intensité variable peut s'obtenir en utilisant deux polariseurs conformément à la loi de Malus.

**2005** : Le temps de réponse d'un photorécepteur peut dépendre du circuit dans lequel ce composant est inséré. Jusqu'en 2000, le titre était : Photorécepteurs. Caractéristiques métrologiques (sensibilité spectrale, linéarité, résolution...). Applications.

**2000** : Les termes de résolution (plus petite variation délectable de la grandeur d'entrée) et de sensibilité (rapport de la variation de la grandeur de sortie à la variation de la grandeur d'entrée qui l'a provoquée) ne sont pas de vagues concepts substituables : ils ont une définition et un sens précis. De même, lorsque la résolution spectrale est étudiée, elle est rarement définie convenablement. L'une des difficultés pour l'étude des photorécepteurs est que les mesures absolues sont difficiles, car elles nécessitent l'emploi de thermopiles ou d'autres détecteurs à sensibilité spectrale relative constante sur une large étendue spectrale. On peut contourner cette difficulté en faisant des hypothèses sur le spectre d'émission de telle ou telle source, mais il faut alors le préciser sans ambiguïté.

**1999** : Les thermopiles comportent souvent un filtre optique infrarouge qu'il convient de retirer avant utilisations. La liste des caractéristiques métrologiques citées dans le titre du montage pour certaines n'est qu'indicative : toutes ne sont pas à traiter impérativement, et il en existe d'autres...

## Retours d'oraux

### Agrégation 2014 - Note : 06/20

Les polariseurs fonctionnent-ils pour toutes les longueurs d'onde? Pourquoi pas d'ordonnée à zéro à l'extinction totale? À quoi servent les filtres anticaloriques? Principe effet photoélectrique interne, expliquez la proportionnalité en  $1/R$  pour la photorésistance. Expliquez ce qu'est la zone de charge d'espace. La relation  $R = L\tau S$  (Duffait) est incomplète, pourquoi? (il manque le  $\Delta\lambda$  de l'intervalle spectral de chaque filtre).

### Agrégation 2017 - Note : 11/20

- Est-ce vraiment la caractéristique de la photodiode que vous affichez sur l'oscillo? (Non : tension aux bornes de la photodiode + de la résistance ... cf Sextant) Cela pose-t-il problème?

- Comment aurait-on pu ne garder que la tension aux bornes de la photodiode? (transfo d'isolement ou oscilloscope différentiel). Le transfo d'isolement peut-il ajouter des perturbations à votre système? (Oui, passe-haut ...)

- A l'aide de ces courbes, réexpliquer pourquoi la photodiode est un composant linéaire? Est-ce vrai sur n'importe quelle gamme d'éclairement?

- Quelle valeur de résistance doit-on choisir pour rester linéaire?

- Pourquoi utiliser un montage avec un AO pour la photorésistance? (autres questions pour chercher pourquoi le montage n'avait pas fonctionné : saturation de l'AO, réexplication du protocole de mesure ... mais pas de solutions finalement ...)

- Comment fonctionne une photorésistance? Pourquoi est-on sûr que l'on ne mesure que son temps de réponse? Comparer son temps de réponse aux autres temps typiques des photorécepteurs.

- Pour la réponse spectrale, comment est-on sûr que l'on n'a bien que celle du photomultiplicateur? (division par la tension lue au pyromètre optique qui lui a une réponse plate).

- Comment fonctionne un pyromètre optique?

- Expliquer le décalage en longueur d'onde pour la courbe de la réponse spectrale du photomultiplicateur. (L'ampoule de l'illuminateur a lâché pendant la préparation ... j'ai été obligée de la remplacer par une QI)

Commentaire du jury : Plan intéressant car il met vraiment en évidence les différents caractéristiques d'un capteur et montre que l'on a bien compris. Mais trop de manip avec certaines qui n'ont pas marché. En enlevant les manip avec la photorésistance il aurait été possible d'avoir 15.

## MP13 : Biréfringence, pouvoir rotatoire

### Rapports du jury

**2017** : Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés lors de l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées.

**2016, 2015, 2014, 2013** : Le candidat doit être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince. Le jury attend des mesures quantitatives avec confrontation aux valeurs tabulées. Une connaissance minimale des milieux anisotropes est indispensable.

Jusqu'en 2013, le titre était : Milieux optiquement actifs : biréfringence, pouvoir rotatoire.

**2011, 2012** : Le jury a vu de bons montages sur ce sujet. Cependant, la signification de certains termes comme lame taillée parallèlement ou perpendiculairement à l'axe, ou encore lignes neutres, doit être connue.

**2010** : Ce sujet a été moins souvent confondu avec le suivant (Production et analyse d'une lumière polarisée) cette année. Le candidat doit toutefois être capable d'expliquer le principe physique des protocoles utilisés pour l'étude de la biréfringence d'une lame mince.

**2009** : Ce montage est souvent confondu avec le suivant (Production et analyse d'une lumière polarisée). Comme le titre l'indique, il s'agit d'étudier des propriétés de matériaux et non d'ondes lumineuses, même si ces dernières constituent l'outil principal permettant d'effectuer les mesures.

**2008** : Les notions d'axe optique et de lignes neutres sont trop mal connues.

**2002** : Il ne suffit pas de connaître tous les gestes à effectuer et le matériel à utiliser. Par exemple, en optique cristalline, de beaux spectres cannelés ont été observés alors que le candidat avait du mal à différencier, au moins qualitativement, milieux uniaxes et milieux biaxes, et à donner un sens à la phrase "tailler dans un quartz parallèlement à l'axe".

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2009 - Note : 11/20 - choix avec Mesures électriques.**

Questions et commentaires du jury : comment a été fait l'image du diaphragme et le choix du matériel pour le spath d'Islande ? Comment expliquer l'existence d'un déphasage en sortie de l'analyseur dans le montage avec la lame de quartz taillée parallèlement à l'axe optique ? Pourquoi pour le rhomboèdre j'ai deux images alors que pour la lame je n'en ai qu'une ? Pourquoi est-ce important d'être en lumière incidente normale à la lame ? Comment réaliser le montage rigoureux d'une lumière parallèle ? Dans le calcul d'incertitude pourquoi avoir choisi cette relation 3 ? Comment faire un calcul d'incertitude sur les teintes de Newton ? Pourquoi le spath n'a pas de pouvoir rotatoire ? Pourquoi on utilise une lame cristalline à face taillée perpendiculairement à l'axe optique ? Quelle propriété du matériau utilise t'on pour cela ? Comment avez-vous choisi les paramètres de réglage de spid-HR, temps d'intégration, moyennage, etc ? Comment fonctionne spid-HR ? Est-ce que je connais un matériau qui n'est pas uniaxe ? Comment choisir la tension ou le courant appliqué à l'électroaimant ? Quelles applications de l'effet Faraday ? Commentaires du jury : les expériences choisies sont judicieuses et le plan correct ; ils ont regretté un manque d'exploitation des incertitudes : ils auraient aimé que je passe plus de temps à discuter des résultats obtenus. Ils ont regretté également l'absence de maîtrise des logiciels spid-HR et de synchronie.

### **Agrégation 2012 - Note : 20/20**

Questions et commentaires du jury : principalement des questions sur les manips que j'ai présentées (rhomboèdre de spath, existence des lignes neutres, interférence entre les polari-

sations ordinaire et extraordinaire : spectre cannelé pour un éclairage en lumière blanche, compensateur de Babinet, pouvoir rotatoire et chiralité : loi de Biot, pouvoir rotatoire provoqué : loi de Faraday) : est-ce que l'éclairage est rigoureusement parallèle ? Comment faire pour avoir un éclairage rigoureusement parallèle ? Est-ce que les milieux biréfringents ont aussi un pouvoir rotatoire ? D'où vient la biréfringence qu'on peut observer sur une règle en plastique ? Quel est l'intérêt du compensateur de Babinet par rapport à la mesure « directe » au spectromètre ? Que se passe-t-il si on éclaire le compensateur de Babinet de biais ? Qu'appelle-t-on « cannelure » ? Est-ce que les couleurs que l'on voit lorsqu'on éclaire le compensateur de Babinet sont les teintes de Newton ? Quelles sont les précautions à prendre avec un laser ? Est-ce que le champ magnétique est homogène dans un électro-aimant ?

**Agrégation 2012 - Note : 18/20 - choix avec Systèmes bouclés (oscillateurs exclus).**

Questions et commentaires du jury : qu'est-ce que le polariseur que vous employez ? Précision du spectromètre ? Spectre cannelé : pourquoi les minima d'intensité ne sont pas nuls ? (J'ai reporté sous Regressi toutes les longueurs d'ondes des minima successifs - une vingtaine de points - puis j'ai raisonné en nombre d'ondes pour obtenir une loi linéaire. J'ai même discuté en ordre de grandeur la variation de la pente entre le bleu et le rouge, ce qui a manifestement plu). Et si vous raisonnez en fréquences ? Principe du compensateur de Babinet ? Quel est le mouvement relatif des 2 cristaux lorsqu'on actionne la vis ? Différence d'indices droite/gauche du quartz : sens de la mesure (j'avais fait une 1ère mesure en lumière blanche, en recherchant la teinte sensible, et en faisant remarquer la dispersion chromatique) ? Loi de Biot (que j'ai fait au sodium plutôt qu'au laser pour rester dans l'esprit historique de cette loi et parce que les tables sont données pour la raie D du sodium) : comment obtenir « plus de lumière » ? (je n'en avais pas assez pour la projeter sur un écran et je devais faire les mesures en plaçant mon oeil dans l'axe optique). Pour toutes les mesures quantitatives, des questions sur les incertitudes.

## MP14 : Polarisation des ondes électromagnétiques

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que la loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée ; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Enfin, il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques. Par ailleurs, l'analyse d'une lumière polarisée quelconque par utilisation d'une lame quart d'onde dans un cas quelconque, sans comparaison avec rien de connu présente peu d'intérêt.

**2016, 2015, 2014** : Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que la loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée ; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Enfin, il faut connaître le principe

des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques.

Jusqu'en 2013, le titre était : Production et analyse d'une lumière polarisée.

**2010 à 2013** : Il s'agit ici d'étudier les propriétés des ondes lumineuses. Il est indispensable de différencier, si possible par des expériences, polarisation partielle et polarisation elliptique, même remarque pour la lumière naturelle et polarisation circulaire. La loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée : réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Il faut connaître le principe de fonctionnement du détecteur utilisé (photodiode, luxmètre).

**2009** : Contrairement au montage précédent (Milieux optiquement actifs : biréfringence et pouvoir rotatoire), il s'agit ici d'étudier les propriétés des ondes lumineuses. La confusion entre polarisation partielle et polarisation elliptique n'est pas acceptable.

**2008** : Sans attendre une étude exhaustive des différents types de polarisation, le jury ne saurait se satisfaire d'un exposé basé uniquement sur la polarisation rectiligne. L'analyse d'une lumière elliptique, qu'il ne faut pas confondre avec une lumière partiellement polarisée, requiert aussi d'en déterminer les axes.

**1999** : Il est intéressant d'analyser la lumière produite dans des conditions non artificielles réflexion sur un miroir métallique, sur un dioptre en incidence quelconque ...

## Retours d'oraux

# MP15 : Production et mesure de champs magnétiques

## Rapports du jury

**2017** : La mesure de champs de différents ordres de grandeur peut être intéressante. L'utilisation d'un électro-aimant nécessite de savoir justifier le choix des pièces polaires, les non-linéarités champ-courant.

**2016** : La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électro-aimant.

**2015** : La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électro-aimant.

**2013, 2014** : La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. Trop de candidats ignorent son principe de fonctionnement. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électro-aimant. L'étalonnage de l'électroaimant permet cependant une étude quantitative.

**2012** : Cette année encore, l'utilisation de la sonde à effet Hall a été mieux maîtrisée et les expériences présentées plus variées. Les différentes stratégies de production de champ magnétique peuvent être mises en regard des applications éventuelles.

**2010** : La sonde à effet Hall est souvent le seul instrument de mesure présenté dans ce montage. Trop de candidats ignorent son principe de fonctionnement. D'autre part, les mesures de champs magnétiques ne sont pas limitées à ceux qui règnent dans l'entrefer d'un électro-aimant...

**2007** à 2009 : La maîtrise du maniement de la sonde de Hall et une connaissance sommaire de son principe de fonctionnement sont indispensables.

**2005** : L'ordre de grandeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre être connu. Il en est de même de l'existence d'un décalage systématique du zéro d'une sonde à effet Hall également.

Jusqu'en 2000, le titre était : Production et mesure de champs magnétiques de divers ordres de grandeur.

**2000** : L'usage de l'électroaimant occasionne de grosses erreurs, souvent dues à la non-linéarité de la réponse des pièces en matériau ferromagnétique. Correctement alimentés, de petits électroaimants (comme ceux qui sont disponibles) créent pour un entrefer usuel ( $e \approx 1$  cm) un champ de l'ordre d'une fraction de tesla ( $B \approx 0,3$  T). Trouver des ordres de grandeur différents doit conduire à une analyse critique immédiate des opérations effectuées. De même la formule donnant  $B$  proportionnel à  $1/e$ ,  $N$  et  $I$  suppose en particulier que la carcasse et l'entrefer forment un tube de flux de section constante, ce qui est rarement justifié, en particulier avec des pièces polaires tronconiques. L'emploi d'un teslamètre à sonde de Hall exige un minimum de soin (réglage du « zéro », orientation...).

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 16/20 - choix avec Instabilités et phénomènes non-linéaires.

Sur le fluxmètre, elles m'ont demandé d'expliquer le choix des composants, et ensuite d'expliquer en quoi on pouvait l'appliquer au tracé du cycle d'hystérésis. On m'a demandé la forme du champ créé par une seule des bobines de Helmholtz. J'ai eu aussi quelques questions sur la sonde de Hall et l'électroaimant, notamment l'influence des pièces polaires.

### Agrégation 2014 - Note : 11/20

J'ai fait le même plan qui avait été présenté pendant l'année. La préparation s'est plutôt bien passée, les manip ont toutes marché. Les techniciens étaient vraiment disponibles et gentils. C'était des manip répétitives, je les ai donc beaucoup sollicités. Il fallait que je crée les tableaux, et ils rentraient ensuite les données. Je m'occupais ensuite du traitement, des incertitudes, etc. Pendant la présentation avec l'électroaimant, les points ne se superposaient pas à ceux réalisés en préparation. J'ai donc fait les droites entières devant eux. Pendant les questions, ils sont surtout revenus sur les expériences, sur les choix de matériel. (1) Ordres de grandeurs des champs magnétiques. — (2) Retour sur le champ créé par une bobine. Ils m'ont fait remarquer que c'était  $B_{radial}$  que je mesurais et je m'étais trompée sur l'expression que j'avais écrite au tableau, j'avais mis  $B_z$ . Le jury m'a dit ensuite que j'avais eu donc 0 sur cette expérience. — (3) Retour sur le choix des pièces polaires : mauvais choix, et c'était pour ça que les points étaient différents. J'avais utilisé les pièces tronconiques (qui étaient déjà installées sur l'électroaimant), alors qu'il fallait mettre selon eux des pièces plus grandes,

juste sous forme de cylindres, pour avoir un champ plus homogène. — (4) Effet Hall, ils n'ont rien redit sur la manip mais plutôt sur la construction d'un teslamètre, et sur les origines de la différence de tension Hall selon la face du teslamètre. Pourquoi on utilise un semi-cond par rapport à un métal ? En commentaires, ils m'ont dit que la présentation était plaisante et dynamique mais des grosses erreurs sur la bobine et le mauvais choix des pièces avait été décisif, ce qui est tout à fait normal. Ils m'ont expliqué qu'ils notaient sur 6 une expérience, si elle était bien menée, avec les incertitudes ou une comparaison avec une valeur tabulée, on avait facilement 6/6.

Ma conclusion : si on fait trois expériences et que l'on est sûr de soi, on peut avoir 18, sinon il faut en faire un peu plus pour assurer ... Je sais pas ... En tout cas, faire simple car le temps défile rapidement.<sup>1</sup>

## MP16 : Milieux magnétiques

### Rapports du jury

**2017** : Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. Dans l'expérience de mesure de la susceptibilité paramagnétique du chlorure de fer(III), le mécanisme de montée, ainsi que la position du ménisque dans l'entrefer de l'électroaimant doivent pouvoir être justifiés par les candidats.

**2010 à 2016** : Ne pas se limiter aux milieux ferromagnétiques. L'étude du transformateur est marginale dans ce montage, son étude exhaustive n'y a pas sa place. Cet appareil n'a d'intérêt que dans la mise en évidence des propriétés des ferromagnétiques.

**2008** : L'effet Meissner ne se résume pas à une « expulsion de ligne de champ ». Les grandeurs mesurées, telles que les champs rémanent et coercitif, doivent être comparées et/ou commentées.

**2007** : Il faut pouvoir justifier la forme des pièces polaires de l'électro-aimant choisi.

Jusqu'en 2001, le titre était : Caractérisation des milieux magnétiques. Applications du ferromagnétisme.

**2000** : L'usage de l'électroaimant occasionne de grosses erreurs, souvent dues à la non-linéarité de la réponse des pièces en matériau ferromagnétique. Correctement alimentés, de petits électroaimants (comme ceux qui sont disponibles) créent pour un entrefer usuel ( $e \approx 1$  cm) un champ de l'ordre d'une fraction de tesla ( $B \approx 0,3$  T). Trouver des ordres de grandeur différents doit conduire à une analyse critique immédiate des opérations effectuées. De même la formule donnant  $B$  proportionnel à  $1/e$ ,  $N$  et  $I$  suppose en particulier que la carcasse et l'entrefer forment un tube de flux de section constante, ce qui est rarement justifié, en

---

1. le membre du jury s'exprime ici vraisemblablement à titre personnel. Aux dires de Marc Vincent, ancien membre du jury (2010-2013) intervenant en prépa agrég : « Je ne pense pas qu'il y ait un barème très précis et strict ; en tout cas à l'époque où "j'officialisais", cela n'existait pas, et le président du jury nous demandait clairement d'être bienveillant, souple, et de ne pas attendre de plan tout fait. Néanmoins, il a toujours clairement été dit de réaliser des manips avec une exploitation menée à son terme, c'est-à-dire tracés de courbes caractéristiques (très souvent des droites), souci des incertitudes (discussions expérimentales, puis estimation de la grandeur intéressante avec son incertitude) et surtout interprétation et conclusion (souvent sabordées). Et si on fait cela sérieusement, on n'a pas vraiment la possibilité de faire beaucoup plus que trois manips à peu près. »

particulier avec des pièces polaires tronconiques. L'emploi d'un teslamètre à sonde de Hall exige un minimum de soin (réglage du « zéro », orientation ...)

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2017 - Note : 16/20**

Expériences présentées : Expérience introductive : différences diamagnétisme/paramagnétisme Cycle d'hystérésis (ferromagnétisme) Tube en U de  $\text{FeCl}_3$  (paramagnétisme) avec ajustement loi linéaire  $B(I)$  de l'électroaimant au préalable. Expérience qualitative : transition ferro/para, estimation température de Curie pour le fer.

Questions du jury : Vous avez écrit l'expression de la force qui s'exerce sur le barreau en fonction du champ  $B$ , pouvez-vous expliquer la différence de comportement entre diamagnétisme et paramagnétisme à partir de cette force ? Peut-on l'expliquer autrement qu'avec la façon dont agit la force sur le barreau ? Sur le cycle d'hystérésis, on n'atteint pas vraiment la saturation, que pouvez-vous changer comme paramètres à votre montage pour faire apparaître cette saturation ? Pourquoi avez-vous mis un RC pour mesurer le champ  $B$  ? Est-ce un passe-bas ou un passe-haut ? Avez-vous choisi correctement la pulsation de coupure ? Comment appliquez-vous votre bilan des forces sur la solution de  $\text{FeCl}_3$  dans le tube ? (problème de facteur 2 pour la susceptibilité trouvée) Que se passe-t-il si on applique le champ  $B$  au milieu du tube et non à la surface du liquide ?

### **Agrégation 2008 - Note : 12/20 - choix avec Couplage des oscillateurs.**

Questions et commentaires du jury : Paramagnétisme de  $\text{FeCl}_3$  : donner les éléments de la démonstration de la formule  $h = f(B)$ . Estimez-vous qu'il s'agit d'une bonne mesure (je n'avais pas eu le temps de faire les incertitudes, je les ai donc faites pendant les questions). Même avec des pièces polaires plates, le champ est-il uniforme ? (démonstration expérimentale avec la sonde à effet Hall). Le tube en U de Montrouge est très bien (il y a un petit papier dans la boîte en bois avec la composition du mélange ce qui permet de remonter à la valeur tabulée). Cycle d'hystérésis : fonction de transfert de l'intégrateur ? éléments de démonstration des différentes formules ? Signification de l'aire du cycle : énergie volumique ou autre ? L'aire du cycle variait avec le rhéostat du primaire, le jury n'a pas compris pourquoi et nous avons cherché ensemble sans succès (ils ont fini par démonter notre boîte dans le couloir). Transition para/ferro du fer : je vous conseille le dispositif de l'ENS Cachan avec un thermocouple intégré au clou. Faire juste attention à l'espèce de mousse réfractaire qui pour moi ne l'était plus vraiment (la faire remplacer si ça ne marche pas). Commentaires personnels : le style de question changeait de celui de la prépa : moins de question de culture générale mais le jury voit très rapidement où ça pêche et essaie de nous pousser dans nos derniers retranchements sur ces questions. Techniciens et préparateurs très compétents, serviables et accueillants (ça fait du bien quand on est stressé(e)). Les livres sont classés par thèmes (optique, méca, électromag...) ou par collection (BFR, Pérez...) et on voit leur couverture : plus facile que de retenir les auteurs !

### **Agrégation 2014 - Note : 08/20 - choix avec « Phénomènes de transport »**

Il faut déjà savoir que pendant l'année on se prépare dans des conditions idéales, on sait où se trouve le matériel et on va le chercher et on l'installe rapidement. Entre le choix du sujet (5min) et commencer les manips, on perd facilement une heure : choix bouquin (assez rapide) liste du matos (assez vite) chercher le matos (long) et installation sur les paillasses, très long ... J'ai pas su refaire le cycle d'hysteresis, je ne sais pas pourquoi. Ensuite, température de Curie fausse à 200 °C près, je n'avais pas le thermocouple intégré, les techniciens ne l'avaient pas trouvé. Étalonnage de l'électroaimant mais valeur fausse de la susceptibilité magnétique de FeCl<sub>3</sub>, je ne connaissais pas la concentration et puis j'avais pas eu le temps de chercher la valeur tabulée (erreur stupide!!!) Questions : OG de la taille des domaines de Weiss ? Expliquer l'expérience avec les polariseurs du microscope (j'ai dit que c'était de la birefringence avec des interférences de polarisation puisque on prend une polarisation rectiligne, elle passe à travers la lame de grenats et elle est projetée sur un analyseur, mais je ne savais pas et ils m'ont reproché de présenter une expérience que je ne connaissais pas bien...) — Valeur différente de la température de Curie ? Prise de température n'était pas au bon endroit (ne touchait pas le clou). — Cycle d'hystérésis, écrire les théorèmes, où prendre les courant/tension... — Question sur les barreaux et la force qui s'applique dessus choix des pièces polaires, dessin de la force, OG du champ nécessaire pour voir l'alignement. C'était vraiment un montage nul, d'où la note en dessous de la moyenne puisque je n'avais pas assez d'exploitation, il faut absolument des courbes et des résultats quantitatifs. le membre du jury que j'ai été voir m'a dit de faire passer le mot, comme quoi entre deux montages, l'un où c'est quantitatif assez facilement et un autre il fallait toujours choisir celui qui avait le plus de courbes et de valeurs parce que les autres expériences comptent peu.

## MP17 : Métaux

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. L'étude de caractéristiques mécaniques, par exemple, nécessite une mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux. Notons que pour les mesures de résistance, le principe et l'intérêt d'un montage quatre fils doivent être connus : il subsiste une confusion chez de nombreux candidats entre ce montage à quatre fils et la distinction entre courte et longue dérivation. Un montage à quatre points n'a pas pour but de seulement s'affranchir de la résistance des fils, contrairement à ce que pensent de nombreux candidats.

**2013 à 2016** : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. L'étude de caractéristiques mécaniques par exemple nécessite d'être mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux. Notons que pour les mesures de résistance, le principe et l'intérêt d'un montage quatre fils doivent être connus.

**2012** : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux (conductivités thermiques et électriques, élasticité...) et leur lien éventuels. Les mesures doivent être particulièrement soignées. Il est intéressant de montrer la spécificité des valeurs obtenues.

**2011** : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. Les expériences présentées se réduisent souvent aux conductivités thermiques et élec-

triques.

**2010** : Ce montage doit mettre en évidence différentes caractéristiques propres aux métaux. L'étude de caractéristiques mécaniques par exemple nécessite d'être mise en perspective par rapport aux propriétés équivalentes d'autres matériaux.

**2009** : La mesure de la conductivité thermique d'un métal par sa réponse en température à une excitation alternative a posé problème à de nombreux candidats par suite de l'analyse des mesures à l'aide d'une loi non valide avec les conditions aux limites concernées. Le régime permanent implicitement mis en jeu doit être précisé, de même que son temps d'établissement.

**2008** : La mesure de la conductivité thermique d'un métal par sa réponse en température en régime variable a posé des problèmes à de nombreux candidats. Les études menées en régime permanent sont plus simples et ont donné de meilleurs résultats.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2006 - Note : 18/20 - choix avec Constantes Fondamentales.

J'ai présenté la recalescence du Fer, mesure « 4 points » de la conductivité du cuivre, mesure d'un rapport de conductivité en utilisant les courants de Foucault, mesure de la conductivité thermique du cuivre, mesure du module d'Young d'une plaque de Dural. La préparation s'est très bien déroulée ; j'ai construit les expériences les unes après les autres en prenant bien soin de préparer le tableau à chaque fois (incertitudes, théorie, courbes complémentaires comme par exemple l'évolution du flux du champs magnétique à travers les spires de mesure dans l'expérience de la chute de l'aimant) ; j'ai fait une synthèse rapide de ce que j'allais présenter, puis j'ai pris un bon quart d'heure avant l'entrée du jury pour boire, manger et prendre l'air : ça permet réellement d'avoir les idées claires pour les 40 minutes de passage et surtout pour les questions. Les techniciens passent très régulièrement pour savoir si le candidat a besoin de quelque chose : livre, matériel, tracé de courbe ... Comme j'ai su tout de suite quel matériel je souhaitais, ça m'a permis de partir directement le chercher avec deux techniciens sans perdre de temps ; ces derniers m'ont laissé choisir le matériel en me proposant eux-même de prendre du matériel de mon centre de préparation. Je leur ai demandé de monter l'expérience de la recalescence du fer, et de me remplir la cuve à onde. Ils m'ont aussi tracé la seconde courbe pour l'expérience de chute de l'aimant alors que je venais de faire la première. Le jury a pris le parti de poser le plus de questions possible dans le temps imparti, ne me laissant que très peu de temps pour répondre, voir ne me laissant pas le temps de répondre si le début de ma réponse contenait les mots clefs attendus. Les questions ont tourné essentiellement autour de la barre thermique et ressemblaient fortement aux questions posées pendant l'année de préparation : n'y a-t-il pas d'autre moyen de mesurer la conductivité thermique juste en connaissant les températures de chaque extrémité de la barre ? Comment produire concrètement le créneau de température ? Pouvez-vous justifier par un ordre de grandeur qu'il faut deux heures pour que la barre se thermalise ? Ordres de grandeurs d'autres conductivités usuelles (gaz, bois, ...) ? Retour sur l'évolution du créneau de température dans la barre ? Légitimité de la solution sinusoïdale ? Retour sur l'intérêt de la mesure à 4 points ? Applications ? Ensuite une examinatrice s'est focalisée sur l'expérience des courants de Foucault : retour sur la force de frottement fluide, paramètres pertinents dont dépend cette force, sens des courants dans le tube ? Que contient en plus le cuivre de

plomberie ? En déduire si l'écart avec la valeur tabulée du rapport de conductivité va dans le bon sens ? Comment mesurer la masse volumique du Dural ? Enfin la seconde examinatrice m'a demandé de revenir sur les incertitudes que j'avais calculées pour les vitesses des ondes sonores dans le Dural. Puis retour sur quelques réponses que j'avais donné aux deux autres membres du jury pour que je complète, sans piège. Il y avait en plus du jury six spectateurs.

### **Agrégation 2009 - Note : 10/20 - choix avec Acquisition, analyse et traitement des signaux.**

Un seul des membres du jury sur les 3 a tout fait (chrono, questions et tout). Sur le montage à 4 fils : j'ai expliqué ma démarche sur le dessin que j'avais fait au tableau. Sur la diffusion thermique dans la barre de cuivre : je m'étais trompé en pensant que les capteurs étaient espacés de 3 cm alors qu'ils l'étaient de 5. Ça n'expliquait pas pourquoi je m'étais trompé d'un facteur 4. Le gars m'a cassé les pieds sur la solution que je postulais  $T(x, t) = T_0 + A \exp(-x/\delta) \cos(\omega t - x/\delta)$ . En fait il m'a parlé des conditions aux limites. Sur l'effet Hall, le gars m'a fait mettre un courant dans la lame, et il est apparu une ddp de  $10 \mu V$  alors qu'avec le champ magnétique en plus la ddp est de  $20 \mu V$ . En fait c'est dû au fait que la ddp mesurée est la tension de Hall + une chute ohmique. La solution : faire la moyenne entre la tension de Hall dans un sens et dans l'autre. J'ai trouvé une densité de porteurs de  $10^{29} m^{-3}$  et comme j'avais pas de valeur tabulée, ils m'ont demandé de remonter à cet ordre de grandeur. Donc j'ai calculé le nombre d'atomes de Cu par unité de volume (à partir de la masse volumique, de la masse molaire et de la constante d'Avogadro).

### **Agrégation 2016 - Note : 17/20**

Manip loi de Fourier. La fameuse : Comment marche un thermocouple ? Comment savez vous que le grad T est homogène ? (J'attends 15min entre deux points) On pouvait le prévoir ? (Oui,  $t=L^2/D$ ) A quoi sert la mousse ? A quoi sert le truc blanc sur la mousse, du côté de la résistance ? Manip Bobine de cuivre vernie : Comment vous mesurez la résistance, quel est le principe du montage 4 points ? Quel comportement on attend pour gamma sur une grande plage de température ? Pourquoi gamma diminue quand T augmente ? A quoi sert le  $\chi^2$ , comment on l'obtient, s'il est pas bon ça veut dire quoi : que les incertitudes sont mauvaises, que l'ajustement est mauvais, que les points sont mal pris, comment discriminer ces cas ? Elastica : Qu'est ce que le module d'Young ? (Rapport élongation sur force qui tire) Du coup, comment ça se fait qu'il intervienne dans Elastica, vu que ça tord et que ça tire pas ? (Euh....)

Plan Conduction thermique, conduction électrique (blabla sur Wiedeman Frantz) et élastica. Techniciens très disponibles, ont pris les points comme je leur demandais. Jury bienveillant, ont posé des questions plutôt variés, n'a pas cherché à me bloquer. Pile 40 minutes en faisant proprement les manips et en expliquant à chaque instant ce que je faisais et pourquoi.

## **MP18 : Matériaux semi-conducteurs**

### **Rapports du jury**

**2017** : La variété des matériaux semi-conducteurs fait qu'il est parfois difficile de savoir quel est le matériau utilisé dans un composant commercial, ou quel est le dopage dans certaines plaquettes. Les candidats mesurent alors des propriétés sans pouvoir les comparer à quoi que ce soit. Il vaut donc mieux utiliser des composants de caractéristiques connues. Par ailleurs, il est essentiel de connaître quelques ordres de grandeur, en particulier celui de l'énergie de gap et de la densité de porteurs.

**2016, 2015** : La variété des matériaux semi-conducteurs fait qu'il est parfois difficile de savoir quel est le matériau utilisé dans un composant commercial, ou quel est le dopage dans certaines plaquettes. Les candidats mesurent alors des propriétés sans pouvoir les comparer à quoi que ce soit. Il vaut donc mieux utiliser des composants de caractéristiques connues. Par ailleurs, il est essentiel de connaître quelques ordres de grandeur, en particulier celui de l'énergie de gap et de la densité de porteurs.

**2010 à 2013** : La variété des matériaux semi-conducteurs fait qu'il est parfois difficile de savoir quel est le matériau utilisé dans un composant commercial, ou quel est le dopage dans certaines plaquettes. Les candidats mesurent alors des propriétés sans pouvoir les comparer à quoi que ce soit. Il vaut donc mieux utiliser des composants de caractéristiques connues. Par ailleurs, il est essentiel de connaître quelques ordres de grandeur, en particulier celui de l'énergie de gap.

**2008** : Il est essentiel de savoir différencier les régimes de conduction intrinsèque et extrinsèque.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2008 - Note : 11/20 - choix avec Thermométrie.**

Mon montage a beaucoup péché du fait que tout mon matériel, sans exception, est tombé en panne durant ma préparation ou ma présentation. J'avais réussi à remettre (ou faire remettre) le tout en l'état juste avant le début du passage, mais je pense que cela a en fait plus été un handicap car cela a masqué mes difficultés de préparation en donnant l'impression d'une préparation sans incident. Du coup la maigreur des résultats que j'avais eu le temps d'obtenir en a été d'autant plus gênante. Le tout s'est fini par la panne de mon multimètre qui s'est mis à indiquer n'importe quoi pendant la présentation puis à clignoter 4 ... On m'a interrogé sur le type de dopage de la thermistance et sur le détail de mes expériences, notamment sur l'effet Hall.

### **Agrégation 2010 - Note : 15/20 - choix avec Tension superficielle.**

Le jury est passé à plusieurs reprises devant la paillasse pour examiner mes expériences. À la fin de mon exposé, j'ai eu des questions sur chacune d'entre elles. On m'a demandé de justifier l'écart au modèle pour la thermistance, son domaine de validité. On a parlé convection, puis on m'a demandé quel était le semi-conducteur qui constituait la thermistance. Avoir en tête les valeurs de gap peut servir en ce genre de moment ! Ils sont alors passés à ma deuxième expérience, l'effet Hall. Ils ne sont pas revenus sur l'étalonnage de l'électro-aimant, ils m'ont par contre interrogé sur le branchement de la plaquette à effet Hall, branchement qui leur a paru suspect jusqu'à ce qu'une mesure à l'ampèremètre lève le doute. Enfin, on est passé à l'étude de la cellule photovoltaïque. On m'a demandé d'expliquer succinctement son

fonctionnement, puis de tracer à la main sa caractéristique récepteur sur sa caractéristique générateur que j'avais tracée au tableau. Enfin, j'ai eu quelques questions sur le fonctionnement de la thermopile que j'avais utilisée. Il peut être bon de lancer les manips assez tôt, car l'étalonnage de l'électro-aimant et les mesures propres de l'effet Hall prennent du temps. Ceci mis à part, les manips ne présentent pas de grande difficulté expérimentale particulière, d'autant que les techniciens présents sont là en cas de mauvaise surprise.

### Agrégation 2013 - Choix avec Mesures de température

Les assistants étaient vraiment sympas, ça fait plaisir et met de bonne humeur pour commencer ! Le montage s'est bien passé, même si j'ai fini quelques minutes seulement avant l'arrivée du jury, et les questions aussi dans l'ensemble.

I) Variation de R avec la température pour un sc intrinsèque Utilisation de la plaquette de Montrouge, on mesure  $R(T)$ , on ajuste  $\ln(R)=f(1/T)$ . Calcul d'incertitudes sur  $\ln(R)$  et  $1/T$  + fit dans la zone où cette dernière est négligeable : on remonte au gap avec incertitudes et on compare avec le Ashcroft. Questions :

et si on fait la même manip avec un dopé p ? fonctionnement des thermocouples ? questions sur le  $\chi^2$  que je mentionne en montage. questions techniques (choix du calibre, ...)

II) Etude d'un sc extrinsèque Utilisation de la plaquette de Montrouge dopé p, je voulais utiliser la 'n' mais elle a été "fondu" durant la première série (!!), donc on reste serein et on parle de trous (au final aucune question type "qu'est-ce qu'un trou?", donc c'est bon). 1 ) Résistivité Pas très intéressant mais rapide. Aucun calcul d'incertitude. 2 ) Effet Hall Calcul d'incertitudes, distinguer erreur systématique (champ non uniforme dans l'électroaimant) et statistique (précision du teslamètre). En pratique, ce sont les techniciens qui ont fait toutes les mesures. On tracer  $B = f(U_h)$  pour avoir une droite avec barre d'erreur, on fit et on obtient le signe et la densité des trous.

Questions : – Redémontrer en deux lignes la formule de l'effet Hall ? annuler  $\vec{E} + \vec{v} \wedge \text{vec} B$  – Comment on connaît le sens du champ dans l'électroaimant ? – Commenter le choix des pièces tronconiques ? On pourrait utiliser les pièces plates pour avoir un champ plus uniforme, mais il serait moins intense : compromis à réaliser. Les pièces tronconiques trouées sont inutiles ici.

III) Interactions des sc avec la lumière 1 ) gap de GaP GaP + spectro. On montre la transmittance, et on vérifie que ça colle avec le gap.

Questions : – Def de la transmittance ? – Pourquoi on a pas un créneau mais une courbe \* arrondie \* ? – 2,2 eV c'est beaucoup pour un sc ? Et la limite, c'est où ?

2) Temps de réponse d'une photorésistance CdS C'est dans le sextant. On éclaire une CdS avec une intensité carrée issue d'une DEL et on regarde la réponse. On trouve environ 3ms

Questions : – C'est le temps de réponse de CdS qu'on mesure ? Oui, car les effets électriques type capa de l'oscillo et des coax sont négligeables. – Application des photorésistances ? Luxmètre bas de gamme à condition de corriger les non-linéarités importantes de la réponse. – Et la réponse spectrale, ça ressemble à quoi ?

# MP19 : Effets capacitifs

## Rapports du jury

**2017** : La connaissance du principe d'un RLC mètre est essentielle dans ce montage.

**2016** : Le montage ne se résume pas à l'étude du circuit RC. Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Le jury constate que l'étude de la propagation d'une impulsion dans un câble coaxial est, à juste titre, souvent proposée dans ce montage, mais que les propriétés physiques de ce phénomène sont souvent mal maîtrisées.

**2015** : Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Le jury constate que l'étude de la propagation d'une impulsion dans un câble coaxial est, à juste titre, souvent proposée dans ce montage, mais que les propriétés physiques de ce phénomène sont souvent mal maîtrisées.

**2014** : Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Il est dommage que les candidats se limitent le plus souvent à l'étude du condensateur d'Aepinus et à celle d'un circuit RC. Le jury constate que l'étude de la propagation d'une impulsion dans un câble coaxial est, à juste titre, souvent proposée dans ce montage, mais que les propriétés physiques de ce phénomène sont souvent mal maîtrisées.

**2013** : Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Il est dommage que les candidats se limitent le plus souvent à l'étude du condensateur d'Aepinus et à celle d'un circuit RC.

Jusqu'en 2012, le titre était : Effets capacitifs. Applications.

**2011, 2012** : Le jury souhaite assister à des expériences ne se réduisant pas à celle du circuit RC ou du condensateur modèle.

**2010** : Les modèles de condensateurs et les effets capacitifs sont nombreux et aisément accessibles à l'expérimentation. Il est dommage que les candidats se limitent le plus souvent à l'étude du condensateur d'Aepinus et à celle d'un circuit RC.

Jusqu'en 2009, le titre était : Condensateurs ; effets capacitifs.

**2009** : Le stockage d'énergie n'est pas typique des effets capacitifs. L'intitulé de ce montage change en 2010 ; il devient Condensateurs ; effets capacitifs. Applications afin d'agrandir le champ d'étude.

**2008** : Les effets capacitifs ne se limitent pas à l'exemple du filtre RC ou de la ligne coaxiale.

**2007** : Le principe de fonctionnement d'un capacimètre doit être connu. Les mesures ne doivent pas se limiter à l'étude du condensateur d'Aepinus ou à des mesures de capacité : les effets capacitifs de certains composants peuvent être abordés.

**2006** : Pour mesurer des capacités de petite valeur, on ne peut pas négliger la capacité d'entrée de l'oscilloscope ou celle des câbles.

Jusqu'en 2000, le titre était : Mesure des capacités électriques, propriétés des diélectriques.

**2000** : Même si les capacimètres commerciaux fonctionnent souvent à cette fréquence, l'étude ne peut pas être limitée à 1000 Hz. En outre la capacité d'un condensateur est en général plus aisée à déterminer avec précision que l'inductance d'une bobine (qui par ailleurs dépend de la fréquence) : cela rend peu convaincant l'usage de la résonance RLC série pour accéder à C ! La recherche de la sensibilité optimale d'un montage en pont est un exercice

pénible, certes, mais il faut fixer les valeurs des éléments du pont pour travailler dans des conditions acceptables, à défaut d'être idéales.

**1999** : On ne mesure pas de la même façon la capacité d'un condensateur si celui-ci est utilisé dans un domaine qui est pratiquement celui de l'électrostatique ou si la fréquence d'utilisation est de 50 kHz. La mesure au capacimètre n'est donc pas forcément la plus judicieuse. Par ailleurs, il ne suffit pas de choisir une expérience où intervient un condensateur pour en faire une méthode de mesure des capacités électriques : le modèle du multivibrateur astable à circuits logiques qui conduit à la formule  $T = 2RC \ln 3$  contient des hypothèses trop grossières et ne permet d'obtenir qu'un ordre de grandeur, ce qui est évidemment d'autant plus regrettable que le montage est déjà sophistiqué. En revanche il peut être utilisé comme principe d'une mesure de comparaison. De même, il est peu satisfaisant de déterminer une capacité à partir de la formule  $LC\omega^2 = 1$  en se plaçant à la résonance d'un circuit RLC série et en supposant connues les valeurs de C et de L, la valeur de celle-ci varie avec la fréquence, beaucoup plus en général que celle de la capacité, si bien qu'il est plus convaincant d'utiliser cette expérience pour la détermination de l'inductance d'une bobine. Les candidats peuvent également se demander pourquoi les boîtes de condensateurs de précision comportent trois bornes.

**1997** : L'étude et la mesure des capacités doivent être étendues à de hautes fréquences où les propriétés des diélectriques modifient les valeurs mesurées.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2009 - Note : 19/20 - choix avec Tension superficielle.**

Questions et commentaires du jury : Quelles hypothèses sont nécessaires pour dire que  $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r S / e$  : on néglige les effets de bord ; si on ne les néglige pas, est-ce qu'on sous estime C par la formule ci-dessus ? Comment fait l'oscillo pour mesurer le déphasage ? Autre méthode pour calculer la fréquence de coupure ? Pour le circuit RC, qu'est-ce qu'on mesure vraiment ? Il faut tenir compte de la capacité de l'oscillo et du câble coax, mais elles sont négligeables devant la capacité (100 nF) que j'ai choisie. Pour le capacimètre, qu'est-ce qui limite la mesure ? Quelle est la plus petite valeur de capacité qu'on peut mesurer ? Justification du protocole pour la résistance de fuite ? Autre méthode pour mesurer la résistance de fuite ? Ce que j'ai fait, c'est fitter la courbe par une exponentielle (ça marche pas mais ça donne le bon odg), j'ai suggéré la méthode de la tangente à l'origine ou la méthode des 63%<sup>2</sup>.

Commentaires personnels : techniciens très sympas qui ont fait toutes les mesures répétitives pour le condensateur d'Aepinus et pour étalonner le multivibrateur (je leur ai quand même demandé une trentaine de point). J'ai pas eu tout le matériel que je voulais, alors j'ai du utiliser le matos d'autres prépas (qui marche très bien d'ailleurs). Sinon j'ai fait la plupart des branchements en direct devant le Jury.

### **Agrégation 2010 - Note : 16/20 - choix avec Amplification de signaux.**

Questions et commentaires du jury : pourquoi la courbe d'Aepinus n'est pas une droite sur toute la gamme de points ? Pourquoi ne retrouve-t-on pas le bon  $\varepsilon_0$  ? (humidité de l'air). Connaissez-vous la valeur du  $\varepsilon_r$  de l'eau ? Donner un ordre de grandeur de l'influence de l'eau

---

2. pour le repérage des 63% à l'oscillo, on remarquera que  $5/8 \approx 0,63$  (méthode dites des "cinq carreaux").

avec une humidité de 100% (il faisait très chaud et très moite à St Maur ce jour là). Comment calculez-vous vos incertitudes? Pourquoi la mesure de C avec le multivibrateur astable est-elle mieux qu'avec le circuit résonnant RLC? Quelle est la résistance du circuit RLC (résistor+résistance de la bobine+résistance interne du GBF)? L'avez-vous prise en compte? (non, parce que je m'intéressais à la résonance en intensité). Vous avez mesuré la capacité parasite du câble coaxial. Comment aurait été modifiée sa valeur si on l'avait mesuré au point moitié? Commentaires personnels : dernière épreuve de la journée, par une chaleur écrasante, le jury était aussi fatigué que moi. J'ai passé 5 min pendant les questions à retrouver un 103 qui m'avait manqué pendant la présentation. Ils ont été indulgents. J'ai fait un montage très simple (terminé sur le diagramme de bode d'un RC) en soignant les calculs d'incertitude, en montant tout en direct et en minimisant le matériel. De toute façon, il faisait trop chaud pour faire quelque chose de compliqué. Les techniciens (appelés papa et maman) sont fantastiques, ils ont fait une courbe quatre fois de suite pour améliorer mes points.

### **Agrégation 2012 - Note : 17/20**

Sur le condensateur d'Aepinus, ils sont revenus sur les limites du modèle, et m'ont demandé de comparer la valeur que je trouvais pour la capacité des fils à celle obtenue pour le câble coax (ça collait très bien en ODG). Sur le multivibrateur astable ils m'ont demandé d'expliquer simplement le principe de cet oscillateur à relaxation, pourquoi si on supprime la rétroaction positive sur le 2ème AO ça ne marche plus ; si la fréquence de l'oscillateur était adaptée à la mesure de capacité du câble coax (ce que j'ai fait tout de suite après). J'avais modélisé la courbe d'étalonnage par une droite affine, et la pente différait légèrement de la pente théorique. Ils m'ont fait fitter par une droite linéaire et ça a donné une pente pile poil dans les barres d'erreur. J'ai ensuite mesuré la capacité du coax en utilisant les propriétés propagatives du câble (à partir de la célérité et l'impédance caractéristique), ça collait parfaitement avec la mesure au multivibrateur. Enfin sur le filtrage RC, ils m'ont demandé comment j'aurais pu simplement transformer ce filtre en filtre actif (en mettant un suiveur), en quoi ça aurait été un filtre actif. Ils m'ont fait dire que le filtre RC en HF intègre à la composante continue.

### **Agrégation 2012 - Note : 10/20**

Ordonnée à l'origine de la courbe de la capacité du condensateur d'Aepinus en fonction de l'inverse de son épaisseur. Quels effets à petite distance? Pourquoi la modélisation n'est plus vraie? Précision de la mesure de C par résonance RLC? Validité de la mesure de C du câble coaxial?

### **Agrégation 2013 - Note : 10/20**

Dans la formule utilisée pour modéliser le condensateur d'Aepinus, que signifie l'ordonnée pour la distance infinie entre les deux plaques? Comment marche un LC-mètre? (ce n'est pas un multivibrateur astable, mais un système à détection synchrone).

### **Agrégation 2017 - Note 17/20**

- Que signifie physiquement le do dans l'ajustement  $C = (\varepsilon_0.S)/(d - d_0)$ ?
- Pourquoi ajuster  $C = f(d)$  et pas  $C = f(1/d)$ ?

- Quel est le lien entre  $\varepsilon_r$  du verre et son indice ? Pourquoi ne retrouve-t-on pas cette relation ici ?
- Justifier le choix des différentes fréquences choisies au RLC-mètre
- Comment marche un RLC-mètre ?
- Quelle fréquence devrait être choisie au RLC mètre pour lire la capacité du câble coax ?
- Quels sont les effets à haute fréquence dans une résistance ?
- Est-ce que  $C$  dépend de la fréquence ?
- Comment varie  $C$  si on ajoute du sel dans l'eau pour le capteur ?
- Comment varie  $C$  si on incline les armatures du condensateur d'Aepenius ?
- Est-ce gênant que les pertes dû aux effets de bords varient en fonction de la distance entre les armatures ?

### Agrégation 2017

Modulation de fréquence : mesure de la constante  $k$  du VCO, étude du spectre du signal modulé et notamment bande de Carson.

Transport par câble coaxial : temps de propagation, déformation des créneaux.

Boucle à verrouillage de phase : étude des plages de verrouillage et capture, puis démodulation de fréquence.

J'ai eu assez peu de questions. J'avais mentionné l'intérêt de la modulation de fréquence en terme de rapport signal/bruit, donc on m'a demandé de développer. J'ai aussi eu comme question : dans chacune de vos expériences, où est le signal ? (plus vague comme question tu meurs) On a aussi pas mal discuté de la forme des créneaux déformés dans l'expérience du câble coaxial, de la valeur des paramètres..on m'a demandé si je pouvais imaginer un dispositif qui permettrait de s'affranchir de la déformation des créneaux et ainsi augmenter le débit de transmission.

Les autres questions étaient plutôt de l'ordre de la discussion à propos du matériel (pourquoi cet appareil plutôt que celui-là ?) et de mes mesures.

Le jury était particulièrement sympathique : ils sont arrivés avec le sourire (et ils sont repartis avec, heureusement), la séance de questions était plutôt une discussion qu'un interrogatoire.

## MP20 : Induction, auto-induction

### Rapports du jury

**2017** : Les notions d'induction, auto-induction, induction mutuelle sont souvent mal comprises rendant l'interprétation délicate de certains résultats.

**2016** : Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre. Les mesures ne doivent pas se résumer à l'étude d'un circuit RL. Par ailleurs, la notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation. Le transformateur aurait sa place dans ce montage.

**2015, 2014** : Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre. Par ailleurs, la notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation.

**2013** : La notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, par suite en particulier de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation.

**2011 et 2012** : La notion d'inductance mutuelle est souvent oubliée ou mal dégagée, par suite de mauvais choix dans les protocoles expérimentaux.

**2010** : La notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, par suite en particulier de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation.

**2009** : L'observation subjective d'un retard à l'allumage d'une lampe ne peut être qu'une introduction qualitative du phénomène d'auto-induction qui doit être illustré par des mesures précises et une confrontation entre la mesure et le modèle décrivant le phénomène. L'étude du rendement du transformateur n'a pas sa place dans ce montage.

**1999** : Il est préférable de ne pas s'attarder trop longtemps sur les expériences qualitatives préliminaires de mise en évidence du phénomène. En revanche, du temps peut être utilement consacré à effectuer des mesures soignées de l'impédance associée aux bobines. Il convient de rappeler que, pour les montages en pont (Maxwell, Sauter, ...), la sensibilité obtenue n'est optimale que si une réflexion préalable a été menée. N'importe quelle combinaison d'impédances ne répond évidemment pas de façon correcte au problème posé.

Jusqu'en 1998, le titre était : Auto-induction : tension, énergie. Caractérisations et mesures. Applications.

**1998** : Le flux magnétique créé par un courant à travers une bobine n'est proportionnel à l'intensité de ce courant ( $\phi = Li$ ) qu'en l'absence de noyau ferromagnétique. La différence entre le modèle théorique que constitue une inductance pure (à laquelle on peut ajouter une résistance série) et une bobine concrète n'apparaît pas toujours clairement. Cette dernière peut révéler des surprises dès que la fréquence augmente quelque peu, alors qu'il n'en est évidemment pas de même du modèle. Les bobines sont évidemment utilisées dans des circuits électriques, RLC série, notamment. Il ne faut pas perdre de vue le titre du montage : toutes les propriétés des circuits utilisés n'ont pas forcément de rapport direct avec le sujet (largeur de la bande passante, notamment).

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2009 - Note : 13/20 - choix avec Lasers.**

Questions et commentaires du jury : comment avez-vous choisi les valeurs des composants pour vos différentes manipulations ? Comment avez-vous étalonné l'électroaimant ? Utilisez devant nous le teslamètre. Pourquoi doit-il être le plus orthogonal possible aux lignes de champ ? Lors de la manipulation de « l'inductance mutuelle » on voyait sur l'écran de l'oscilloscope non pas des carrés parfaits, mais des carrés avec une légère oscillation sur le haut des carrés, d'où ça vient ? Dans votre circuit RLC, que vaut R ? Comment déterminer expérimentalement le C de votre circuit RLC ? Expliquer comment vous avez déterminé vos barres d'erreur ? Comment aurait-on pu déterminer le L du RLC autrement ? Comment est liée L

au nombre de spires ? Commentaires personnels : les techniciens m'ont extrêmement aidé : ils ont monté et fait entièrement 2 manipulations. Ils m'appelaient lorsqu'ils rencontraient une difficulté afin que je ne bloque pas dessus devant le jury. Sinon, attention à Regressi qui n'enregistre pas les incertitudes mais seulement les valeurs expérimentales. Les techniciens ont prévenu le jury que j'avais perdu les barres d'erreurs d'une manipulation.

### **Agrégation 2009 - Note : 06/20 - choix avec Interférences lumineuses ; conditions d'obtention.**

La préparation a été stressante car j'ai perdu trop de temps à faire la manip avec le fluxmètre. J'ai du changer 2 fois d'AO car impossible de régler l'offset. Ensuite les valeurs de la ddp induite que j'obtenais étaient incohérentes. Bref, j'ai passé quasiment 3 heures à faire cette manip. Le pire c'est que pendant la présentation je n'arrivais plus à régler l'offset de l'AO, j'ai paniqué et je n'ai pu faire aucune mesure quantitative sur cette partie. La seule mesure quantitative que j'ai faite c'est la mesure de L. Je n'avais pas eu le temps d'exploiter le transformateur en préparation mais j'avais quand même choisi de le présenter, ce qui a été une erreur.

### **Agrégation 2010 - Note : 09/20 - choix avec Mise en forme, transport et détection de l'information.**

Commentaires personnels : Mon plan : I. Vérification de la loi de Faraday ; II. Mesure d'une inductance mutuelle et dépendance en la distance ; III. Auto-induction : mesure de l'inductance d'une bobine par la résonance d'un circuit RLC ; IV. Application à la conversion électro-mécanique : la machine à courant continu. La préparation a été plutôt speed et il vaut mieux ne pas prévoir trop de choses. Je n'avais par exemple pas eu le temps de voir les problèmes sur mes courbes, je n'avais donc pas pu essayer d'y répondre avant que le jury ne me pose la question. Là encore les techniciens étaient supers avec même une ou deux blagues pour essayer de détendre l'atmosphère ! Questions et commentaires du jury : sur quel principe physique fonctionne le teslamètre ? Ensuite j'ai eu des soucis sur les résultats obtenus pour les 2 premières manip : une pente de  $10^{-5}$  au lieu de 1... donc ils sont revenus dessus (apparemment ils n'ont pas non plus réussi à l'expliquer...) et ils sont aussi revenus sur la manip du II qui me donnait une droite qui ne passait pas par zéro alors qu'elle aurait dû. Ils m'ont posé quelques questions sur les machines : quel est le fonctionnement du tachymètre ? Pourquoi est-ce que cette machine est dite « à courant continu » ? Pourquoi quand on trace la droite  $U = k\phi\omega$  on n'obtient pas une droite qui passe par zéro ?

### **Agrégation 2016 - Note : 19/20**

1) Pont de Maxwell (ça les a énormément inspiré par rapport aux deux autres manip)

Sur le transfo d'isolement : pourquoi le met-on ? éviter d'avoir deux masses dans le circuit. Il se comporte comment ? Passe-bas. ... euh non ! c'est un passe haut !!! (j'espère que ma rectification aura été mieux entendue que cette bêtise, après... fallait-il en dire plus ? c'est peut-être un passe-bande qui sait ???) Il peut influencer la détermination du minimum ? je sais pas.

C'est quoi l'intérêt du pont ? pédagogique (?) C'est utilisé dans quel domaine un pont ? (il y a vraisemblablement des situations où c'est très utile. Je pensais que ça n'existait que

dans le QUARANTA ce truc...) Visiblement, la mesure ne dépend pas de la fréquence, c'est bien ça? Comment pourrait-on le voir sans calcul? Moi avec mes traces de transpiration et de craie sur mes lunettes, je n'y voyais rien. Je n'ai pas trouvé. Je vous embête encore, mais si L dépendait de la fréquence, qu'apporterait ce pont? Je ne sais pas. Bon il a pas mal insisté, mais je n'ai pas compris exactement où ils voulaient en venir. Néanmoins la partie expérimentale s'est bien passée. Mesure conforme à l'indication du RCL-mètre. J'ai pas eu droit à des questions du type, ça marche comment le RCL-mètre? ni à des discussions passionnées sur les incertitudes. Ça vaut pour toute la suite d'ailleurs.

## 2) Bobines en influence TOTALE.

J'explique les conditions opératoires (secondaire ouvert). Fit qui va bien, je montre que la mutuelle va en  $N1*N2$ , et le coef d'ajustement qui va bien, le couplage est presque parfait du coup, on peut comparer à une formule dans le cas idéal. Cf un bouquin d'ancien programme.

Si on met un noyau de fer dans une bobine, on change l'inductance? Oui, ça canalise les lignes de champ (c'est pas la bonne réponse). Mais les lignes de champ mieux canalisées n'augmentent pas le flux...? Oui, c'est vrai. Euh... je ne sais pas du coup. Ça ne doit pas changer grand chose en fait ( j'ai dit la bêtise? ça va piquer?) —> Après un trajet à 35°C dans le rer, je crois que la bonne réponse c'est qu'on change la perméabilité magnétique, donc ça doit la faire augmenter l'inductance vu que dans toutes les formules d'inductance, il y a un  $\mu_0$  qui se transformerait en  $\mu_0\mu_r$ , mais je ne suis pas sûr vu que je n'ai jamais testé.

## 3) Freinage par induction

Attention, il n'y avait apparemment qu'un tube envoyé par Montrouge visiblement Du coup, je me rabas sur le matos de Lyon, mais eux ils n'ont PAS la notice pour te dire de quel alliage il s'agit. J'ai fait avec. L'incertitude sur l'évaluation du temps de chute entre les deux fluxmètres à l'oscillo est très petite. Du coup, je pense qu'il faut plutôt proposer une incertitude de type A (statistique), vu que sur plusieurs mesures on voit une variabilité à environ 2En fin de compte la loi vitesse \* conductivité (en régime permanent) me permet de retomber sur la conductivité du cuivre, mais la valeur est clairement fausse. Je le dis, c'est sûrement à cause du fait que le tube en alu, c'est pas du vrai Duralumin et mes techniciens n'ayant pas trouvé la notice de Lyon, impossible d'être sûr d'une valeur de conductivité. Ils n'ont pas eu l'air de se vexer.

Le pic 1 il est un tout petit peu plus grand que le 2, c'est à cause de quoi? Euh... les frottements? ... euh... ah oui! ça veut dire qu'on a un peu ralenti, on n'est peut-être pas en régime permanent. Effectivement. Vous pouvez évaluer le temps caractéristique du régime transitoire. Je le fait. Bon ça a l'air d'être ça. Vous pouvez expliquer pourquoi la force de frottement est linéaire en vitesse? Balbutiements parmi lesquels ont dû figurer les mots : "flux" et "courants de Foucault". Impossible de me souvenir de cet horrible exo qu'on a corrigé avec Jérêm Neveu.

JURY : Les pont de Maxwell, vous devriez plutôt les utiliser avec des voltmètres avec masse flottante, pas besoin de transfo d'isolement comme ça (ça évite de se trimballer son éventuelle influence sur les composantes). Un pont, c'est très utilisé en physique moderne (il m'a dit VIRGO quand même!! et sinon en jauge de contrainte c'est rpatique pour avoir une très bonne sensibilité). L'avantage, c'est qu'en changeant progressivement le calibre vous pouvez atteindre une précision très bonne sur l'équilibrage! Il faut le voir comme un interféromètre : le pont équilibré c'est une interférence constructive. On peut aussi mesurer des

capacités comme ça, il faut juste que les parties imaginaires s'égalent. Ils m'ont dit que c'était un très bon montage. Ils ont apprécié voir deux types d'incertitude proposées (type A et B).

## MP21 : Production et conversion d'énergie électrique

### Rapports du jury

**2017, 2016, 2015, 2014** : Le principe de fonctionnement des dispositifs utilisés (moteurs, tachymètres, variateurs...) doit être connu afin que la présentation illustre pleinement le sujet et ne se limite pas à des mesures de rendement. D'autre part, lors de l'étude de dispositifs de production et de conversion d'énergie électrique, la notion de point de fonctionnement nominal est importante; en particulier, des mesures de puissance de l'ordre du mW ne sont pas réalistes. Enfin, les modèles utilisés pour décrire ces dispositifs ne doivent pas être trop simplifiés, au risque d'obtenir des écarts excessifs entre les modèles et les systèmes réels.

**2013** : La production d'énergie, par divers moyens, a été ajoutée à ce montage.

Jusqu'en 2013, le titre était : Conversion de puissance électrique-électrique.

**2013** : Comme l'an dernier, le jury regrette de ne pas voir plus souvent de réelles mesures de puissance et de rendement, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal. Dans ce montage, des mesures de puissance de l'ordre du mW ne sont pas réalistes.

**2012** : Suite aux remarques des années précédentes l'utilisation du régime nominal de fonctionnement a été plus répandue cette session. Le transformateur n'est pas le seul dispositif pouvant être présenté dans ce montage.

**2011** : Suite aux remarques des années précédentes l'utilisation du régime nominal de fonctionnement a été plus répandue cette session.

**2010** : Comme l'an dernier, le jury regrette de ne pas voir plus souvent de réelles mesures de puissance et de rendement, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal.

**2009** : Le jury souhaiterait voir de réelles mesures de puissance, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal.

**2008** : Le transformateur est souvent utilisé pour les montages 16, 20, 21, 40. Les candidats ignorent généralement l'origine de la loi sur les courants pour le transformateur idéal ainsi que la notion de courant magnétisant. En outre, la visualisation à l'oscilloscope du cycle d'hystérésis est trop souvent assortie d'erreurs de calibration des axes (H, B), conduisant ainsi à des estimations de pertes par mesure d'aires dénuées de sens.

**2007** : Il s'agit de conversion de puissance, non de conversion de signal.

**2005** : Les hacheurs (même sous la forme série, la plus simple) ne sont pas utilisés pour alimenter les moteurs à courant continu.

Jusqu'en 2004, le titre était : Conversion de puissance (électrique-électrique, électromécanique...).

**2004** : Ce montage, relativement peu choisi cette année, a donné lieu à des prestations assez pauvres, alors que des matériels d'électrotechnique adéquats sont disponibles. La conversion électrique-électrique semble se limiter, sauf exception, au transformateur et, pire, la conversion électrique-mécanique à de vagues principes. Il y a pourtant dans la collection ce qu'il faut pour des mesures de rendements électromécaniques : sur ce point, il est préférable de bien expliquer les fonctions de chacun des éléments de la chaîne de conversion (ce qui

suppose qu'elles sont bien comprises), plutôt que de se contenter d'estimer un rendement global dont l'interprétation ne débouche sur rien de vérifiable. Notons, en remarque technique, qu'il est souhaitable que tous les bancs de manipulations d'électrotechnique soient complets, c'est à dire avec leurs alimentations, hacheurs et systèmes de mesures spécifiques complets ; globalement, sur l'ensemble de la collection, il est vrai qu'il est toujours possible de se débrouiller.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2008 - Note : 11/20 - choix avec Capteurs et transducteurs.

Questions sur le principe du transformateur et principalement sur les pertes et la justification de ce qu'on peut négliger et pourquoi ; pas de questions en revanche sur la conversion alternatif-continu. Comment les pertes par hystérésis, par courants de Foucault, et les pertes cuivre dépendent-elles de la fréquence ? Comment fonctionne l'oscilloscope numérique ? Pourquoi avoir fait la mesure à l'oscilloscope plutôt qu'au voltmètre ? Leurs commentaires : montage globalement correct, manque de connaissances sur le calcul du rendement par pertes séparées, je n'ai pas présenté toutes les expériences prévues (il en manquait 2) et ça ma été reproché.

### Agrégation 2011 - Note : 07/20

Retour sur les mesures, je n'avais pas parlé d'incertitude, le jury est revenu dessus à deux reprises. mesure de  $I_2/I_1$ , je trouvais deux fois plus que pour  $U_1/U_2$ , sans pouvoir le justifier. Cycle d'hysteresis du transformateur : que peut-on en déduire ? J'avais parlé de puissance dissipée pendant le montage, j'ai précisé que c'était illustratif car on ne dispose pas de la géométrie ni de l'enroulement, ni du noyau. Ca n'a pas semblé être la réponse attendue. Vous avez évoqué pertes par hysteresis et courant de Foucault : à quoi ressemblerait  $B = f(H)$  en l'absence d'hysteresis ? J'ai utilisé les capteurs courant/tension de l'école : comment ça marche ? Quelle gamme d'utilisation ? Autre méthode de filtrage que le RC ? Les techniciens étaient très disponibles mais je ne les ai pas (assez ?) mis à contribution. J'ai eu le malheur de brancher le condo électrochimique à l'envers pendant le montage : ça n'a pas manqué de partir en fumée...

### Agrégation 2012 - Note : 14/20 - choix avec Phénomènes dissipatifs.

Questions et commentaires du jury : intérêt de la conversion de puissance ? Dans votre mesure des pertes fer, y a-t-il quand même des pertes cuivre ? Principe de fonctionnement du wattmètre ? Intérêt d'un montage amont ou aval ? Pourquoi a-t-on le même facteur de transformation pour les tensions lors de l'étude à vide, et pour les courants lors de l'étude en court-circuit ? Quel est le modèle sous-jacent ? Que signifie l'incertitude donnée lors d'une régression linéaire avec Regressi ? On trouve des pertes fer en  $U_2^2/R$  avec  $R = 30 \text{ k}\Omega$  et des pertes cuivre en  $R_0 I^2$  avec  $R_0 = 30 \Omega$  . Est-ce un comportement prévisible pour les pertes fer ? Pour les pertes cuivre ? R est-il une caractéristique du matériau ? Comment étudier les pertes par hystérésis ? Définition d'un matériau dur, et doux ?  $R_0$  est petit devant R, doit-on en déduire que les pertes Joule sont toujours négligeables en charge ? Que contient l'alternostat ? Quelle est la fréquence du secteur ? Comment caractériser la qualité du lissage

par le pont de Graetz autrement qu'avec le taux d'ondulation ? à quoi ressemble le spectre du signal en sortie du pont (avant le filtre RC) ? Commentaires personnels : J'ai présenté une étude complète du transformateur (présentation du transformateur didactique, pertes fer, cuivre, étude en charge), puis le redressement par pont de Graetz (mesure du taux d'ondulation en fonction de la résistance du filtre), et j'avais monté le hacheur dévolteur mais je n'ai pas eu le temps de le présenter. Comme il y a peu de manipulations, j'ai fait toutes les mesures moi-même. Les techniciens étaient très bien, ont été choisis le matériel que je voulais, et m'ont rentré tous les points dans Régressi. Avec ce genre de montage, il est bon de savoir où est le disjoncteur dans la salle et de sauvegarder régulièrement. Ça a disjuncté deux fois (dont une pendant le montage ...) mais par chance, dans la salle où j'étais, l'ordinateur était branché sur un disjoncteur autonome donc pas de problème, mais il faut faire attention, ce n'est pas le cas dans toutes les salles. Aux confessions, ils m'ont dit que le choix des expériences leur convenait très bien, que j'avais manipulé correctement mais pas assez vérifié les différentes hypothèses que je faisais, et qu'il leur a semblé que je manquais de recul sur les protocoles.

### **Agrégation 2013 - Note : 12/20**

J'ai suivi le même plan que celui présenté pendant l'année, sauf que j'ai essayé de détailler le fonctionnement du transformateur à la façon du HPrépa Électronique II (en particulier tracer les rapports  $I_1/I_2$  et  $U_2/U_1$  pour différentes charges au secondaire). Je n'ai pas eu le temps de tout présenter, j'ai du passer au moins 30 minutes sur le transformateur. Les questions ont donc essentiellement porté sur ce sujet. Comment saviez vous que la tension serait divisée par deux dans le cas du transformateur fait maison ? Comment choisit-t-on un transformateur ?

### **Agrégation 2014 - Note : 12/20 - choix avec « Émission et absorption de la lumière »**

Les questions ont porté essentiellement sur la machine à courant continu qui constitue une partie importante du montage. On m'a demandé de préciser les branchements et de bien revenir sur les raisons physiques qui font que brancher une résistance aux bornes de la génératrice entraîne la création d'un couple résistant sur le moteur. Dans la partie où le moteur fonctionne "à vide" j'avais continué d'alimenter le circuit inducteur de la génératrice, on m'a demandé quel était l'impact. On m'a demandé également comment fonctionne le tachymètre et le couplemètre.

### **Agrégation 2016 - Note : 14/20**

I) Production d'énergie électrique Étude de la photopile / cellule photovoltaïque. Graphe de la puissance en fonction de la résistance de charge pour le rendement et la résistance nominale. Rendement de la cellule. II) Conversion d'énergie électrique 1) Conversion continu-continu Hacheur. Pas le hacheur de Montrouge.. Truc de Marseille qui envoie un duty cycle de  $1 - \alpha$  si on met un rapport cyclique de  $\alpha$ . On décrit le circuit, on repère à peu près la résistance de charge, on la mesure, on lisse avec la bobine, on calcule le rendement, on alimente un moteur. 2) Conversion alternatif-alternatif Transformateur gris. On repère la résistance de charge pour avoir le courant nominal au secondaire. On mesure la puissance au primaire, au secondaire, pertes fer par circuit ouvert, pertes cuivre par court circuit, rendement.

Questions • La courbe du rendement représente une courbe en cloche, qu'est-ce que ça représente physiquement ?

Pendant la préparation j'avais une belle courbe en cloche et mes points du direct étaient un peu décalés : • Ça peut venir d'où ?

- Qu'est-ce qui a bougé ?
- Du coup qu'est-ce que vous supposez quand vous prenez que les incertitudes constructeur ?

- Le rendement dépend de la distance ?
- Comment ça marche une thermopile ?
- Mais du coup ça mesure pas un flux lumineux ?
- C'est quoi les pertes cuivre ?
- Pourquoi vous les mesurez en court circuit ?
- Vos wattmètres mesurent quoi ?
- Oui ok mais on est en alternatif ?
- Comment ça fait un interrupteur le hacheur ?
- Pour le rendement vous avez pris comme puissance fournie celle du générateur continu. L'alternatif ne fournit rien pour contrôler l'interrupteur ?

Commentaires : J'ai eu pas mal d'aide concernant le hacheur que je connaissais pas (même si les examinateurs ont plutôt confirmé mes hypothèses de fonctionnement que directement dit comment ça marchait, logique vu que c'est un montage). Ils ont bien aimé l'expérience de la cellule parce apparemment c'est pas courant. Le transistor était "bien présenté" donc la façon dont il est fait dans le poly de montrouge leur convient très bien. Le hacheur bah j'ai pas bien réussi vu que je le connais pas. En gros j'ai perdu mes points sur les incertitudes du transistor et ma capacité à bien connaître le hacheur.

## MP22 : Amplification de signaux

### Rapports du jury

**2017** : L'amplificateur opérationnel (AO) permet l'étude de systèmes d'amplification dans le contexte de l'instrumentation, dont l'étude peut être envisagée dans ce montage. Ce dernier comporte néanmoins de nombreux circuits internes de compensation, résultant en des limitations techniques qu'il faut connaître ; ainsi si l'étude de circuits à AO pour l'amplification de signaux peut être abordée dans ce montage, d'autres circuits simples à bases de transistor(s) peuvent être également envisagés. D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement.

**2016, 2015** : L'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. On peut, au contraire, envisager des circuits simples à base de transistor(s). D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement.

**2010 à 2014** : Il y a de trop nombreux aspects des amplificateurs qui sont éludés : distorsion, impédance, rendement, en particulier. D'autre part, l'amplificateur opérationnel,

comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. Un circuit simple à transistors pourrait être plus illustratif.

**2009** : Les notions d'impédance et de rendement sont trop souvent éludées.

**2008** : La limite de linéarité de l'amplificateur opérationnel n'a pas pour seule origine la saturation en tension.

**2007** : La notion d'impédance d'entrée et d'impédance de sortie des amplificateurs doit être abordée.

## Retours d'oraux

**Agrégation 2014 - Note : 14/20 - choix avec « Diffraction des ondes lumineuses »**<sup>3</sup>

Plan : Intro : micro + haut-parleur : ça ne rend pas de son, problématique : amplifier au milieu. — I. Le transistor. I.1) Caractéristique de sortie. I.2) Amplification en courant. I.3) Caractéristique d'entrée. — II. Le montage émetteur commun — III. Le montage "push-pull" Commentaires personnels : La préparation s'est très mal passée, j'ai paniqué et au bout des deux premières heures je n'avais toujours aucune courbe ayant la bonne allure dans le I. J'ai fini par tout débrancher et tout rebrancher plus calmement. Du coup, je n'ai pas eu le temps de relire la théorie, je n'avais aucune idée de comment tout ça fonctionnait, et j'ai dû abandonner l'idée de mesurer les impédances d'entrée et de sortie du montage émetteur commun. Je me suis dit que j'allais essayer de miser sur les courbes que j'avais réussi à tracer et que j'allais au moins essayer d'assurer le côté "je présente de façon professorale" ... Je n'avais pas testé la caractéristique d'entrée, elle avait une allure très étrange que je n'ai pas su l'expliquer, j'ai essayé de la tracer une deuxième fois mais rien à faire. J'avais demandé à une technicienne de tracer la courbe de gain de l'émetteur commun, les deux points que j'ai repris n'étaient pas dessus, et à la fin j'avais oublié qu'il fallait brancher l'émetteur commun sur le push-pull, pas brancher directement le micro et le haut-parleur sur le push-pull ... Jusqu'à ce que j'aie vu le jury, j'étais persuadée que j'avais eu 4/20 et qu'on s'était trompé en reportant ma note.

Questions : Inévitablement, j'ai eu des questions sur les composants : pourquoi avoir mis ce composant précis, à cet endroit précis, avec cette valeur précise ? Dès la première questions sur ça je leur ait dit que honnêtement, la préparation s'était mal passée et que même si je savais que c'était le genre de chose qu'il était important de savoir, je n'allais pas pouvoir répondre à ce genre de questions. Ils ont essayé de me faire trouver les réponses en m'aiguillant, ça n'a pas franchement eu du succès. Ils m'ont posé des questions sur le transistor en lui-même : vous trouvez une valeur de 157 pour  $\beta$ , c'est du bon ordre de grandeur ? C'est stable comme valeur ? Est-ce que si je prend un deuxième transistor qui est fabriqué tout pareil que celui que vous avez j'aurais la même valeur de  $\beta$  ? (Non, ce n'est pas stable du tout, par exemple ça peut changer pas mal avec la température). Est-ce que ce n'est pas un problème, que l'amplification en courant puisse varier aussi drastiquement ? (Oui, mais il existe des montages qui permettent de s'en affranchir). Lesquels ? (Aucune idée). Est-ce que

---

3. Ce retour est l'exemple canonique qu'en montage, la préparation et la présentation peuvent très mal se passer, mais si vous restez honnête avec le jury, que vous gardez la tête sur les épaules, et qu'en plus vous avez pris un risque (choisir l'électronique est toujours bien vu), la note peut être largement correcte !

le gain du push-pull dépend de  $\beta$ ? Vous nous avez dit que normalement il faut brancher un pré-ampli avant le push-pull, pourquoi pas après?

Commentaires du jury : D'abord, apparemment ils ont eu un gros a priori positif quand ils sont rentrés, parce que j'avais pris amplification alors que d'habitude c'est un montage qui fait peur. Apparemment, c'est une des raisons principales pour lesquelles ça n'a pas été complètement un massacre : étant donné mon choix, ils ont noté plus large. Ils ont apprécié ma démarche (poser une problématique au début, et étudier une solution particulière par blocs), et ma méthodologie (j'avais tellement peur de me tromper en manipulant vu que je misait tout sur faire des expériences convaincantes que j'avais mis des petits post-its partout ; je pensais qu'on me reprocherait de ne pas être suffisamment à l'aise avec le montage mais au final ça a été apprécié). Ils m'ont dit qu'effectivement le côté théorique avait beaucoup pêché, vu que je n'avais pas la maîtrise théorique des composants et des montages utilisés, mais que le côté expérimental avait bien payé. Pendant que j'attendais dans le couloir qu'ils aient fini de délibérer, ils ont testé de brancher toute la chaîne correctement (ce que j'avais oublié, donc ils ont fait micro+émetteur commun+push-pull+haut-parleur). Comme ça a marché, ça a contribué à ce qu'ils trouvent que le côté expérimental était pas mal (ils m'ont dit aux confessions qu'ils se sont dit "en fait elle y était presque du coup"). Ils ont apprécié que je sois honnête avec eux pour les réponses, plutôt que de faire semblant de réfléchir pour au final ne rien dire ou dire n'importe quoi. Quand je leur ai dit que j'avais complètement paniqué en préparation et que je pensais avoir 4 vu ce que j'avais fait, ils m'ont dit qu'ils m'avaient pourtant trouvé très calme. Je m'étais dit que ça n'apporterai rien de paniquer pendant la présentation, donc j'ai essayé de présenter du mieux que j'ai pu, le plus calmement, et ils m'ont dit que c'était la bonne attitude à avoir et que ça avait payé.

## MP23 : Mise en forme, transport et détection de l'information

### Rapports du jury

**2017** : La transmission de signaux numériques n'est malheureusement jamais abordée.

**2016, 2015** : Ce montage ne se restreint pas à la modulation d'amplitude. Il semble en particulier important d'aborder le cas des signaux numériques modernes. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence.

**2014** : Ce montage ne se restreint pas à la modulation d'amplitude. Il semble en particulier important d'aborder le cas des signaux numériques modernes. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence.

**2013** : Ce montage ne doit pas se restreindre à la modulation d'amplitude. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence. Il est recommandé de penser aux modulations de signaux numériques modernes.

**2012** : Comme l'indique son titre, ce montage comporte trois parties d'égale importance ; il se prête bien à la réalisation d'une chaîne complète traitant des trois aspects. Il est souhaitable

de connaître les différentes solutions technologiques employées dans les applications de la vie quotidienne. Ce montage ne doit pas se restreindre à la modulation et démodulation d'amplitude. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de récupération de la porteuse doit être soigneusement étudié. Ce montage suppose une connaissance argumentée des choix en radio AM, radio FM, téléphonie mobile... Il convient aussi de se demander comment passer de l'étude élémentaire d'un signal informatif purement sinusoïdal au cas d'une ou plusieurs conversations téléphoniques par exemple. Rappelons enfin l'importance des fibres optiques en télécommunications.

**2010 et 2011** : Ce montage ne doit pas se restreindre à la modulation d'amplitude. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence.

Jusqu'en 2008, le titre était : Télécommunication : mise en forme, transmission et détection de l'information.

**2008** : Une expérience qualitative de transmission par fibre optique n'a d'intérêt que si elle fait intervenir des dispositifs dont l'un au moins a été étudié par le candidat. signaux

**1999** : Plusieurs candidats ont confondu filtrage et démodulation d'amplitude. Les deux fonctions ont des points communs (en plus, un filtrage est souvent nécessaire après détection) mais présentent des différences. En effet, le filtrage correspond à des phénomènes linéaires : si on envoie la somme de 2 signaux de fréquences différentes sur un filtre, celui-ci réagit en donnant la somme des réponses qu'il fournirait s'il recevait séparément chaque signal, il est entendu que le rapport sortie/entrée varie avec la fréquence. Au contraire, la démodulation n'est pas un phénomène linéaire : la porteuse et le signal modulant ne sont pas additionnés mais le plus souvent multipliés. La fréquence la plus faible est en quelque sorte mieux cachée. La démodulation nécessite une diode de détection qui est un composant non-linéaire ; c'est une opération plus complexe que le filtrage. Nombreux sont les cas où elle n'a pas pu être réalisée. La démodulation synchrone est trop souvent absente. Le problème de la récupération de la porteuse n'a jamais été évoqué.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note : 16/20 - Choix avec "Instruments d'optique"

Plan : I) Modulation d'amplitude et démodulation synchrone II) Modulation de fréquence et démodulation avec une boucle à verrouillage de phase III) Atténuation dans un câble coaxial. J'ai assez vite fait la liste du matériel. Les techniciens ont un peu halluciné devant le nombre de GBF et d'oscillos que je voulais, alors que ça me semble assez normal sur un montage d'élec... Cela dit, j'ai pu me servir allègrement dans la collec et j'ai eu tout le matos nécessaire. Les techniciens m'ont immédiatement branché tous les appareils sur le secteur, ça permet déjà de gagner un peu de temps. Ils m'ont aussi pris des points pour la PLL et les ont entrés sur Igor. Je voulais ajouter la manip (qualitative) de multiplexage avec la fibre optique mais j'étais juste sur le temps, donc j'ai laissé tomber. La présentation s'est plutôt bien passée, hormis un facteur 2 qui n'allait pas sur le facteur d'atténuation du coax (en même temps, je n'étais pas à la fréquence pour laquelle il était donné...). Modulation d'amplitude : comment l'oscillo fait la TF ? C'est quoi les performances de ces oscillos ? - Pourquoi on utilise la modulation d'amplitude ou de fréquence ? - Limitations des multiplieurs ? Démo-

dulation synchrone : c'est quoi votre fréquence de coupure ? Vous l'avez choisie comment ? - On aurait pu faire quoi d'autre comme filtre ? Comment le rendre plus sélectif ? (ils voulaient me faire dire qu'on pouvait faire un filtre d'ordre supérieur à 1, d'ailleurs c'est ce que fait le Duffait) Comment on pourrait faire ça ? - Pour transmettre la voix, vous choisiriez votre filtre comment ? PLL : pourquoi avoir ajouté un suiveur après votre passe-bas ? Quel effet peut avoir l'ajout d'un composant actif dans votre circuit ? (apparemment la PLL marche très bien sans le suiveur du Duffait, ça peut être bien de s'en passer si on veut éviter ce genre de questions. . . ) C'est quoi l'impédance de sortie de votre RC ? Câble coax : c'est quoi l'impédance d'entrée de l'oscillo ? Qu'est-ce qui peut se passer à la sortie du coax ? - Pourquoi avoir travaillé à une fréquence aussi haute ? - Ils ont essayé de me faire trouver d'où venait le facteur 2. De fait, j'ai fait la manip à 20 MHz alors que la valeur était donnée pour 10 MHz. . . En repassant à 10 MHz on trouvait bien une atténuation de la tension deux fois moins grande et ça a eu l'air de les satisfaire, mais après coup ça ne me convainc pas trop parce que le facteur 2 concernait la valeur en décibels. . . Retour du jury : bon plan, des manip certes faciles (sérieusement ? la PLL ???) mais bien menées. C'est surtout les questions qui m'ont fait perdre des points, je n'étais pas assez au point sur tous les aspects techniques.

### **Agrégation 2018 - Note : 07/20 - Choix avec "Émission et absorption de la lumière"**

Les questions que j'ai eu : beaucoup de coaxial sur les impédances les caractéristiques la célérité le caractère dispersif le choix des fréquences pour les mesures. Après sur la deuxième manipulation essentiellement des questions sur l'analyse de Fourier et sur les différentes démodulations. Les préparateurs : deux crèmes. Ils vous branchent tout vous suggèrent des trucs si vous oubliez etc... Les examinateurs peuvent être ultra déstabilisants...

### **Agrégation 2017 - Note : 20/20**

Modulation de fréquence : mesure de la constante  $k$  du VCO, étude du spectre du signal modulé et notamment bande de Carlson. Transport par câble coaxial : temps de propagation, déformation des créneaux Boucle à verrouillage de phase : étude des plages de verrouillage et capture, puis démodulation de fréquence.

J'ai eu assez peu de questions. J'avais mentionné l'intérêt de la modulation de fréquence en terme de rapport signal/bruit, donc on m'a demandé de développer. J'ai aussi eu comme question : dans chacune de vos expériences, où est le signal ? (plus vague comme question tu meurs) On a aussi pas mal discuté de la forme des créneaux déformés dans l'expérience du câble coaxial, de la valeur des paramètres..on m'a demandé si je pouvais imaginer un dispositif qui permettrait de s'affranchir de la déformation des créneaux et ainsi augmenter le débit de transmission. Les autres questions étaient plutôt de l'ordre de la discussion à propos du matériel (pourquoi cet appareil plutôt que celui-là ?) et de mes mesures. Le jury était particulièrement sympathique : ils sont arrivés avec le sourire (et ils sont repartis avec, heureusement), la séance de questions était plutôt une discussion qu'un interrogatoire.

### **Agrégation 2013 - Choix avec Spectrométrie optique**

Ça a été sportif et je me suis bien amusé en live à brancher, débrancher, et résoudre des problèmes (fréquence de porteuse à 90kHz dans les piézos, AO pas branché...). Tout a plutôt

bien marché même si ça manquait un peu de puissance pour la démo à la fin (j'avais trop baissé la tension de la porteuse en fait pour la boucle à verrouillage de phase). Questions : – vous connaissez d'autres modulations que AM et FM? Oui phase (PhiM) – Questions sur résolution TF et critère de Shannon évidemment. – Vous êtes sûr que le montage que vous avez fait est celui écrit au tableau (pour la détection synchrone)? Je vais voir : oui je suis sûr. Jury vient voir : Ok autant pour moi! – C'est quoi dans les téléphones portables (AM, FM,...)? Je dirais FM (mais c'est phase en fait) – Vous avez dit la FM c'est mieux que AM, pourquoi? Je sais plus. – Vous avez dit mesures qualitatives mais vous donner des chiffres (à -3dB pour le critère de Carson), alors c'est qualitatif ou pas? – D'ailleurs c'est -3 ou -10dB? Pourquoi? – Comment on fait en AM pour optimiser le rendement? On supprime la fréquence de la porteuse qui n'a pas d'infos intéressantes. – Mais comment on fait encore mieux? Je sais pas. – Vous avez évoqué les fibres optiques, c'est quoi l'avantage? Bande passante. – Fréquence de porteuse?  $10^{14}$  Hz – Si on néglige la bande passante c'est quoi les autres avantages des fibres optiques par rapport au coax? Je sais pas. – Comment on appelle le fait de commander un GBF en tension? Wobulation – La PPL ne sert qu'en AM? Non aussi en FM. – Comment? – C'est utilisé les ondes acoustiques? Non. (quoique ça peut l'être dans les sous marins) – Et là quand on parle c'est quoi alors? Oui mais pas à distance.

## MP24 : Signal et bruit

### Rapports du jury

**2017** : La mesure du bruit thermique d'une résistance est une très jolie expérience à la condition de comprendre les différents étages d'amplification nécessaires dans ces expériences. L'utilisation de boîtes noires non justifiée a été sanctionnée par le jury.

Jusqu'en 2016, le titre était : Acquisition, analyse et traitement des signaux.

**2013 à 2016** : Les notions d'erreur de quantification et de rapport signal/bruit ne sont pas bien dégagées. Pour la numérisation d'un signal, il faut mettre en évidence le rôle de l'échantillonnage et ses conséquences.

**2011 et 2012** : Les caractéristiques de la numérisation d'un signal ont été mieux illustrées cette année. L'analyse des signaux ne se limite pas à une FFT sur un oscilloscope. L'aspect traitement du signal est trop souvent absent notamment le rapport signal/bruit.

**2010** : L'étude exhaustive d'un circuit RLC série n'a pas sa place dans ce montage, même si ce circuit peut servir à illustrer la réduction du bruit sur un signal de fréquence donnée. Les notions d'erreur de quantification et de rapport signal/bruit ne sont pas bien dégagées. Pour la numérisation d'un signal, il faut mettre en évidence le rôle de l'échantillonnage et ses conséquences.

**2008** : La partie « acquisition » est souvent omise.

**2004** : Les candidats ont très souvent recours à la « périodisation » du signal préalablement à l'analyse de Fourier par certains logiciels. Cette démarche est pour le moins étrange : périodiser suppose connue la période du signal et on peut dès lors s'interroger sur la pertinence de l'analyse de Fourier subséquente. Les candidats perdent du coup de vue le rôle de la durée totale d'enregistrement sur la résolution spectrale associée à la transformée de Fourier.

Jusqu'en 1997, le titre était : Quelques exemples d'analyse et de traitement de signaux

comportant éventuellement du bruit.

**1997** : La détection synchrone compte parmi les méthodes de traitement du signal et son principe peut être illustré dans ce montage qui doit par ailleurs souligner l'importance des méthodes numériques actuelles.

**1996** : Le montage sur l'acquisition et le traitement de données expérimentales a souvent été présenté au moyen de maquettes ou de logiciels qui peuvent se révéler décevants si le candidat fait de leur utilisation le but du montage au lieu de les considérer comme un outil destiné à une meilleure présentation des phénomènes. Il faut également mettre en garde les utilisateurs sur le danger présenté par les logiciels dont ils ne dominent pas la complexité.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Choix avec "Spectrométrie" - Note : 08/20

Plan : I. Bruit thermique (« mesure de  $k_B$  ») ; II. Echantillonneur-bloqueur ; III. Détection synchrone.

Je fais la liste en une dizaine de minutes, on va chercher le matériel, mais on ne trouve pas la sonde «  $k_B$  ». C'est pas grave, je commence par l'échantillonneur-bloqueur. Au bout d'une demi-heure, toujours pas de sonde (mais ils la recherchent activement) et je n'arrive pas à faire fonctionner le relais rapide (il est passant tout le temps, la notice n'est pas très éclairante...). J'essaie d'autres branchements, rien n'y fait. Au bout d'une heure, les agrégés préparateurs passent et me demandent si tout va bien : « non, je n'arrive pas à faire fonctionner le relais, je ne sait pas si ce sont mes branchements qui sont mauvais ou si le composant est mort ». Ils regardent, me demande « vous n'avez pas une référence pour ces branchements? », « Si, le Duffait » (mais il n'est d'aucune aide en fait, et le schéma les laisse pantois...). « Bon, et la notice? » « Tenez », « Elle n'est pas très explicite non plus... ». Ils réfléchissent une bonne dizaines de minutes pour conclure que mes branchements ne leur semblent pas corrects, en m'indiquant comment les brancher. Je le fait, ça ne marche toujours pas... Je commence un peu à désespérer... On m'apporte la sonde (il s'est déjà écoulé un peu plus de 2h), du coup je laisse tomber momentanément et je fait la manip de la sonde, et je sollicite les techniciens pour faire les deux points de mesure, en leur indiquant précisément quoi faire (« on trouve une température de l'azote : -139 °C, c'est bon? » ; je commençais à monter la dernière manip « oui, je crois que c'est l'ordre de grandeur » (j'ai pas tiqué sur le moment...). Les agrégés préparateurs reviennent une demi-heure avant la fin : « Alors? », « J'ai fait les branchements que vous m'avez suggéré, ça ne fonctionne pas... » (le moral est assez bas). Ils regardent, en parlent pendant un moment (constatent la même chose que moi : le relai est tout le temps passant!) et 10 minutes avant la fin m'apportent un échantillonneur-bloquer tout fait de Lyon. L'un des deux agrégés préparateurs cherche la notice « désolé, je ne trouve pas la notice, donc c'est une vraie boîte noire ». A dix minutes de la fin : tableaux pas prêt, je n'ai pas manipulé sur la seconde exp, ni ai vraiment eu le temps de faire la troisième. Je commence à craquer un peu, et je me dit que ça va être une catastrophe, mais un technicien me rassure, et ça fonctionne plus ou moins, merci à lui (pour les gens qui, comme moi, on une dynamique psychologique chaotique, avec notamment une hypersensibilité aux conditions initiales, ils sont d'une grande aide, profitez en). Le Jury entre dans la salle, au tableau : la

première expérience et le titre de la seconde...

Première expérience : problème de facteur 10 dans  $k_B$ . Échantillonneur : j'ai signalé au Jury que mon montage ne fonctionnait pas en préparation et qu'on m'en a apporté un tout fait 10 minutes avant la fin. J'ai tout fait en live : réglage des GBF, oscillo, TF, puis j'ai « montré » le critère de Shannon, ai discuté de l'allure du signal échantillonné (battements à basse fréquence, etc.). « Il vous reste 5min » « Ah , ben on va passer à la dernière manip. . . » J'ai simplement eu le temps d'expliquer le montage et le principe de la détection.

Première manip : ils sont revenus sur ma valeur de température de l'azote : « par quoi est caractérisé un thermomètre ? » Sa sensibilité, gamme, . . . « oui, et en faite le thermocouple que vous avez utilisé n'était pas adapté » Ah... (on se sent très bête ). Ils m'ont ensuite posé des questions théoriques sur l'échantillonneur bloqueur, la conduction dans les solides, le principe de la détection synchrone. C'est ce qui m'a sauvé. Toujours selon le jury, j'ai fait un mauvais choix stratégique et j'aurais du me concentrer sur la détection synchrone en préparation (j'ai manqué de lucidité).

### **Agrégation 2010 - Note : 08/20 - choix avec Métaux.**

Limitation en amplitude de l'échantillonneur bloqueur ? Qu'est-ce qu'il y a dans un échantillonneur bloqueur, fonctionnement ? Pourquoi fait-on un convertisseur simple rampe, pourquoi préférer mesurer un temps ? Sources d'incertitudes sur la mesure du temps ? Amélioration simple rampe, pourquoi c'est mieux ? Pour simple rampe on a la pente de la courbe tension(temps), qu'est-ce qu'on en fait ? Repliement de spectre, c'est quoi ? Illustrer sur un axe en fréquence. C'est quoi une harmonique ?

### **Agrégation 2011 - Note : 11/20**

(I) Acquisition. — (1) la manip du hacheur optique avec une photodiode pour expliquer le principe physique de l'acquisition. (ils ont posé quelques questions sur le fonctionnement de la photodiode et ce que je voulais montrer avec cette expérience) (2) l'échantillonneur-bloqueur, en boîte noire. J'avais vérifié comment ça marchait juste avant donc j'ai pu expliquer simplement le fonctionnement quand ils me l'ont demandé. Ils sont tout de même lourdement revenus là-dessus en essayant de me faire comprendre que je pouvais montrer la même chose avec un oscillo dont l'échantillonnage serait mal réglé par exemple (je ne suis toujours pas sûre que ce soit ça qu'ils voulaient me faire dire...) (3) le cas simple rampe, d'abord sans la chaîne avec le relais et le chronocompteur que j'ai ajouté uniquement à la fin pour montrer qu'on pouvait aussi avoir un affichage. (lors de la rencontre avec le jury, on m'a dit que cela avait été beaucoup apprécié que je montre la chaîne d'acquisition dans son entier, en allant jusqu'à l'affichage numérique, sans pour autant le mettre tout de suite) (II) Traitement et analyse. — Acquisition d'un sinus ou d'un carré avec Synchronie et illustration de tout ce qui peut être embêtant lors de l'acquisition : l'échantillonnage et le critère de Shannon, les fenêtres de durée pour la FFT de Synchronie, la reconstruction d'un signal à partir d'un spectre tronqué ... Globalement assez qualitatif, je me suis un peu fait embêter sur les questions de traitement du signal théorique, je n'étais clairement pas au point même si j'avais relu des trucs qui m'ont permis de répondre à deux ou trois choses. Le jury m'a dit que ma première partie était très bien, très solide et construite, mais que ma deuxième partie était plus brouillon et à retravailler.

## Agrégation 2016

Manips : Voltmètre simple rampe, Echantillonneur-bloqueur, Transformée de Fourier et coefficients d'un créneau, Augmentation du rapport signal sur bruit par détection synchrone

Quelques questions : Une question sur l'évaluation des incertitudes avec l'écart-type sur plusieurs mesures Comment marche le relais TTL ? Quels sont les avantages de la fenêtre rectangulaire en FFT ? Que fait Hanning ? Comment s'appelle la disparition des pieds ? Comment être sûr du  $1/n$  des harmoniques pour le créneau ?  $\text{Ampl}(n)$  insuffisant... Sur la détection synchrone : que se passe-t-il spectralement ? Faites un dessin

## MP25 : Mesure de fréquences temporelles

### Rapports du jury

**2017** : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences dans une large gamme. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse. Ainsi le jury souhaiterait que le stroboscope ne soit plus utilisé comme fréquencemètre pour l'étude des résonances de la corde de Melde.

**2016** : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences dans une large gamme. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse. Ainsi le jury souhaiterait que le stroboscope ne soit plus utilisé comme fréquencemètre pour l'étude des résonances de la corde de Melde.

**2015** : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse.

**2014** : Ce montage ne consiste pas en l'étude d'une succession de phénomènes périodiques à l'aide d'un fréquencemètre commercial, ce qui serait beaucoup trop élémentaire et redondant, mais bien aux techniques de mesure de fréquences.

**2013** : La résolution spectrale lors d'une transformée de Fourier discrète n'est pas toujours connue. Les candidats gagneraient à connaître les méthodes de détermination de fréquence par multiplication (translation) ou hétérodynage.

**2012, 2011** : La résolution spectrale lors d'une transformée de Fourier discrète n'est pas toujours connue. Même si un stroboscope présente un intérêt pédagogique, il ne saurait être préféré à un fréquencemètre. Lorsqu'on dispose d'une méthode plus précise, l'utilisation du chronomètre n'est pas recommandée.

**2010** : La résolution spectrale lors d'une transformée de Fourier discrète n'est pas toujours connue. Les candidats gagneraient à connaître les méthodes de détermination de fréquence par multiplication (translation) ou hétérodynage.

**2007** : Le candidat doit avoir un minimum de connaissances sur la fonction FFT des logiciels spécialisés ou des oscilloscopes.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2008 - Note : 11/20 - choix avec Dynamique des fluides.**

Beaucoup de questions sur l'estimation des incertitudes dans la mesure par FFT ; des questions sur les protocoles expérimentaux tout à fait classiques. Le jury m'a reproché de n'avoir pas assez développé les incertitudes, et d'avoir fait trop d'électronique. Par ailleurs, je n'ai pu avoir tous les composants logiques que je souhaitais en CMOS ou en TTL, j'ai dû mélanger les deux en sous-alimentant les CMOS ... pas forcément idéal.

### **Agrégation 2010 - Note : 08/20 - choix avec Transition de phase.**

Que signifie TTL ? Pourquoi pour l'étude du phénomène de battements entre deux diapasons n'obtenait-on pas un minimum d'amplitude nul ? Comment fonctionne un compteur ? Que pouvait-on améliorer sur le montage du fréquence-mètre pour mesurer une fréquence à quatre chiffres ?

### **Agrégation 2012 - Note : 14/20 - choix avec Photorécepteurs.**

J'ai fait un montage qui ne présentait pas de manip très compliquée et j'avais peur qu'il soit jugé trop simple à mettre en oeuvre, mais pas du tout. Le jury est visiblement beaucoup plus sensible à la pertinence du choix des manip et à la clarté des explications qu'à la complexité de celles-ci. Ils m'ont posé beaucoup de questions sur les incertitudes. Quand on fait une série de mesures identiques : comment en déduire une incertitude ? Vous dites que la répartition des résultats sera gaussienne, quelle hypothèse se cache derrière ce résultat ? Comment calcule-t-on une variance ? Qu'est-ce qu'un intervalle de confiance ? Que se passe-t-il s'il y a une erreur systématique ? Comment justifiez-vous la façon dont vous avez effectué vos mesures ? Puis des questions sur le fonctionnement du fréquencemètre et les capacités des appareils commerciaux et l'origine de ces limitations. Ensuite des questions sur l'utilisation que j'avais faite du stroboscope et les risques d'erreur (je me suis complètement embrouillé la dessus). J'avais montré de manière qualitative les battements acoustiques entendus pour deux diapasons désaccordés, ils m'ont demandé comment rendre cela quantitatif. Puis des questions sur la résolution d'une transformée de Fourier : l'échantillonnage, le choix de la fenêtre et de sa taille pour la FFT.

### **Agrégation 2012 - Note : 14/20 - choix avec Instrument(s) d'optique.**

J'ai présenté 5 expériences : le pendule simple au chronomètre, le principe du fréquence-mètre avec le boîtier + application à la mesure de la fréquence d'un diapason, stroboscope (j'ai fait une régression linéaire en repérant plusieurs fréquences multiples), battements acoustiques avec 2 diapasons différents (mesure directe par comparaison + par transformée de Fourier sur une acquisition « longue »), mesure des fréquences propres des 4 pendules couplés (avec VidéoCom). Les techniciens étaient vraiment très gentils : mettent en confiance dès le début, aident à aller chercher le matériel en suggérant de prendre une alim pour le boîtier qui a l'air d'en nécessiter une ou de quoi fixer le micro ... tout en laissant choisir, puis ils m'ont sorti sur les tables le matériel là où je le demandais, et je n'avais qu'à aller les chercher dans le couloir quand il me manquait quelque chose ou pour une mesure répétitive. Les profs préparateurs sont passés 3 fois pour vérifier que le nombre d'expériences n'était

pas délirant, voir si je n'étais pas trop en retard, et m'ont conseillé de faire des captures d'écran au cas où l'ordinateur planterait. Les 3 membres du jury posent leurs questions en même temps en reprenant le montage manip après manip. à chaque fois, un membre du jury pose sa question, puis me laisse tout mon temps pour répondre, et quand j'ai fini de parler passe à la question suivante : assez peu de « dialogue » avec le jury, par contre je n'étais jamais coupé non plus (en fait je ne savais jamais vraiment si j'avais répondu à la question, ou même bien compris la question !). Sur la fréquence du pendule simple : le pendule n'oscille pas parfaitement dans un plan, est-ce un problème pour la mesure ? Approximation des petits angles ? Est-ce réellement un « pendule simple » ? Sur le principe du fréquencesmètre : comment fonctionne un compteur (en gros qu'y a-t-il à l'intérieur des boîtiers qui font compteur + affichage) ? Sur le stroboscope : peut-on comparer la valeur obtenue à quelque chose ? Sur le diapason : quel est le rôle de la caisse de résonance ? Sur les pseudo-battements avec 2 diapasons : pourquoi l'amplitude ne s'annule-t-elle jamais totalement ? Sur la transformée de Fourier de ces mêmes battements : pourquoi y a-t-il plein de pics secondaires autour de la fréquences 440 Hz (premier diapason), et pas autour du 480 Hz (second diapason) ? Sur les 4 pendules couplés : commenter l'allure des pics, en amplitude et en fréquence (les amplitudes sont de plus en plus faibles, et les pics de plus en plus rapprochés en fréquence, interpréter).

### **Agrégation 2013 - Note : 15/20 - choix avec Métaux.**

Comptage avec pendule pesant et chronomètre : Comment avez vous mesuré la masse, la distance ? Surestimation ou sous-estimation du moment d'inertie ? Erreurs et études statistiques pertinentes ? — Principe du fréquencesmètre et diapason : changer la fréquence de mesure pour vérifier ? Role de la TBF par rapport à la BF ? — Battements de deux diapasons : correction d'une erreur sur la formule au tableau. Ajouter ou retrancher ? — Effet Doppler et détection synchrone : Haute fréquence sur sinusoïde, c'est quoi ? Il y avait aussi prévu mais je n'ai pas eu le temps : harmoniques et flute, pendules couplés (j'ai montré la droite de la relation de dispersion en 10 sec). Aux confessions on m'a dit avoir apprécié les réponses aux questions.

### **Agrégation 2013 - Note : 09/20**

Beaucoup de questions pour corriger des erreurs d'inattention faites pendant le montage. Quelle est la différence entre le son d'un piano et le son d'une guitare ? 1. Pendule bifilaire : choix étrange puisque ça introduit des erreurs supplémentaires. Beaucoup d'erreurs d'inattention en plus sur cette première manip. — 2. Fréquencesmètre : apprécié, mais présentation non pédagogique, les basculements n'ont pas été expliqués de façon suffisamment claire. — 3. Mesure par battements : manque d'honnêteté intellectuelle sur la présence de trois (et non deux) échelles de temps (en fait je n'avais vraiment pas vu la troisième). Il aurait fallu à ce moment faire une analyse de Fourier pour comprendre la forme du signal. — 4. Stroboscopie : incertitude calculée à partir de la notice mais en fait il faut encadrer par le moment où on a immobilisation en arrivant par les fréquences plus élevées et en arrivant dans l'autre sens.

### **Agrégation 2014 - Note : 18/20**

Expliquer le fréquencesmètre, les différents signaux, l'incertitude, etc. Expliquer pourquoi ça n'a pas très bien marché pour l'étude de la fréquence du diapason (à la fin, ils m'ont dit

qu'ils ne savaient pas non plus pourquoi ...) Expliquer comment je suis passé du signal du diapason à un signal TTL compatible avec le fréquencemètre. D'où vient l'incertitude sur les battements ? (Le critère de Shannon était bien respecté mais pas suffisamment pour avoir une belle enveloppe, et du coup c'était plus dur pour repérer ses maxima ...) Dans la formule de l'effet Doppler, je m'étais trompé entre un + et un -, du coup, on est revenu là dessus. Est-ce que la formule de l'effet Doppler est un DL ? J'ai déduit de l'expérience la célérité du son que j'ai comparé à la valeur d'un handbook en mesurant la température (ils ont apprécié) mais la valeur du handbook ne rentrait pas dans mes incertitudes, pourquoi ? (incertitudes prises nulles pour la vitesse de la table traçante) Quelques questions sur l'analyse de Fourier, j'ai étudié le signal de trois diapasons : le spectre permet-il de remonter au facteur de qualité du diapason ? Puis petites questions sur mon expérience ratée du pendule (dans le stress, j'avais pris un pendule pesant plutôt qu'un pendule simple) Au final, le jury m'a dit qu'ils avaient apprécié les choses comme comparer les valeurs obtenues à celle d'un handbook ou à travers différentes expériences en comparant les incertitudes (j'avais mesuré des fréquences de diapasons au fréquencemètre, puis aux battements acoustiques et finalement par analyse de Fourier), ils ont aussi aimé que je mesure la vitesse de retour de la table traçante (qui n'est pas une donnée constructeur). Ils m'ont dit aussi qu'ils m'avaient mis 0 point pour l'expérience du pendule car présentée comme je l'avais fait, elle servait à rien... (comme quoi, il suffit de 4 expériences rondement menées)

### Agrégation 2014

- 1) le GBF utilisé indique une fréquence. Est-elle fiable ? (sachant qu'elle a un fréquencemètre intégré) ?
- 2) pourquoi avoir pris la corde de Melde pour montrer l'effet stroboscopique alors que le batteur suffisait ?
- 3) quelles sont les limitations et la précision d'un compteur ?
- 4) ne connaissant pas la fréquence de la corde de Melde, comment la déterminer par stroboscopie en étant sûr que l'on ne sous-échantillonne pas, proposer un protocole pour la déterminer ?
- 5) pourquoi doit-on avoir des amplitudes proches lorsque l'on percute les 2 diapasons ?
- 6) l'unité de la fréquence, comment elle est définie ?
- 7) expression générale de l'effet Doppler ?
- 8) comment choisir les composants R et C à la sortie du multiplieur ?
- 9) retrouver les formules des battements ?
- 10) pouvait-on réaliser la même expérience, donc de sommer les deux signaux issus de l'émetteur et le récepteur piezo pour l'expérience de l'effet Doppler, sachant que leurs fréquences sont voisines ?
- 11) quel fenêtrage avez-vous choisi pour votre FFT et pourquoi ?
- 12) quel est le but du fenêtrage ?
- 13) que pouvait-on réaliser comme expérience utilisant votre expérience sur l'effet Doppler pour remonter à la célérité des ondes dans l'air ?
- 14) comment varie la célérité des ondes sonores dans l'air avec la température ?

# MP26 : Mesures de longueurs

## Rapports du jury

**2017** : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du réglet comme outil de mesure. L'utilisation de mesures utilisant des interférences optiques conduit à des mesures intéressantes dont on pourra discuter la précision par rapport à des mesures plus directes.

**2016, 2015** : Des mesures de longueurs dans une large gamme sont appréciées et là encore les candidats ne doivent pas se contenter du réglet comme outil de mesure. Par ailleurs, la mesure d'une longueur de cohérence n'a pas en soi sa place dans ce montage.

**2014** : Ce montage n'est ni un montage de spectroscopie, ni un montage de focométrie ; en particulier, la mesure de longueurs d'ondes en tant que telle ne semble pas indiquée. On peut en revanche discuter des méthodes de mesure de longueurs adaptées à grande et à petite échelle. Rappelons que des objets micrométriques peuvent être mesurés avec un instrument optique adapté.

**2013** : Il est dommage de voir tant de montages à prétention métrologique où les incertitudes sont très mal gérées. Lors d'utilisation de « boîtes noires », il est indispensable de connaître leur fonctionnement.

**2012** : Le jury a pu assister à des montages variés et bien structurés, balayant les diverses échelles de longueurs, de l'infiniment petit à l'infiniment grand. Cependant, les incertitudes, malgré leur importance dans ce montage, sont souvent très mal gérées et mal hiérarchisées.

**2011** : Le jury a pu assister cette année à des montages variés et bien structurés. Cependant, les incertitudes, malgré leur importance dans ce montage, sont souvent très mal gérées et mal hiérarchisées.

**2010** : Il est dommage de voir tant de montages à prétention métrologique où les incertitudes sont très mal gérées.

**2009** : Il est inutile d'utiliser un interféromètre de Michelson pour déterminer la différence de marche engendrée par une lame de microscope si on cherche à déterminer son épaisseur avec un indice peu précis !

**2005** : Les appareils de mesure traditionnels (palmer, mètre-ruban) permettent de vérifier les valeurs obtenues par des méthodes dont on cherche à illustrer le principe.

## Retours d'oraux

### Agrégation 2012 - Note : 14/20

Plan : méthode de la parallaxe, diffraction par un cheveu, épaisseur d'une lame d'air avec Michelson, diffraction d'électrons. — Parallaxe : j'avais visé par la fenêtre l'autre aile du bâtiment, à environ 200m. J'ai beaucoup galéré à faire ouvrir la fenêtre, placer les goniomètres assez haut (je devais monter sur une chaise pour régler et mesurer les angles...), mais ça en valait le peine ! Un technicien extra est allé de son propre chef compter le nombre de dalles dans le couloir entre les deux ailes pour que j'ai une comparaison possible !! Calcul d'incertitudes : besoin de se mettre en radians ? Pourquoi mesurer la distance entre le centre des gonios et par la distance entre les deux lunettes ? Pourquoi aligner avec les réticules ?

— Diffraction : évolution des barres d'erreur avec la taille de la fente (mon ordi s'est éteint pendant la présentation à cause d'une coupure de courant, et Regressi avait donc mangé les barres d'erreur). Comment estimer l'incertitude sur la taille du cheveu, sachant que l'on a une courbe d'étalonnage ? — lame de verre : facteur 2 (je m'étais plantée...). Pourquoi a-t-on l'apparition des franges en deux temps ? Pourquoi ne pas avoir mis un repère sur l'écran pour avoir la position exacte de la frange noire ? (en fait l'incertitude de la lecture sur le vernier est plus grande). Questions sur la dispersion d'indice du verre, où ils ont dû beaucoup me guider.

### **Agrégation 2012 - Note : 12/20**

- Parallaxe trigonométrique : Quelle est l'incertitude sur les angles mesurés ? Pourquoi est-il préférable de constituer un triangle isocèle avec les goniomètres ?
- Télémétrie acoustique : Quel est le type d'ondes utilisés ici ? Comment connaître précisément la vitesse de ces ondes ?
- Mesure du diamètre d'un cheveu à l'aide de la diffraction : L'étalonnage a été réalisé à l'aide d'un jeu de fentes, or le cheveu est cylindrique et possède aussi une épaisseur : comment est modifiée la figure de diffraction ?
- Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre à l'aide du Michelson : Pourquoi les franges formées par les rayons lumineux qui ont traversés la lame sont-elles courbées ? Préciser la relation de dispersion du verre ? Est-ce que la dispersion a une influence sur les résultats ?
- Mesure des paramètres de maille du graphite à l'aide de la diffraction d'électrons : Quelles sont les longueurs qui sont mesurées ici ? Pourquoi obtient-on deux cercles lumineux ? Pourquoi les électrons sont-ils diffractés ?

### **Agrégation 2014 - Note : 16/20**

J'ai fait le montage présenté pendant l'année, sans la diffraction par un cheveu, et en améliorant un peu la mesure de l'épaisseur d'une lame de microscope (j'utilise une formule qui me donne la correction à la frange noire qui est en fait la frange achromatique et je calcule les coef A et B de la formule de Cauchy dont j'ai besoin grâce aux valeurs d'indice optique pour différentes longueurs d'onde données dans la notice). Tout c'est bien passé à part pour la troisième manip où le signal de photodiode était bizarre : il y avait bien des oscillations mais le niveau moyen d'intensité a changé brutalement au cours de la prise de mesure, et donc je ne pouvais pas appliquer la fonction seuil pour calculer le nombre de franges, je n'ai pas eu le temps de refaire la mesure. Télémétrie : ils sont revenus sur la manière dont j'avais calculé les distances, ensuite sur la forme du signal reçu : pourquoi est-il déformé ? Comment sont composés les émetteurs /récepteurs ultrasonores, bande passante du quartz, nom du phénomène mis en jeu ? — Parallaxe : Idem ils m'ont posé des questions sur la manière dont j'avais fait mon alignement. Puis ils ont vérifié mes calculs ... heureusement ils ont trouvé pareil que moi :) — lame : Ils m'ont demandé de retrouver rapidement l'épaisseur en utilisant la lecture de la vis micrométrique, mais j'avais pas écrit les positions du contact optique, du coup je suis pas arrivée à le retrouver ! — Diffraction d'électrons : Questions sur la diffraction de Bragg, d'où vient le  $2\theta$ , qu'est-ce qui diffracte ? Comment peut-on voir que c'est une poudre ?

### **Agrégation 2014 - Note : 15/20**

Je n'avais pas fini de préparer tout le montage lorsque le jury est arrivé ce qui m'a « un peu » stressée. Sur la manipulation de la parallaxe, il m'ont demandé à quoi correspondaient les trois points de mon schéma dans la réalité, et d'expliquer le calcul des incertitudes et de le commenter. Sur la manipulation de la télémétrie, je n'ai pas fait de régression linéaire pour remonter à la vitesse du son dans l'air ce qui a été regrettable selon le jury puisque cela aurait gonflé la note. Sur la manipulation pour mesurer l'épaisseur d'une lame de verre avec le Michelson, ils ont réellement apprécié que j'explique chaque manipulation que je faisais sur le Michelson, c'est ce qui a en quelque sorte sauvé mon montage. Ensuite, ils m'ont surtout posé des questions sur ce qu'apportait l'introduction d'un laser dans le montage (comme ça a été fait dans l'année) sachant que je n'avais expliqué que qualitativement le principe et son avantage puisque que je n'avais pas fait d'acquisition à cause de problèmes de photodiode. Ils m'ont aussi demandé quel est le pouvoir de résolution d'un Michelson. Enfin, j'ai présenté la manipulation avec la diffraction des électrons ce qui n'est pas forcément utile selon le jury surtout si on est en manque de temps.

### **Agrégation 2014 - Note : 20/20**

J'étais trop juste en préparation, ce qui m'a empêché de préparer bien tout ce que je voulais (interprétation, incertitudes), bien que les manipulations aient marché assez vite. Les techniciens étaient très compétents et serviables. Les questions que le jury m'a posé portaient sur les manip : (1) Parallaxe. Réglage de l'oculaire du gonio, donner quelques détails. Rejustifier les incertitudes sur les angles (pendant l'entretien le jour de la proclamation, le jury m'a dit qu'il voulait que les candidats aient à l'esprit que si l'incertitude est négligeable dans le cas qu'on peut présenter, ce n'est pas le cas en astronomie) — (2) Télémétrie. Pourquoi un étalement du paquet d'onde suite à réflexion? Fonctionnement de la sonde de température? — (3) Mesure interférentielle de l'épaisseur d'une lame de microscope par méthode du spectre cannelé. Formule liant les cannelures à l'épaisseur de la lame? (je m'étais trompé) — J'avais aussi présenté la diffraction par un cheveu (étalonnage avec des fils de longueur connus) et la diffraction par le graphite (juste qualitatif). Mon montage avait des défauts, mais ils ont mis 20 car ils ont apprécié les commentaires physiques, le tracé de courbes au lieu de faire un seul point (temps de vol), le fait qu'il y avait beaucoup de choses et une bonne maîtrise de toutes les manipulations.

### **Agrégation 2018 - Note : 16/20 - Choix avec “Induction, auto-induction”**

Commentaires généraux : Techniciens très gentils et disponibles, mais à manager (contrairement à dans l'année de préparation). Ils préfèrent monter toutes les manip au début, donc il faut s'imposer si on ne veut pas faire ça. Mais vu qu'il peut y avoir des imprévus sur le matériel (comme avec la diffraction d'électrons), il vaut mieux vérifier assez tôt que le matériel est là pour toutes les manip.

Questions (J'ai eu peu de questions, et une grande partie de l'entretien a consisté à comprendre pourquoi la diffraction d'électrons ne donnait pas les bonnes valeurs pour les distances caractéristiques du graphite, ce que ni moi ne le jury n'a réussi à expliquer) : Sur la télémétrie : D'où provient l'incertitude sur la mesure au mètre ruban? A quoi est due la forme des pics? Pourquoi faire les mesures de la position des deux pics séparément? Pourquoi prendre la position du maximum des pics? Est-ce que cela change avec la position du coin de cube? Sur la chandelle standard : Comment est faite la photodiode? Dessiner

le montage électrique de polarisation en inverse ? Pourquoi la QI peut-elle être considérée comme ponctuelle ? A quelle distance cela est-il valable ? Des étoiles jusqu'à nous, la lumière peut-elle être absorbée ? Sur la diffraction par une fente : Etes vous sûre que le pic saturé sur la caméra est bien le pic central ?

Commentaires du jury : La télémétrie laser est une très bonne mesure. Il aurait fallu discuter le caractère ponctuel de la source formée par le filament de la QI. Mieux : tracer  $d$  en fonction de  $\sqrt{V_{photodiode}}$  pour discuter cette approximation. Pour la figure de diffraction par une fente, un membre du jury pense que le pic qui saturait était le deuxième pic du sinus cardinal et pas le pic central... Je ne pense pas mais comme quoi, il vaut peut-être mieux montrer comment on place la CCD et avoir une image un peu moins bonne plutôt que d'avoir tout prêt quand le jury arrive et de ne pas pouvoir se défendre sur son placement. J'ai raconté une bêtise sur la matière noire pendant les questions, à éviter. Ils ne m'ont pas tenu rigueur du résultat incorrect de la diffraction d'électrons car n'ont pas trouvé la réponse.

## MP27 : Systèmes bouclés

### Rapports du jury

**2017, 2016, 2015** : Ce montage concerne la physique des asservissements et / ou celle des oscillateurs auto-entretenus. Une maîtrise minimale des montages élémentaires est requise. Un oscillateur à quartz serait le bienvenu, compte tenu de son fort facteur de qualité.

**2014** : Ce montage concerne la physique des asservissements et/ou celle des oscillateurs auto-entretenus. Une maîtrise minimale des montages élémentaires est requise. Un oscillateur à quartz serait le bienvenu, compte tenu de son fort facteur de qualité.

Jusqu'en 2013, il y avait deux montages Systèmes bouclés (oscillateurs exclus). et Oscillateurs auto-entretenus. qui ont été rassemblés. Suivent les commentaires et retours de ces anciens montages.

Commentaires extraits des rapports de jury (asservissement)

Jusqu'en 2013, le titre était : Systèmes bouclés (oscillateurs exclus).

**2012** : Les notions de stabilité, puis de temps de réponse et de précision sont essentielles dans ce montage. Le monde moderne regorge de systèmes asservis évitant l'utilisation de « boîtes noires » présentant des défauts introduits exprès pour qu'on les corrige par asservissement. Le produit « gain  $\times$  bande passante = constante » ne doit pas être attendu aveuglément, les conditions de validité de cette relation doivent être connues et respectées.

**2010 et 2011** : Les notions de stabilité, puis de temps de réponse et de précision sont essentielles dans ce montage. Le monde moderne regorge de systèmes asservis évitant l'utilisation de « boîtes noires » présentant des défauts introduits exprès pour qu'on les corrige par asservissement.

**2009** : L'utilisation de « boîtes noires » présentant des défauts introduits exprès pour qu'on les corrige par asservissement ne fait qu'illustrer l'incapacité des candidats à aborder des problèmes pratiques réels. Le monde moderne regorge pourtant de systèmes asservis.

Jusqu'en 2008, le titre était : Asservissement d'une grandeur physique ; applications.

**2007** : La connaissance du comportement en fréquence des quadripôles est nécessaire pour discuter les propriétés d'un système bouclé. Le tracé d'un diagramme de Bode peut faciliter la présentation.

Jusqu'en 2004, le titre était : Asservissement d'une grandeur physique.

**2004** : Il n'est pas nécessaire de se lancer dans des prestations trop techniques ou trop ambitieuses. Ce montage peut donner lieu à une bonne liaison entre mesure et grandeur physique, pour peu que l'on ne perde pas de vue la mise en valeur de la grandeur physique elle-même. Cela dit, les méthodes de corrections « PID » peuvent être montrées simplement sur des exemples judicieusement calibrés.

**1998** : On peut bien entendu se limiter aux asservissements analogiques et laisser, sur ce sujet, les techniques numériques aux spécialistes. Le choix du dispositif, ainsi que celui de la grandeur asservie, sont laissés au candidat. Certains dispositifs un peu sophistiqués permettent d'illustrer assez complètement de nombreux aspects du sujet. Mais, il est dangereux d'utiliser une maquette dont on ne connaît pas le principe. Il existe des montages plus simples utilisant par exemple un correcteur (PI, PID, ...) et permettant l'étude de l'asservissement de vitesse (ou de position) d'un moteur. Bien qu'on exige davantage à l'agrégation, il faut savoir qu'une simple régulation de température en tout ou rien permet déjà de montrer un certain nombre de phénomènes.

Commentaires extraits des rapports de jury (oscillateurs)

Jusqu'en 2013, le titre était : Oscillateurs auto-entretenus.

**2013** : Dans ce montage on demande une maîtrise minimale des montages élémentaires. Un oscillateur à quartz serait le bienvenu avec son fort facteur de qualité.

**2012** : Un oscillateur à quartz serait le bienvenu avec son fort facteur de qualité. Le rôle de la phase pour la détermination de la fréquence d'oscillation est rarement utilisé. Penser aussi aux nombreuses applications.

**2010, 2011** : Un oscillateur à quartz serait le bienvenu avec son fort facteur de qualité. Le rôle de la phase dans le critère de Barkhausen pour la détermination de la fréquence d'oscillation est rarement compris.

**2009** : De nombreux candidats ignorent l'importance des retards de phase dans l'étude de la stabilité des systèmes.

**2008** : Les conditions d'oscillation auto-entretenues doivent être maîtrisées.

Jusqu'en 2007, le titre était : Oscillateurs.

Jusqu'en 1999, le titre était : Oscillateurs quasisinusoidaux et oscillateurs de relaxation.

**1999** : La mise en évidence du caractère imparfaitement sinusoidal des oscillations, obtenues par exemple à l'aide d'un dispositif à résistance négative est rarement faite, on pourra utiliser un analyseur de spectre ou visualiser la tension aux bornes de la bobine plutôt qu'aux armatures du condensateur l'intensité instantanée contient des harmoniques que la dérivation renforce et que l'intégration atténuée par rapport au fondamental. Une réflexion sur l'amplitude obtenue s'impose également.

**1997** : Il est dommage de se priver de l'exemple d'un oscillateur à quartz.

**Retours d'oraux**

**Agrégation 2016 - Note : 20/20 - Choix avec Matériaux semi-conducteurs**

Tout d'abord des questions expliquant pourquoi les ajustements n'ont pas marché. Puis : comment vous mesurez les fréquences ? Principe de la mesure ? Pourquoi Wien est peu sélectif ? Comment faire mieux ? Sur le diagramme de Bode, où voit on la fréquence des oscillations ? Pourquoi avoir tracé le Bode jusqu'à 100kHz ? Votre AO, il coupe à combien ? Vous avez parlé des non-linéarités et des saturations, elles viennent d'où ? Le chi2, c'est quoi ? Comment Igor calcule-t-il les incertitudes ? Mais du coup, si votre chi2 est grand (le mien valait 3,5), est-ce que cette incertitude a un sens ? Pas de question sur la PLL en soi (déception intense).

Plan présenté : I) Oscillateur à pont de Wien 1) Étude en boucle fermée 2) Étude en boucle ouverte II) Multivibrateur astable 1) Régime libre d'oscillations 2) Oscillations commandées en tension III) Boucle à verrouillage de phase. Au vu de la tête d'une des membres du jury en voyant que j'avais choisi ce MP, choisir de l'élec est toujours bien perçu... La préparation s'est extrêmement bien passée, j'avais tout câblé au bout de deux heures, par contre les prises de points ont un peu trainé, du coup 5 min avant la fin je me suis dit que je traiterai les incertitudes en live. Il y a eu quelques erreurs d'inattention qui ont empêché certains ajustements de se faire (checkez bien les formules que vous écrivez : un 3 est devenu un 1/3 chez moi, et je trouvais 20 au lieu de 180). Mais globalement le jury a une attitude positive : on revient sur ces erreurs en début de questions pour montrer qu'en fait tout va bien ! Comme d'habitude, pendant la présentation, si vous sentez que les choses vous échappent, il faut garder une attitude critique, commenter ce que vous faites, discuter des problèmes.

Retour du jury : effectivement, quelques petits cafouillages en présentation, mais il y avait beaucoup de manips, de haut niveau (la PLL vaut le coup), et il y a eu de nombreuses prises de points (ils ont aimé les lieux de Nyquist). Et puis c'était de l'électronique, du coup ils ont valorisé le risque. Globalement, la discussion et les questions leur ont plu.

### **Agrégation 2014 - Note : 15/20**

Plan : asservissement (moteur asservi en position), oscillateurs (basse fréquence : oscillateur de Wien, haute fréquence : oscillateur à quartz), j'ai ouvert sur les cavités résonantes (laser transparent) Questions : Pourquoi le moteur est un système d'ordre 2 ? D'où viennent les non-linéarités de l'oscillateur de Wien ? La condition de Barkhausen prend-elle en compte l'évolution de la phase sur une boucle ? Quel est le modèle électrocinétique du quartz ? Pourquoi un laser n'amplifie qu'une seule fréquence, et comment sont choisies les conditions aux limites ? Remarques sur la préparation : les techniciens m'ont pris toutes les mesures pour les diagrammes de Bode et tracer toutes les courbes sur Regressi, les 4h sont passées très vite : le temps de remplir la fiche du matériel, d'aller le chercher avec les techniciens (j'ai presque tout pris en une fois, et je n'ai donc pas eu besoin de faire d'autre aller-retour par la suite), de le brancher/installer, puis d'écrire mon tableau et il ne me restait que 2h30 pour tout monter et prendre les mesures. Je n'ai écrit que mon introduction/conclusion sur une feuille, pour le reste je n'ai pas eu le temps mais le tableau écrit était suffisant. Je n'ai pas eu le temps de tout vérifier en préparation, heureusement tout a parfaitement marché pendant l'oral. Je conseille donc d'écrire le tableau très tôt en préparation, ainsi même si on est très juste niveau temps à fin il sert de fil conducteur pour nous guider pendant l'oral.

Commentaires du jury : très bonne présentation et bon plan, qui auraient mérité un 18-19 si j'avais un peu mieux répondu aux questions (je n'ai pas réussi à répondre à la plupart des questions théoriques qu'ils m'ont posées sur les oscillateurs). Ils m'ont rappelé que le plus

important dans cette épreuve est de montrer nos capacités expérimentales, c'est-à-dire de réussir à monter des expériences, d'en obtenir des mesures, de tracer des courbes ... L'aspect théorique (bien comprendre la théorie qui est derrière) n'est que secondaire.

### **Retour des années précédentes (asservissement)**

#### **Agrégation 2010 - Note : 03/20 - choix avec Thermométrie.**

Précisions sur toutes les quantités qu'on manipule avec la cavité confocale. Sens physique de la finesse, de la résolution, de l'intervalle spectral libre? Premier commentaire du jury en plein montage, ça m'a saoulé! J'ai présenté l'AO boucle ouverte, puis l'ampli inverseur, l'asservissement en position (que j'ai été bien incapable de faire fonctionner) et le laser. Une vraie catastrophe malgré des techniciens très disponibles et très gentils, j'ai paniqué et fait une présentation lamentable qui vaut bien la note.

#### **Agrégation 2012 - Note : 06/20**

Tous les systèmes bouclés ont un produit « gain  $\times$  bande passante = constante »? Sur quoi peut-on jouer sur l'asservissement, à part le gain? à part le gain, quelle est l'autre condition de stabilité? Pourquoi choisir des portes NAND? Intérêt en électronique?

#### **Agrégation 2012 - Note : 13/20**

Dans le montage d'ampli OP en boucle ouverte (cf. Duffait), à quoi sert la résistance reliant l'entrée au point « A »? Dans ce même montage, si on n'a pas pu atteindre le palier auquel l'AO est passe-bas, que peut-on quand même tirer de la courbe? La propriété « produit gain  $\times$  bande passante = constante » est-elle quelque chose de général? Comment fonctionne un oscillateur commandé en tension? Quel est le principe de fonctionnement d'une radio?

#### **Agrégation 2013 - Note : 12/20**

Produit gain bande passante toujours valable? Dans l'amplificateur non inverseur, pourquoi choisir des résistances de l'ordre du k plutôt que de l'ordre du ? J'ai mesuré le gain à une fréquence bien inférieure à la fréquence de coupure et j'ai cherché la fréquence de coupure telle que la tension de sortie soit divisée par racine de deux. J'ai fait ça pour plusieurs valeurs de résistances puis j'ai tracé le produit gain-bande passante en fonction d'une résistance. J'ai oublié de faire passer une droite horizontale par les points (grosses incertitudes, plutôt tracer le gain en fonction de un sur la fréquence de coupure) et donc : comment faut-il faire pour valider la loi? Comment on arrive à une fonction de transfert du second ordre pour l'asservissement en position? C'est un moteur à courant continu? Quel est l'intérêt du correcteur à avance de phase : on a déjà atteint le régime critique, donc résolu le problème, en faisant varier la résistance!

### **Retour des années précédentes (oscillateurs)**

#### **Agrégation 2008 - Note : 02/20 - choix avec Émission et absorption dans le domaine optique.**

Caractéristiques statiques/dynamiques de l'AO ? à propos du dipole à « résistance négative » , vérification de la caractéristique  $i(U)$ . Pour l'oscillateur à relaxation, quel est le rôle du second AO du montage ?

### **Agrégation 2011 - Note : 11/20**

Pouvez-vous expliquer de nouveau le rôle des différents éléments de l'oscillateur à pont de Wien ? En quoi est-ce un oscillateur auto-entretenu ? En quoi est-il quasi-sinusoidal ? Pourquoi utilise-t-on un quartz comme oscillateur dans les montres ? Pouvez-vous revenir sur la détermination des incertitudes dans le montage de l'oscillateur à pont de Wien ? Pouvez-vous expliquer le fonctionnement du vase de Tantale ? En quoi est-ce un oscillateur auto-entretenu ? Pouvez-vous expliquer la génération des oscillations dans le multivibrateur astable ? Quel critère permet de prévoir son comportement ? Les techniciens et les profs préparateurs sont extrêmement dévoués et bienveillants, il ne faut pas hésiter à les solliciter (avec politesse bien sûr). Leur aide se révèle très précieuse en temps limité. Concernant les membres du jury, ils sont attentifs et bienveillants. Ils ne laissent rien transparaître ! C'est pourquoi il me semble très important de ne pas se laisser déconcentrer soi-même en tentant d'interpréter leur attitude.

### **Agrégation 2012 - Note : 04/20**

Comment peut-on déterminer simplement la fréquence de résonance de l'oscillateur de Wien en boucle ouverte ? Quel est le lien entre la fréquence de résonance et la résistance qui détermine le départ des oscillations ?

### **Agrégation 2013 - Note : 07/20**

Précision du fréquencemètre au Hz ? Condition sur le temps de moyennage comparé à la fréquence du signal ? Quelle est la différence entre le multivibrateur astable et le l'oscillateur de Wien ? Est-ce qu'on respecte vraiment le critère de Barkhausen lorsqu'il y a oscillation ? Intérêt d'un oscillateur auto-entretenu ?

### **Agrégation 2013 - Note : 08/20**

Expliquer le principe de fonctionnement de l'oscillateur dans le cas du pont de Wien. J'ai répondu à moitié. J'ai eu d'autres questions de base auxquelles je n'ai pas répondu. J'ai eu une question sur expliquer le principe de fonctionnement du multivibrateur astable (oscillateur à relaxation). J'y ai répondu. Les expériences présentées : pont de wien, multivibrateur astable, mouvement collé-glissé, et oscillateur à quartz.

### **Agrégation 2013 - Note : 16/20 - choix avec « Mesure de longueurs »**

J'ai présenté pour les oscillateurs QS, l'oscillateur à pont de Wien et l'oscillateur à Quartz, et pour les oscillateurs à relaxation le vase de Tantale (juste en illustration) et le multivibrateur astable. J'avais également monté l'oscillateur à porte NAND que je n'ai pas eu le temps de présenter. Les technicien ont été sympa et très disponibles. Ils ont monté la flexcam et le vase de Tantale sans même que j'aie à leur demander. Leur rôle a été cependant très limité étant donné que la seule mesure répétitive que je leur ai demandé était de tracer le diagramme de Bode du filtre du pont de Wien. Le jury était également sympa et s'est déplacé quasiment

systématiquement lorsque je montrait une expérience. Les questions ont duré très longtemps (en tout cas je trouve) et ils m'ont demandé de réexpliquer le rôle de chaque composant des oscillateurs (filtre, amplificateur, intégrateur...) que j'utilisais, ils m'ont également posé des questions plus théoriques sur le critère de Barkhausen et les diagrammes de Nyquist. Je n'ai pas eu de question sur les incertitudes que je donnais, mes principales mesures étaient les mesures de fréquence des différents oscillateurs.

## MP28 : Instabilités et phénomènes non-linéaires

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage ne peut pas se limiter à étudier le non isochronisme des oscillations du pendule pesant.

**2016, 2015** : Il s'agit de bien d'illustrer quelques caractéristiques des systèmes non linéaires, de préférence dans différents domaines de la physique. Selon le (ou les) système(s) choisi(s) pour illustrer ce montage, on peut penser à la pluralité des positions d'équilibre, au phénomène de bifurcation, à l'enrichissement spectral, au ralentissement critique...

**2014** : Il s'agit de bien d'illustrer quelques caractéristiques des systèmes non-linéaires, de préférence dans différents domaines de la physique. Selon le (ou les) système(s) choisi(s) pour illustrer ce montage, on peut penser à la pluralité des positions d'équilibre, au phénomène de bifurcation, à l'enrichissement spectral, au ralentissement critique ...

**2010, 2013** : Il s'agit de bien illustrer quelques caractéristiques des systèmes non linéaires : pluralité des positions d'équilibre, bifurcation, caractérisation des non linéarités, enrichissement spectral, doublement de période, ralentissement critique..., en fonction du ou des système(s) choisi(s) pour illustrer ce montage.

**2011** : Les candidats doivent prendre en compte les deux aspects de l'intitulé du montage. Cette année, les présentations se sont trop souvent limitées aux aspects non-linéaires.

### Retours d'oraux

**Agrégation 2010 - Note : 11/20 - choix avec « Production et analyse d'une lumière polarisée. »**

Je n'ai eu aucun problème avec le matériel (j'ai pu avoir tout ce que je voulais et venant de Lyon) et les techniciens ont été très bien : ils ont fait les quelques mesures répétitives que je leur ai demandé. J'ai commencé par l'étude du pendule non-linéaire : j'ai eu des questions sur les hypothèses du pendule simple ou pesant, sur les portraits de phases (quand peut-on dire que l'oscillateur est linéaire ou non ?). J'ai ensuite fait l'étude du van der Pol.

**Agrégation 2012 - Note : 14/20 - choix avec « Photorécepteurs. »**

Recherche de fréquence propre du pendule pesant aux petits angles : pourquoi le pic de la TF est-il large ? Et en travaillant aux grands angles ? Quels sont les paramètres que l'on peut faire varier quand on fait une FFT ? Ils m'ont fait corriger un oubli de conversion degré/radian. J'avais vérifié la formule de Borda avec la technique du BUP 867 : pouvez-vous commenter le petit programme Synchronie que vous avez utilisé ? Connaissez-vous des

applications pratiques des oscillateurs de Van Der Pol ? Parlez nous de l'élément non-linéaire que vous avez utilisé. Comment avez-vous choisi les composants du Van der Pol ? Expliquer qualitativement comment le circuit Van der Pol peut engendrer des oscillations.

### **Agrégation 2014 - Note : 13/20**

On n'a pas forcément le matos que l'on veut. Typiquement je n'ai pas eu le pendule grand angle de Lyon et j'ai eu celui de l'université Paul Sabatier (pas de notice, et il faut pas mal bricoler), alimentations continues de Montrouge (elles ne font que de 1V en 1V et quand elle affiche 2V, elle débite en gros 1,6V, elles se bloquent assez souvent et arrêtent de débiter ...). Les métronomes de Cachan sont mieux que ceux de Lyon pour le couplage non linéaire. Il faut contrôler tout le matériel, j'avais une porte logique qui ne marchait pas, une décade de capa pas du tout à la valeur affichée et une décade de résistance avec un faux contact. Il faut contrôler ce que font les techniciens, le formule de Borda ne marchait pas parce qu'un technicien comptait mal les périodes 6 : il commençait à 1 au lieu de zéro donc il comptait 9 périodes au lieu de 10. Je m'en suis rendu compte pendant les questions.

- Le temps de propagation est-il négligeable dans l'oscillateur à porte logique ? Ordre de grandeur ? Pourquoi avez-vous une valeur inférieure à la valeur de la notice de la porte ? 6. Rappelons que le candidat est seul responsable de ce qu'il présente, et que les techniciens ne font que ce qu'on leur demande sans prendre aucune initiative. Dans le cas présent, il ne fallait pas hésiter à dire au technicien « premier passage : comptez zéro ».

- Vous avez mesuré le nombre de bits de l'oscillo et de la carte d'acquisition n'y a-t-il pas un autre phénomène de quantification que la quantification en valeur ? Nombre de bits sur un voltmètre ? Quel type de CAN dans les divers appareils ?

- La formule de propagation des incertitudes est établie pour les écarts types, vous l'avez utilisé pour des incertitudes étendues avez vous le droit ? Dans vos incertitudes de type A, pourquoi ajuster par une loi normale ? Vous avez souvent parlé de  $\chi^2$ , définition ? Comment s'en servir pour voir si des élèves trafiquent les résultats ?

- Pouvez vous réexpliquer le portrait de phase du pendule ? Vous avez montré l'influence de frottement fluide et de frottement solides, à quoi le relier ? Pourquoi tracer un portrait de phase fermé au tableau ? En quoi le facteur de qualité dépend du type de frottement ?

- Comment fonctionne le capteur du pendule ? (J'ai dit que je ne connaissais pas le pendule et qu'il n'y avait pas de notice et que ça devait être un potentiomètre dans un pont diviseur, ils n'ont pas aimé que je ne connaisse pas le matériel que j'utilise). Pourquoi y a-t-il un tel offset ? Comment s'en affranchir ? Comment est fait le circuit de conditionnement ? Vous polarisez par 5V sans savoir si le conditionnement supporte 5V ? Vous êtes sur qu'il n'y a pas un couplage AC sur la carte d'acquisition ? Ne pouvait-on pas tracer le portrait de phase avec l'oscillo ? Vous êtes sûr que l'on ne peut pas afficher les fonctions math en mode XY ?

- Comment expliquer que vos de mesures de pulsation du pendule ne coïncident pas ? J'ai expliqué que ça a été fait par deux techniciens différents et ils n'ont pas du tout, du tout aimé que je dise ça, ça m'a couté pas mal de points selon ce qu'ils m'ont dit pendant les confessions. A ne pas faire.

- Vous utilisez des boîtiers d'alimentation pour Van der Pol, y'a quoi dedans ? Vous pensez que l'on redresse le courant avec quel type de composant ? Dans quelle classe de fonctionnement ?

- Dans l'élément non linéaire, vous avez dit que les multiplieurs sont à l'origine de la non linéarité, ça fonctionne comment ? Condition sur la fréquence pour un fonctionnement en multiplieur ? Que fait-il au delà ? Tension max d'alimentation ? Vous pensez vraiment que l'on somme les signaux et qu'on les envoie sur une diode pour les multiplier ?

- Vous avez dit que le couplage non linéaire permet un échange d'énergie entre les modes, les métronomes sont-ils identiques ? On entend des battements -> ils ne le sont pas, synchronisation d'oscillateur avec un certain désaccord. Quelle est la variable pertinente pour la mesure du désaccord ?

### **Agrégation 2017 - Note : 13/20**

J'ai présenté le pendule pesant (mesure de périodes, petits angles et grands angles : formule de Borda), l'Elastica, et l'oscillateur paramétrique exact (voir BUP).

Questions : Sur le pendule, qu'est-ce qui justifie de prendre pour période celle donnée par l'ajustement d'une période de la "sinusoïde" ? Le sinus est-il solution de l'eq modifiée ? Comment aurait-on pu faire ? La réponse c'est Fourier avec un fenêtrage réfléchi pour avoir une façon cohérente de mesurer tout en ayant une bonne précision. Pour l'Elastica : comment faites-vous le réglage ? comment vous mesurez ? Comment expliquer la dissymétrie ? L'oscillateur paramétrique n'a pas fonctionné, et eux non plus n'ont pas réussi. Du coup ils m'ont posé des questions sur le thème général : lien entre instabilités et phénomènes non-linéaires ?

Commentaire : Les techniciens étaient très gentils, mais voulaient faire au plus vite pour ne pas me déranger et m'ont donné des courbes très moches à la fin, sur des choses que je pensais assurées, et ce malgré mes explications sur comment j'avais fait le réglage fin et tout et tout... Bien vérifier ses points directement après chaque manip du coup, quitte à leur demander de refaire.

### **Agrégation 2018 - Note : 14/20 - Choix avec "Spectrométrie optique"**

I) Effets des non linéarités 1) Enrichissement spectral Petite expérience qualitative : GBF en série avec une résistance et une diode court-circuitée par un interrupteur pour montrer l'apparition de nouvelles fréquences 2) Influence des conditions initiales Expérience avec le pendule relié à synchronie pour vérifier la formule de Bordas II) Ralentissement critique Elastica. Estimation à la main de la masse critique en repérant à partir de quelle masse la poutre flambe, puis ajustement de l'expression de la période en fonction de la masse pour retrouver la valeur de la masse critique. III) Naissance d'oscillation Pont de Wien. Détermination de R à partir duquel naissent les oscillations puis pour finir, j'ai montré qualitativement que si on augmentait R alors il y avait de la distorsion.

La préparation s'est très bien passée, c'était plié en 3h j'avais donc une heure pour figoler. Synchronie a fait des siennes mais j'ai réussi à m'en sortir, mais finalement c'est le débogage de synchronie qui a pris le plus de temps pendant la préparation. Les techniciens étaient adorables, ils n'ont pas rechigné à aller me chercher du matériel qui me manquait et m'ont pris les points pour le pendule. Questions : Manip 1 - Comment quantifier l'enrichissement spectral ? - Est-on sûr que cela n'est pas du bruit ? Manip 2 - Questions sur les incertitudes que j'avais prises - Interprétation du chi carré et expression de celui-ci - De manière générale que des questions sur les incertitudes et leurs significations. Manip 3 - J'avais oublié de régler le niveau à bulle!!!! Ils me l'ont fait trouver et analyser les conséquences de cela. Ils m'ont

aussi suggéré que le ventilateur dans la salle pouvait modifier la période des oscillations. Manip 4 -Expliquer naissance des oscillations physiquement - Que se passe-t-il à  $R$  critique ?

## MP29 : Ondes : propagation et conditions aux limites

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage est riche, car l'existence de conditions aux limites permet l'apparition de phénomènes aussi variés que la réflexion, la réfraction, la diffraction, les interférences... Dans ce contexte, on veillera à bien distinguer ondes stationnaires et ondes stationnaires résonantes. Notons enfin que la notion d'impédance caractéristique n'est pas limitée au câble coaxial. Enfin, la détermination de la fréquence de résonance de la corde de Melde à l'aide d'un stroboscope n'a pas de sens quand la corde est utilisée avec un générateur basse fréquence muni d'un fréquencemètre avec cinq digits.

**2016, 2015** : Ce montage est riche, car l'existence de conditions aux limites permet l'apparition de phénomènes aussi variés que la réflexion, la réfraction, la diffraction, les interférences... Dans ce contexte, on veillera à bien distinguer ondes stationnaires et ondes stationnaires résonantes. Notons enfin que la notion d'impédance caractéristique n'est pas limitée au câble coaxial. Enfin, la détermination de la fréquence de résonance de la corde de Melde à l'aide d'un stroboscope n'a pas de sens quand la corde est utilisée avec un générateur basse fréquence muni d'un fréquencemètre avec cinq digits.

**2014** : Ce montage est riche car l'existence de conditions aux limites permet l'apparition de phénomènes aussi variés que la réflexion, la réfraction, la diffraction, les interférences ... Dans ce contexte, on veillera à bien distinguer ondes stationnaires et ondes stationnaires résonantes. Notons enfin que la notion d'impédance caractéristique n'est pas limitée au câble coaxial.

**2010 à 2013** : L'existence de conditions aux limites permet aussi l'apparition de phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction, interférence, propagation guidée ... La notion d'impédance caractéristique n'est pas limitée au câble coaxial.

Jusqu'en **2007**, le titre était : Ondes et impédances.

**2007** : Ce montage met traditionnellement en difficulté les candidats qui ne savent pas trop comment aborder la notion d'impédance. En 2008, le titre devient Ondes : propagation et conditions aux limites.

**2006** : Les notions d'onde et d'impédance ne doivent pas être totalement disjointes.

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2011 - Note : 07/20

Questions et commentaires du jury : 1. Propagation du son d'un micro à l'autre : C'est quel type de vitesse que vous mesurez ? Précisions sur les mesures ? Quel est le trajet parcouru par l'onde ? (le clap n'était pas fait vraiment dans l'axe des deux micros). Quel temps mesure-t-on ? Si on faisait le clap au milieu entre les 2 micros, qu'est ce que ça change/améliore ? — 2. Corde de Melde et influence des conditions aux limites : Conditions aux limites au niveau de la poulie ? Au niveau du vibreur ? Est-ce qu'on a vraiment un noeud au niveau du vibreur ?

Est-ce que la condition  $f = n \cdot c / (2L)$  est absolument vraie ou approchée ? Sur le coup de la flûte : Comment savoir expérimentalement si on a un seul mode qui se propage ? Qu'est ce qu'il se passe quand on bouche/débouche un trou ? — 3. Banc HF : Choix de la vitesse de translation du moteur ? Comment fonctionne l'ondemètre ? Est-ce que la ligne de mesure perturbe le signal ? A-t-on un mode TE, TM ? Dans l'air, vous avez dit que la propagation est non dispersive, mais dans le guide il y a de l'air donc pourquoi c'est dispersif ? Si on avait un rapport d'ondes stationnaires de 1, physiquement ça voudrait dire quoi ? Intérêt de connaître le ROS ? Quel est le principe de fonctionnement du générateur Gunn d'ondes centimétriques ?

### **Agrégation 2012 - Note : 07/20**

J'ai présenté la propagation libre avec les ondes ultra-sonores, les conditions aux limites avec le câble coaxial et la corde de Melde (ondes stationnaires). Comment fonctionne l'émetteur à ultrasons ? Pourquoi le signal ultrasonore reçu est-il déformé ? Comment la vitesse dépend-t-elle de la température ? En quoi est fait un câble coaxial ? Comment pourrait-on avoir plus sur précision sur la fréquence au stroboscope ?

### **Agrégation 2013 - Note : 20/20**

Le jury m'a questionné dans l'ordre sur les manips que j'ai présenté. Sur la corde de Melde il est revenu sur ce que l'on devait voir avec le stroboscope, et ce qui se passait en dehors de la résonance (notamment est-ce que la corde est fixe ou pas avec le stroboscope en dehors de la résonance). Sur la câble coaxial on m'a demandé comment expliquer la déformation du signal ; en fait n'ayant pas utilisé de câble coaxial entre le GBF et la bobine de cable j'avais des réflexions parasites. Sur le banc hyperfréquence ils sont revenus sur l'antenne qui permet la mesure et sur sa réponse (attention elle n'est pas quadratique). Sur le mode transmis par le banc l'orientation du champ E dans le guide et si la fente qui permet à l'antenne de bouger avait un rôle sur la propagation de l'OEM (on peut d'ailleurs imaginer que seul le mode TE<sub>1</sub> se propage ce qui explique que le banc hyperfréquence transmet qu'une étendue limitée de fréquence). Sur le diagramme de rayonnement ils m'ont demandé si on pouvait comparer les deux puissances (ce que l'on ne peut pas faire à cause de la réponse inconnue de l'antenne de réception).

### **Agrégation 2013 - Choix avec Mesures électriques**

\* Diffraction avec laser, courbe de la largeur de la tache centrale en fonction de la largeur de la fente pour remonter à la longueur d'onde du laser.

dans quelles conditions vous - êtes vous placée ?

quelles sont exactement les conditions pour être en Fraunhofer ?

longueurs de cohérence laser et QI ?

\* Ombroscopie pour remonter à la vitesse de propagation de l'onde.

des précisions sur les ventres et nœuds de pression

précision sur le lien avec les franges

pourquoi  $\lambda/2$  à l'écran

\* La corde de Melde : remonter à la vitesse de propagation et voir l'influence de la longueur de la corde.

pourquoi on voit aussi un mouvement horizontal de la corde ?

est - ce gênant pour les mesures ?

mieux de mesurer la fréquence au stroboscope ou lire sur GBF ? Voilà. Pas de câble coaxial et d'adaptation d'impédance : particulière face au générateur d'impulsion. Pas d'effet Doppler ... Un grand malheur ! J' ai eu des soucis avec la FFT de mon oscillo . Enfin j' ai pas beaucoup insisté pour résoudre le problème et suis vite passée à autre chose. Regret.

A 11h30 aucun soucis de manque de matériel. Les préparateurs restent en fait dehors devant la salle dont ils ferment la porte. Mais sont au garde à vous. Un professeur préparateur passe au cours de la préparation pour voir comment ça se passe et rappelle ce qu' on attend d'un montage.

## MP30 : Acoustique

### Rapports du jury

**2017** : Ce montage se limite souvent à la mesure de la célérité du son dans l'air et à l'étude du diapason. La propagation dans d'autres milieux que l'air est appréciée par le jury. L'utilisation de la représentation de Lissajous pour mettre en évidence les passages en phase n'est pas généralisée. L'utilisation d'émetteurs et récepteurs ultrasonores est répandue, mais leur principe de fonctionnement doit être connu. Par ailleurs, certains dispositifs commerciaux conduisent à des réflexions parasites qui perturbent les mesures. Le choix de dispositifs plus performants conduit à des mesures plus satisfaisantes.

**2016, 2015** : Les phénomènes d'interférences, de réflexion / transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre, le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. En tout état de cause, le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son. Signalons enfin que les mesures d'atténuation des ondes acoustiques dans l'air qui ont été proposées par les candidats n'ont pas donné de résultats probants.

Jusqu'en 2013, le titre était : Ondes acoustiques.

**2014** : Les phénomènes de réflexion/transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. Le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son. Signalons enfin que les mesures d'atténuation des ondes acoustiques dans l'air qui ont été proposées par les candidats, n'ont pas donné de résultats probants.

**2013** : Les phénomènes de réflexion/transmission et d'impédance ont aussi leur place dans ce montage. En outre le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles. Le montage ne doit pas se limiter à des mesures de la célérité du son.

**2012** : Le jury attend des notions plus variées que les seules mesures de célérité. On peut penser : (i) aux phénomènes de réflexion-transmission, d'interférences et de diffraction, de modes... (ii) aux notions d'impédance acoustique, de timbre, de hauteur, d'effet Doppler... (iii) aux nombreuses applications : instruments de musique, sonar, échographie.

**2010 et 2011** : Les phénomènes de réflexion/transmission ont aussi leur place dans ce montage. En outre, le jury apprécie qu'on ne se limite pas à la propagation dans l'air ni à

une gamme de fréquences restreinte aux fréquences audibles.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2008 - Note : 11/20 - choix avec Lasers.**

Le tube de Kundt a donné des résultats manifestement erronés. Les questions ont donc porté sur l'origine de ce problème (régression linéaire effectuée sur un trop petit domaine de température, points aberrants vers 70°C et plus, problèmes éventuels de thermalisation du tube, justification de la fréquence d'étude). Sur le trombone de Koenig, le jury m'a demandé de revenir sur le principe de la manip et en particulier ce qui pourrait se produire si on a des interférences à ondes multiples.

### **Agrégation 2009 - Note : 09/20 - choix avec Production et analyse de lumière polarisée.**

J'ai eu pas mal de problèmes avec le micro du tube de Kundt qui marchait pas et les techniciens qui n'ont pas compris ce que je leur avais demandé de faire et ont mesuré  $3\lambda/2$  au lieu de  $\lambda$  d'où une célérité du son de 500 m/s. En fait le jury a dit qu'il n'en avait pas tenu rigueur car je n'ai pas dit que c'était de la faute des techniciens et parce que j'ai bien fait la mesure devant eux. Attention à ne jamais dire du mal des techniciens devant le jury, mais à bien vérifier tout ce qu'ils font. J'ai eu des questions sur comment améliorer la précisions des mesures, l'impédance acoustique, les hypothèses du modèle pour trouver l'expression de  $c$  avec  $T$ , la diffraction.

### **Agrégation 2009 - Note : 10/20 - choix avec Milieux magnétiques.**

Dans la manip « effet Doppler », je suis remontée à la célérité du son dans l'air mais on peut aussi remonter à la longueur d'onde de l'onde ? Dans la manip du trombone de Koenig, est-ce que la relation  $\delta = k\lambda = 2d$ , avec  $d$  le déplacement du tube, est juste ? La valeur théorique de la célérité du son dans l'air est  $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$  avec  $\gamma = 1,4$ ; avec  $M$  la masse molaire de l'air, quelle approximation fait-on ? Bien prendre les valeurs de la célérité du son dans l'eau, dans le Handbook.

### **Agrégation 2010 - Note : 14/20 - choix avec Spectrométrie optique.**

J'ai utilisé la cuve à ondes de Cachan qui donne des signaux beaucoup plus propres que celle de Lyon. J'ai utilisé le trombone de Koenig et le tube de Kundt. Toutes les expériences ont bien marché mais je n'ai pas assez pris soin de voir s'il valait mieux repérer les max ou les min selon les expériences. Les questions posées ont surtout porté sur les ondes acoustiques en général, leurs propriétés (célérité dans les solides, liquides, gaz). Raison de l'écart aux valeurs attendues.

### **Agrégation 2012 - Note : 08/20**

Surtout des questions sur les incertitudes de mes mesures. Et notamment comment diminuer l'incertitude sur la mesure de la célérité du son dans l'air. Ils auraient souhaité que j'utilise le déphasage entre un émetteur alimentant avec un signal sinusoïdal et non le temps

de vol en envoyant une salve (peu précis). Des questions également sur les technologies utilisées pour les micros.

### **Agrégation 2012 - Note : 12/20**

Beaucoup de questions sur l'estimation des incertitudes : comment vous les déterminez/estimez ? Tube de Kundt : rappelez votre méthode de mesure et les précautions que vous avez prises. N'auriez vous pas dû repérer les noeuds plutôt que les ventres ?

### **Agrégation 2014 - Note : 05/20 - choix avec « Induction, auto-induction »**

Les questions ont principalement porté sur les expériences qui n'ont pas marché et sur mes erreurs d'interprétations. Il y a eu des questions sur les battements acoustiques, comment minimiser l'incertitude sur la mesure de la demi-période, comment gérer les incertitudes sur la mesure de la célérité dans l'eau, pourquoi la mesure de la célérité dans l'air n'a pas fonctionné, retour sur la cloche à vide avec le buzzer à l'intérieur. Au final, le montage s'est assez mal passé, la note est justifiée. Mais les techniciens ont été super avec moi !

### **Agrégation 2014 - Note : 17/20**

Techniciens très compétents et disponibles. Très sympathiques et ça aide vraiment à gérer le stress et les imprévus (il a fallu monter entièrement le tube de Kundt) 1/ Mesure de la vitesse de propagation d'un clap : le jury a passé beaucoup de temps dessus notamment sur l'écart constaté avec la valeur tabulée (j'ai obtenu 354 m/s). Selon eux, cette manip doit rester qualitative à cause de la forme du signal d'un clap qui n'a pas un front montant très franc et induit une grosse erreur sur le temps. Préférer mesurer la vitesse avec émetteur/récepteur à ultrasons et déphasage. 2/ Battements acoustiques : j'ai préféré faire une FFT en soignant les hypothèses (échantillonnage et temps d'acquisition) ce qui a été apprécié. Mais le jury pense qu'il est préférable de mesurer la fréquence des battements puis des oscillations car on s'intéresse vraiment au phénomène ondulatoire ce qui n'est pas le cas de la FFT. 3/ Vitesses des ondes dans l'eau : j'ai utilisé le dispo de Cachan car je n'arrivais pas à faire fonctionner celui de Lyon. Leur dispo est bien plus précis et mieux monté. Questions sur la forme des signaux d'émission et de réception. Ils ont apprécié que je parle du piézoélectrique en disant que le créneau à l'émission est l'excitation du piézo émetteur et non le signal émis par celui-ci (train d'ultrasons). Cela explique aussi la forme du signal reçu. Questions sur les spécificités de la propagation dans les solides car ils ont vu la plaque de Dural que je n'ai pourtant pas utilisée. 4/ Tube de Kundt thermostaté : ils ont vraiment apprécié la manip avec variation de température. Questions sur la technique de mesure (résonance + longueur d'onde fixée + modification de la fréquence), la forme des ondes dans le tube, la qualité du thermostat et des conditions limites 5/ Impédance acoustique : j'ai fait la manip avec le buzzer et le sonomètre. Ils ont dit qu'il était important d'expliquer qu'il y a baisse d'intensité perçue à la fois à cause de l'air intérieur raréfié (ce que montre le sonomètre) et du changement d'impédance. Je n'avais parlé que d'impédance. La mesure avec sonomètre dedans puis dehors est à exclure (je ne l'ai pas faite mais d'autres si) car selon eux, pas pertinente car le vide et l'impédance ne sont pas découplés.

# MP31 : Résonance

## Rapports du jury

**2017** : Le lien qui existe entre la largeur de la résonance d'un oscillateur et la durée du régime transitoire est souvent ignoré par les candidats. Des phénomènes non linéaires ou paramétriques pourraient également être abordés.

**2016, 2015** : Le lien qui existe entre la largeur de la résonance d'un oscillateur et la durée du régime transitoire est souvent ignoré par les candidats. Des phénomènes non linéaires ou paramétriques pourraient également être abordés.

**2014** : Le lien qui existe entre la largeur de la résonance d'un oscillateur et la durée du régime transitoire est souvent ignoré par les candidats. Des phénomènes non linéaires ou paramétriques pourraient également être abordés.

**2010 et 2013** : Les phénomènes non linéaires, paramétriques pourraient aussi être abordés. Les critères de détermination expérimentale de la fréquence de résonance ne sont pas toujours pertinents. Le rapport entre la largeur de la résonance et la durée du transitoire est trop souvent ignoré.

**2011 et 2012** : La résonance ne se limite pas à l'étude du circuit RLC. Les critères de détermination expérimentale de la fréquence de résonance ne sont pas toujours pertinents. Le rapport entre la largeur de la résonance et la durée du transitoire est trop souvent ignoré. La notion de facteur de qualité ou un équivalent est trop souvent absente.

**2008** : Le phénomène de résonance n'apparaît pas qu'en électricité. En outre, le circuit RLC est souvent mal connu. Le jury apprécierait de voir des résonances dans d'autres domaines de la physique, ainsi que des facteurs de qualité importants.

**2006** : La résonance n'est pas une amplification. L'influence de l'amortissement est souvent négligée.

**2004** : L'étude de la phase est trop souvent absente de ces montages alors qu'elle fournit des relations complémentaires non redondantes à celle de l'amplitude.

**2000** : Le phénomène de résonance apparaît dans des domaines très divers de la physique. L'étude du circuit RLC série ne devrait pas occuper plus du tiers du montage. Les phénomènes paramétriques, l'impact des non-linéarités peuvent compléter efficacement une présentation, mais les aborder requiert une réelle maîtrise préalable des expériences envisagées.

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2009 - Note : 12/20 - choix avec Tension superficielle.**

Fonctionnement de l'analyseur de spectre pour faire un diagramme de Bode. Sur la corde de Melde, quelles sont les conditions pour avoir une tension constante et pour avoir un noeud au niveau du vibreur ? Sur le circuit pour la résonance non-linéaire (Krob), que est le rôle de la tension d'offset ?

### **Agrégation 2010 - Note : 07/20 - choix avec Thermométrie.**

Ils m'ont posé principalement des questions sur le RLC parce que c'est ce sur quoi j'ai passé le plus de temps. Des questions sur les problèmes avec l'impédance du GBF. Ils m'ont

redemandé d'expliquer le fonctionnement de la cavité confocale, parce qu'ayant fait ça dans les dernières minutes, j'avais été loin d'être claire. Pas de questions sur la corde de Melde, sauf que j'avais parlé de « battements » pour illustrer le fait qu'à une fréquence de résonance, l'amplitude des vibrations oscillait : pas le bon terme à employer ! Ils m'ont fait dire que ça se comparait plus à des polarisations différentes comme pour le champ EM. Aux résultats, le jury m'a dit que les expériences étaient classiques mais pourquoi pas. Par contre, c'est vrai que je n'ai pas été au top pour le RLC série, d'où la note. Les techniciens m'ont fait pas mal de mesures pour le RLC et ont rentré les valeurs sous Regressi. Les profs préparateurs sont venus 2 ou 3 fois pour voir si tout allait bien, pour me dire de commencer mon tableau si jamais je n'avais pas commencé... Non, ils sont chouettes ! Il y avait un problème de faux contact avec la cavité confocale, du coup, jusqu'à ce que le prof préparateur me prévienne c'est vrai que j'avais du mal à avoir le signal. Puis il me la réglée nickel.

### **Agrégation 2012 - Note : 13/20 - choix avec Capteurs et transducteurs.**

Préparateurs très sympas, mais pas très rapides lorsqu'il a fallu changer du matériel défectueux (boîtes de résistances, GBF). J'ai présenté la notion de résonance en intensité, en tension, en mécanique (corde de Melde) et en optique (cavité confocale Fabry-Pérot). J'ai eu de gros soucis avec les boîtes d'inductances, capacités et résistances défectueuses. La résonance en tension n'a pas fonctionné, sûrement à cause de la résistance trop élevée de la boîte d'inductances. Je n'ai donc pas eu le temps de tracer de diagramme de Bode, ce qui complique la discussion du facteur de qualité. Les questions : pourquoi utiliser le critère sur la phase alors que j'ai défini la résonance comme un max d'amplitude (pourtant j'avais bien dit que c'était une caractéristique de cette résonance) Inductance : quelle précision sur L ? L dépend de quoi ? Définition de Q ? (j'avais fait une erreur de  $2\pi$  dans un recopiage). Pourquoi la corde de Melde ne se casse pas quand on l'excite à ses fréquences propres ? Comment marche la cavité Fabry-Pérot ? Le jury m'a dit qu'il fallait mieux faire ressortir le fil conducteur du montage et que si j'avais rajouter la résonance d'un quartz (cf collection), j'aurais pris 3 points de plus.

### **Agrégation 2013 - Note : 16/20**

Définition de la résonance, d'un oscillateur paramétrique (j'avais fais mon intro avec la balançoire :) Comment marche une montre ? (J'avais présenté le quartz) Pourquoi choisit-on un cristal de très haute fréquence ? (Pour économiser l'énergie de la pile) Expliquer l'incertitude sur la transformée de Fourier. Ne pas oublier que sur la corde de Melde les effets non linéaires peuvent introduire de la dispersion.

### **Agrégation 2014 - Note : 18/20**

(1) RLC en régime forcé. Tracer le diagramme de Bode. Expliquer la méthode de Lissajous. Calcul du facteur de qualité. Incertitudes. Ils ont eu très peu de questions. Aux commentaires ils m'ont dit que c'était propre et très bien fait. — (2) Quatre oscillateurs couplés. J'ai tracé la relation de dispersion (en en bloquant certains). Les questions ont porté sur le facteur de qualité, son interprétation temporelle. D'où venait la valeur, est-elle grande ou petite, du coup le regime permanent on l'attend rapidement ou dans très longtemps. — (3) Cavité FP avec le Banc Hyperfréquence et cavité de mesure du banc hyper fréquence : j'ai tracé la

relation de dispersion dans l'air pour remonter à la vitesse de la lumière dans l'air. Ils ont aimé. Ils m'ont demandé encore le facteur de qualité des deux cavités. Relier à la finesse d'un FP. Sur le signal en sortie, ils m'ont demandé est-ce que c'est plutôt un signal de Michelson ou de Fabry-Perot.

### **Agrégation 2017**

Corde de Melde : comment vous avez pesé la corde ? Comment évaluer les incertitudes ? Pourquoi la corde vibre pas que selon un plan ?

RLC : Comment vous avez choisi la valeur de la résistance ?

Diapason : Par quel principe physique le diapason peut-il vibrer ?

### **Agrégation 2018 - Note : 17/20 - Choix avec "Photorécepteurs"**

- sur la corde de Melde : comment déterminez-vous le maximum d'amplitude du mouvement de la corde ? Le stroboscope vous sert-il à cette mesure ? Parlez-nous de ce qui se passe à la poulie, en particulier l'effet des frottements sur la corde ? Quel est, en particulier, l'effet que ces frottements peuvent avoir sur la célérité des ondes dans la corde ? - sur le diapason en régime libre : comment reliez-vous le temps que vous mesurez au facteur de qualité ? - sur le diapason en régime forcé : quel est le mécanisme physique d'excitation du diapason ? Est-ce un matériau paramagnétique ou ferromagnétique ? Si c'était un matériau paramagnétique, ne devrait-on pas l'exciter à la fréquence moitié ? Constatant que ça ne marche pas, ne voudrait-ce pas dire que le diapason est un ferro, et non un para ? - sur la résonance paramétrique : comment obtient-on la formule de la courbe d'instabilité ? [En reprenant l'analogie entre le RLC paramétrique et l'enfant sur sa balançoire,] pourquoi l'enfant ne voit-il pas de seuil d'instabilité ? Comment avez-vous choisi les composants du montage ? A quoi faudrait-il faire attention du point de vue de la présence d'AOS dans le montage ? Remarques : - dans la salle où je passais, l'écran, lorsqu'il est déroulé, cache un bon tiers du tableau. Entraînez-vous à l'enrouler et le dérouler rapidement, sous peine de devoir - comme j'en ai fait l'expérience - porter l'écran à bout de bras pendant certaines de vos explications. - les techniciens, c'est comme les elfes de maison dans Harry Potter : vous pouvez absolument tout leur demander - pour peu que vous soyez gentil -, et ils deviennent malheureux quand vous ne leur demandez rien pendant trop longtemps. Attendez juste la fin de votre montage pour leur donner un oscillo, sinon ils commencent à courir dans les couloirs en le tenant à bout de bras et en couinant "Technicien est libre maintenant !"

## **MP32 : Couplage des oscillateurs**

### **Rapports du jury**

**2017** : Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples, et les candidats doivent en tirer les conclusions qui s'imposent. Les expériences de couplage inductif sont souvent difficiles à exploiter, car les candidats ne maîtrisent pas la valeur de la constante de couplage. Enfin, il n'est pas interdit d'utiliser plus de deux oscillateurs dans ce montage, ou d'envisager des couplages non linéaires, qui conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, et ont de nombreuses applications.

**2016, 2015** : Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples, et les candidats doivent en tirer les conclusions qui s'imposent. Les expériences de couplage inductif sont souvent difficiles à exploiter, car les candidats ne maîtrisent pas la valeur de la constante de couplage. Enfin, il n'est pas interdit d'utiliser plus de deux oscillateurs dans ce montage, ou d'envisager des couplages non linéaires, qui conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, et ont de nombreuses applications.

**2014** : Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples, et les candidats doivent en tirer les conclusions qui s'imposent. Les expériences de couplage inductif sont souvent difficiles à exploiter car les candidats ne maîtrisent pas la valeur de la constante de couplage. Enfin, il n'est pas interdit d'utiliser plus de deux oscillateurs dans ce montage, ou d'envisager des couplages non linéaires, qui conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, et ont de nombreuses applications.

Jusqu'en 2013, le titre était : Oscillateurs couplés

**2013** : Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples. Enfin, les couplages non linéaires conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, qui ont de nombreuses applications.

**2012** : Les candidats peuvent présenter des systèmes couplés simples, en mécanique, en électricité ... mais il faut analyser correctement les couplages pour éviter une mauvaise utilisation de formules toutes faites. Le jury met en garde les candidats contre l'utilisation de dispositifs dont la modélisation n'est pas comprise.

**2011** : Le jury met en garde les candidats contre l'utilisation de dispositifs dont la modélisation n'est pas comprise.

**2010** : Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples. D'autre part, il faut réaliser le montage correspondant aux équations que l'on écrit (ou l'inverse), sinon l'interprétation n'est pas correcte. Enfin, les couplages non linéaires conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, qui ont de nombreuses applications.

**2006** : Les systèmes propagatifs à constantes réparties n'ont leur place dans ce montage qu'à condition de faire référence explicitement au couplage lors de la manipulation présentée.

**2004** : L'étude de la phase est trop souvent absente de ces montages alors qu'elle fournit des relations complémentaires non redondantes à celle de l'amplitude. **1999** : L'étude du couplage d'oscillateurs identiques ne permet pas de couvrir la totalité du sujet.

Jusqu'en 1997, le titre était : Oscillations couplées.

**1997** : Dans l'étude de deux oscillateurs couplés, il ne faut pas s'appesantir sur la détermination des paramètres des oscillateurs indépendants, mais il faut plutôt considérer les deux régimes, oscillations libres et forcées. Il est aussi possible d'étendre l'étude à des oscillateurs comportant plus de deux degrés de libertés.

## Retours d'oraux

**Agrégation 2008 - Note : 11/20 - choix avec Asservissement d'une grandeur physique ; applications.**

(I) Couplage des pendules par un fil de torsion ; (II) Couplage inductif avec bobines ; (III) Chaîne de pendules couplés avec forçage sinusoïdal, modes. Pour les pendules, j'ai illustré

l'importance d'avoir les mêmes fréquences propres pour un bon couplage entre les deux pendules. Pour les circuits RLC couplés, je suis resté très qualitatif en montrant les configurations qui permettaient un couplage plus ou moins important (orientation des bobines, distances). J'ai commencé à parler de la chaîne dans les 5 dernières minutes. J'ai eu le temps de montrer la relation de dispersion que j'avais fait en préparation mais je n'ai pas pu montrer le fit et remonter à la distance entre les pendules. J'ai essayé de justifier les conséquences du couplage sur l'allure de la courbe de dispersion.

### **Agrégation 2008 - Note : 13/20 - choix avec Diffraction des ondes lumineuses.**

Expériences présentées : pendules couplés (couplage élastique), couplage inductif (couplage inertiel) et expérience que je n'ai pas eu le temps de montrer : 12 oscillateurs couplés. Le jury est rentré alors que je n'avais écrit qu'un tiers de mon tableau mais il m'a laissé 2 minutes pour finir, sans me presser. Le jury m'a posé des questions sur la transformée de Fourier assez classiques, sur le moment d'inertie d'un pendule pesant avec ou sans masse (qu'est-ce que représente physiquement le moment d'inertie ?) et des questions sur le montage impliquant les bobines.

### **Agrégation 2010 - Note : 17/20 - choix avec Quantité de mouvement, moment cinétique et énergie en mécanique classique.**

I - Pendules couplés par fil de torsion. Comment faire pour avoir des conditions initiales mieux contrôlées ? Pour l'aspect énergétique, on fait une acquisition longue puis on fait une analyse de Fourier. Question sur les paramètres d'acquisition, les conditions à respecter... Pourquoi le signal présente des rebonds autour des fréquences attendues (fenêtres de pondération et acquisition sur un temps qui n'est pas un multiple des deux fréquences qui constituent le signal). Amortissement des oscillations : comment peut-on savoir si l'origine est un frottement fluide ou solide (allure de la décroissance et dépendance des fréquences avec le frottement) II - Couplage capacitif de deux RLC série. Les composants utilisés étaient tels que les fréquences « symétrique » et « antisymétrique » n'étaient pas proches. On ne voyait donc pas de battements à l'oscillo, ils m'ont demandé pourquoi. Modélisation de l'influence du couplage sur l'écart fréquentiel entre les deux modes. Questions sur les incertitudes. III - Couplage de pendules par ressorts, Vidéocom. Excitation par un moteur pas à pas. Questions sur le fonctionnement du moteur. J'imagine que le matériel n'avait pas encore été utilisé pendant la semaine et qu'il avait souffert du transport. Les potentiomètres des pendules étaient tournés de sorte qu'on ne pouvait pas régler leur zéro et il manquait les ressorts pour la manip avec vidéocom. Les techniciens ont bien solutionné ces problèmes, mais attention, ça peut être long.

### **Agrégation 2012 - Note : 12/20 - choix avec Conversion de puissance électrique-électrique**

Passage le premier jour de la première série à 5h30, mais aucun problème pour avoir le matériel. Techniciens super gentils et super dévoués. Le jury a apprécié le rythme, le dynamisme, le choix et la réalisation probante des manip (pendules pesants couplés, oscillateurs LC couplés capacitivement, quatre oscillateurs masse-ressort). Ils ont apparemment beaucoup aimé qu'à chaque manip je dégage explicitement un message important et qu'en conclusion

je récapitule tout. Ce qu'ils ont moins aimé : les erreurs que j'ai laissées sur le tableau en le préparant trop vite, et le fait que je m'emmêle les pinceaux avec les incertitudes « en oubliant tout bon sens ». Globalement, je n'ai pas exploité suffisamment finement les résultats expérimentaux. En fait j'ai voulu en faire trop. Pour les pendules couplés, ils attendaient une discussion en pseudo-période, parler de facteur de qualité ne suffisait pas. Synchronie a buggé pendant les questions, ils m'ont dit que « ne pas savoir rouvrir des fichiers avec un logiciel est le signe d'un manque de maîtrise », et qu'ils m'ont pénalisé pour ça ...

### **Agrégation 2012 - Note : 12/20 - choix avec Spectrométrie optique.**

À propos des 2 pendules couplés : expliquer comment on réalise l'équilibrage des pendules ; intérêt ? Approximation des petits angles : quand est-elle vérifiée, avec quelle précision ? Comment s'en assurer expérimentalement ? énergie totale n'est pas rigoureusement constante : origine des pertes ? Couplage capacitif de deux RLC : analogies avec le système précédent ? Justifier le sens de l'évolution du couplage en fonction de la capacité de couplage. Calcul de TF par Synchronie : précision, d'où vient la largeur des pics ?

### **Agrégation 2013 - Note : 08/20**

Comment accorder les deux pendules couplés en fréquence ? Qu'est-ce qui limite la résolution de la TF effectuée ? Existe-t-il d'autres types de couplages que le couplage élastique et inertiel ? Connaissez-vous des systèmes physiques associés ? A quel type de frottement est soumis le système ? Comment le déduire à partir du signal temporel ? Quelle est l'influence du frottement sur la FFT ? Quantitativement ? Pourquoi avoir équilibré le pendule à vide ? Comment estimer l'influence du fait que le centre de gravité ne soit pas rigoureusement au niveau du centre de la masse du pendule ? Quantitativement, influence sur la détermination des paramètres ? Est-ce que le coefficient d'inductance mutuelle  $M$  aurait pu être déterminé à n'importe quelle fréquence ?

### **Agrégation 2013**

Les examinateurs sont revenus sur chaque expérience comme pendant l'année. Ils m'ont demandé des détails sur les formules utilisées. Quelques questions générales : comment justifier physiquement que les modes symétriques ont les fréquences les plus petites ? A-t'on toujours deux modes, symétriques et antisym, lorsqu'on couple deux oscillateurs ?

i) Couplage des pendules Que dire de la période du mode symétrique par rapport au pendule seul sans couplage (c'est la même, mais il a fallu qu'il me demande entre deux ce qu'il se passait pour le fil de torsion) ? Quantifier les incertitudes pour la période des battements à partir des valeurs de périodes symétriques/antisym (j'ai obtenu des valeurs sensiblement différentes, mais comme les périodes sont très proches, l'incertitude est grande pour les battements..) ? D'où vient la formule de la période ? (TMC, détailler les termes) Comment être sûr que l'on est bien dans le régime linéaire ? perte d'isochronisme ? Comment le vérifier simplement ? (mesurer l'angle au cours du temps, et faire une FFT pour voir ou non une troisième harmonique)

ii) Couplage par mutuelle Pour la mesure du couplage, justifier que  $M = V_2 I_1 \omega$ . Il fallait partir de la définition de la mutuelle (mais j'ai bugué sur le coup, au risque de dire des âneries sur le courant circulant dans la seconde bobine) Aurait-on pu mesurer la fréquences

des modes autrement ? (FFT sur réponse impulsionnelle par exemple) Pourquoi introduire une résistance ? Aurait-on pu mesurer autre chose que le courant ? (oui, tension, aux bornes de la capa... normalement je ne rajoute pas de résistances dans le circuit, mais le convertisseur courant tension à l'aide d'un AO a été un échec)

iii) Couplage non linéaire Expliquer un peu le schéma ? (j'avais oublié de reporter une résistance sur le schéma par rapport au montage expérimental) Comment ça marche, en gros ? (là ça se corse, courez !) Vous avez vérifié votre loi ? (on montre que la plage d'accrochage est proportionnelle à la tension appliquée, je l'ai fait mais il a été largué, les autres examinateurs ont dû lui dire que oui ) Pas de question sur la chaîne de LC. Remarques Comme les autres ont pu le dire également, le temps est très court, et même quand on sait précisément ce que l'on veut faire, c'est sport en 4h. Je n'ai pas eu de problème de matériel en particulier, à part la conversion courant-tension que je voulais utiliser pour le couplage par mutuelle (pour mesurer avec un fort gain le courant dans l'un des circuit LC). Je n'ai pas réussi à faire quelque chose de correct pour les aspects énergétiques des pendules couplés, donc je ne l'ai pas présenté. Quelques petits bugs sous Igor lors de l'ajout de nouveaux points. Et surtout gros souci de vidéoprojecteur (panne observée 5 mn avant de commencer, restons zen) ! Du coup, ils devaient se déplacer pour voir l'écran.. Les techniciens ont essayé de régler le problème avant le début de l'épreuve, évidemment fallait que ça n'aille pas à ce moment là ! Sinon, ils sont très gentils, ils m'ont fait de nombreuses séries de mesures de manière plutôt fiable, m'ont rentré les points dans Igor, c'est une aide vraiment précieuse ! Donc n'hésitez pas à les solliciter. Bon courage à tous

## MP33 : Régimes transitoires

### Rapports du jury

**2017, 2016, 2015, 2014, 2013** : Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité ; de même, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre. Par ailleurs, bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. Enfin, varier les échelles de temps dans la présentation serait appréciable.

**2012, 2011** : Les régimes transitoires ne se réduisent pas à la relaxation des systèmes linéaires en électricité. Par ailleurs, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre.

**2009, 2010** : Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité. Bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. D'autre part, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre.

**2008** : Ce nouveau montage a été peu choisi cette année. Notons pourtant que les régimes transitoires interviennent dans de nombreux domaines de la physique et pas seulement en

électricité!

## Retours d'oraux

### **Agrégation 2010 - Note : 03/20 - choix avec Conversion de puissance électrique-électrique.**

J'ai été complètement déstabilisée par les techniciens. Je ne les mets pas en cause, j'aurais dû imposer ma volonté. J'avais prévu : RC, RLC, diffusion du glycérol (à cause des différents domaines de la physique et la barre de cuivre ayant été cassée en première session). La diffusion du glycérol prenant longtemps, j'ai voulu la lancer tout de suite. Et là au lieu de faire comme je le leur disais, les techniciens ont dit « on va faire plutôt comme ça, ce sera mieux » . Je les ai laissé faire, grosse erreur, du coup cette expérience, a monopolisé mes 2 techniciens pendant 3h30, il fallait sans arrêt recommencer l'expérience et ils n'arrêtaient pas de m'appeler toutes les 10 minutes, alors que si on avait fait comme je l'avais dit, le problème qui faisait recommencer l'expérience sans arrêt n'aurait même pas été présent.

### **Agrégation 2010 - Note : 08/20 - choix avec Conversion de puissance électrique-électrique.**

Expliquez d'où vient la loi de la déviation qui relie l'angle au gradient d'indice pour la diffusion du glycérol. Comment est relié l'indice aux concentrations? Diverses questions sur les calculs d'erreurs pour la diffusion thermique dans le cuivre. La préparation fut catastrophique, les branchements de la barre de cuivre de l'ENS ont pris feu à cause d'un faux contact, je n'ai pu avoir une nouvelle barre (en fer) qu'une heure avant la fin ... J'ai voulu lancer trop d'expériences en même temps et rien ne marchait, la courbe de la diffusion du glycérol n'était pas du tout en accord avec la théorie... j'ai exploité en catastrophe la barre de fer pendant 30 min devant le jury.

### **Agrégation 2011 - Note : 07/20 - choix avec Métaux.**

J'ai présenté le transitoire du RLC et la conduction dans la barre de cuivre : sources d'incertitudes autres que la lecture pour la pseudopériode à l'oscillo? Quelles incertitudes liées à l'oscillo? Quel lien entre fréquence de résonance et temps caractéristique du transitoire? Retour sur les incertitudes sur Regressi. Incertitudes sur la barre de cuivre? Lien entre le transitoire et la détermination du coefficient de diffusion thermique? Quels types de capteurs? Quelles incertitudes sur les capteurs? Ils sont revenus sur une application numérique, j'avais un problème d'un facteur 100, impossible de voir d'où ça venait, un des examinateurs me disait qu'en tapant exactement mon calcul il avait la bonne valeur mais j'ai jamais compris ce qui ne marchait pas... Plein de questions sur les incertitudes. Aucun de mes fichiers Synchronie n'ont voulu se rouvrir, donc je n'avais pas les courbes de la conduction thermique, mais heureusement j'avais relevé les valeurs que je voulais. Comme ça arrive souvent je conseille de faire une copie écran pour montrer qu'on a bien fait la manip, au cas ou ça arrive ...

### **Agrégation 2012 - Note : 15/20**

Résistance critique : comment la trouver précisément. Comment utiliser les barres d'erreurs? Qu'est ce que le facteur de qualité? Influence sur le régime transitoire? Pourquoi y

a-t-il des petites oscillations sur les créneaux? Réponse indiciaire : quels sont les paramètres d'échantillonnage pris? Glycérol : pourquoi le faisceau est-il dévié vers le bas? Pourquoi avez-vous mesuré la largeur de la gaussienne? Explication théoriques.

### **Agrégation 2016 - Note : 20/20**

#### Préparation

Pour le matos OK rien à dire, trouvé facilement et marchait bien. Les techniciens supers, il n'ont pas rechigné à laver 6-7 fois la cuve avec le glycérol, et à améliorer la planéité du dispositif. J'ai commencé par lancer la diffusion du glycérol dans l'eau, j'ai continué pendant la prise de points en montant l'oscillateur à pont de Wien. Plein de problèmes qui en fait venaient de moi (je versais trop vite le glycérol du coup le résultat était moche). J'ai commencé mon tableau très tôt et essayais de faire une manip à la fois. Cependant j'ai perdu du temps et je me suis retrouvé 40 min avant la fin à ne rien avoir fait sur la photodiode, sachant que je devais relancer la manip de la diffusion du glycérol 20 min avant l'arrivée du jury. Au final j'ai eu 3 points pour la photodiode que je n'ai pas eu le temps de rentrer avant le début de la présentation, et j'ai aussi manqué de temps pour finir de rentrer les premiers points de la diffusion du glycérol, au final j'ai dû prendre 2 min supplémentaires pendant ma présentation pour m'en occuper. Remarque : l'astuce d'Erwan qui consiste à brancher un réveil au début de la présentation est vraiment pratique.

#### Présentation

- I. Diffusion d'un mélange eau-glycérol dans de l'eau
- II. Croissance des oscillations d'un oscillateur à pont de Wien
- III. Temps de réponse d'une photodiode

Questions - D'abord sur la photodiode. Ils m'ont laissé finir mon fit de 3 points. On m'a d'abord demandé si la résistance de l'oscillo était négligeable devant celle de la photodiode lorsqu'elle était à 100 kOhm. => Non, il a fallu que je calcule la résistance équivalente. De tête j'ai fait deux erreurs (eh ouais...) d'abord 101, puis 99 pour enfin poser le calcul au tableau et là le faire très vite. - Mesure de la capacité du coax : ils m'ont demandé de revenir dessus, en venant tous les trois autour de moi. J'avais un RLCmètre, deux fils simples de longueur moyenne et de quoi les connecter au coax. Quelle fréquence de travail? => 1kHz car j'envoie un créneau de 400 Hz. - C'est vraiment ce temps qui compte? => Non, c'est le temps de réponse en fait, donc ce qu'on mesure à l'oscillo. - ODG? =>  $1/3\mu\text{s}$  soit 300 kHz. Là on se place à 10k c'est le max. - On regarde la mesure. Alors que j'essaie de l'estimer alors qu'elle fluctue, un membre du jury prend les fils, fait un gros nœud, et là la capacité passe de 120 à 130 pF. => je reprends les fils, je fais la mesure en les tendant, puis je vire les cables coax, et je dis que les fils et le tralala présentaient des effets capacitifs et que ça se traduisait par un offset (que j'avais oublié d'enlever, et en plus ça m'arrangeait pas). Acquiescement et ils se cassent. - Est-ce que la DEL a un temps de réponse? => Yep mais je sais plus comment connaître son influence sur la réponse. Je commence à partir sur l'explication qu'en fait c'est aussi un semi-conducteur, je fais mon timide, et un membre du jury quand il entend le mot clef m'encourage à continuer. Du coup ben ça a un temps de réponse aussi tout comme la photodiode - Autre membre : du coup, ça pourrait venir de là l'écart? On a un facteur 2 ça tombe bien! => Ça m'a pas paru physique mais j'ai pas dit non en fait, alors qu'avec du recul j'aurai dû plus m'affirmer car j'ai trop hésité et marmonné dans ma bebar. J'ai juste

dit que ça m'étonnerait. - Justifier la gamme de résistances choisies pour la mesure => Trop basse on voit rien, trop haute ça sature.

- L'oscillateur à pont de Wien. Que représente alpha ? => J'ai répondu le gain, ils ont essayé de me faire me rendre compte de mon erreur (facteur - au lieu du + en fait). On a tourné autour de ça c'était un peu flou. - Relier l'oscillo à l'ordi c'est merveilleux, comment ça se fait ? => On va derrière voir comment ça marche, au passage je parle du port GPIB juste avant de le lire sur la prise. - Questions sur ce qui limite l'échantillonnage, qu'est-ce qui est analogique ou numérique. J'ai merdé et répondu à côté. - Comment déterminer le temps de croissance des oscillations sans passer par l'ajustement, juste avec l'oscillo ? - Questions sur l'ajustement, notamment le fait qu'il ait peu de points (ah ? pas vu). => J'ai mis en auto, ça se modifie - OK gros.

- « Bon il reste 8 minutes, on va passer à la première manip ». Explication fournie à des élèves pour expliquer la déviation du faisceau vers le bas ? => Schéma. Je pédale un peu au début, puis mots clefs : grad n + propagation selon la zone de plus fort indice. - Quelle est la différence entre un bébé vivant et un bébé mort ? => Le goût - OK. L'odeur aussi mais c'est moins drôle. Un membre du jury me fait un clin d'œil. - Reviennent sur la formule et les calculs au tableau. Puis-je faire l'approximation des petits angles ? => Non, pas au début. - Remarque sur ma formule => PUTAIN j'ai marqué  $\alpha = \sin h/D$  ! Je modifie direct ma formule ( $\alpha = \text{asin}(h/D)$ ), ils me disent que l'impact sera minime car quand même petits angles. Valeur de D change de 6- Quand on trace la loi, on suppose que le mélange conserve sa proportion eau glycérol (ça c'est la version déchiffrée de la question, perso j'ai rien bité sur le coup). Vrai ? Comment quantifier l'évolution ? => Bon je pige pas trop ce qu'il veut lui - J'aurai du piger. Il me parle d'un mélange eau miel, c'est parti loin je me suis perdu :( - On revient sur la terre ferme : comment prévoir la dépendance de l'angle en  $\sqrt{D \cdot t}$  ? => Équation de diffusion ma gueule - On finit en beauté. Bon ce coefficient D, on peut pas toujours le trouver sur des tables, comment donner un odg à ses élèves ? Car  $10^{-10}$  ça s'invente pas.

Conclusion - Se grouiller et ne pas se disperser, une manip à la fois, ranger au fur et à mesure

Entretien avec le jury :

Le montage c'est pas noté sur 20 à la base mais plus sur 25. Donc malgré certaines erreurs lors des questions (dont le but n'est pas de pénaliser, faut insister là-dessus) c'est possible d'avoir cette note. Si globalement tout va bien des erreurs comme un facteur racine de Pi ne pénalisent pas. Les points appréciés : les 3 manips (quantitatives !) portaient sur des domaines de la physique différents, c'est un montage qui le permet et donc c'est cool d'en profiter. La discussion du khi carré a été rapide mais d'avoir discuté sa valeur et son lien avec la sous/sur estimation des incertitudes a suffi. 3 ajustements différents idem ça a eu l'air de plaire (notamment celui de l'oscillateur à pont de Wien avec la croissance des oscillations : " C'est ce qu'on fait en recherche donc c'était très bien" alors qu'avec les incertitudes même à 5 sigmas les valeurs se recoupaient pas (elles étaient du pour mille aussi)). Les choix qu'il fallait justifier ont été correctement justifiés (je pense notamment à la mesure de capa du coax avec l'offset à virer). Ok ma présentation était incomplète et perfectible, mais elle a insisté qu'ils étaient bienveillants, et qu'en 4h c'est dur de faire plus ! Même s'il manquait des points à rentrer osez. Le membre du jury a vraiment insisté sur les justifications des choix en

montage. Exemple en optique, si on choisit de prendre un réseau, pourquoi là, pourquoi ce nombre de traits/mm, pourquoi telle incidence, lentille idem. Perso j'ai juste eu à justifier la photodiode (polarisée en inverse parce que. . .) Même pour des questions simples j'ai préféré ne pas répondre lorsque j'allais dire des énormités et ça a été remarqué.

## MP34 : Phénomènes de transport

### Rapports du jury

**2017, 2016, 2015** : Des transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage. Lors de la mesure du coefficient de diffusion du glycérol, par la déviation d'une nappe laser, les candidats doivent être à même d'expliquer précisément la nature de l'image observée sur l'écran et son origine physique.

**2014** : Des transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage.

**2010, 2011, 2013** : Le choix des expériences doit veiller à souligner l'aspect transport. Il existe d'autres phénomènes de transport que ceux régis par une équation de type  $j = \alpha \text{ grad}V$ .

**2012** : Ce montage est ouvert à de nombreux domaines, pouvant donner lieu à des études comparées ; on pensera à exploiter les régimes transitoires et les régimes permanents. Le choix des expériences doit veiller à souligner l'aspect transport. Il existe d'autres phénomènes de transport que ceux régis par une équation de type  $j = \alpha \text{ grad}V$ .

**2009** : La mesure de la conductivité thermique d'un métal par sa réponse en température à une excitation alternative a posé problème à de nombreux candidats par suite de l'analyse des mesures à l'aide d'une loi non valide avec les conditions aux limites concernées. Le régime permanent implicitement mis en jeu doit être précisé, de même que son temps d'établissement.

Jusqu'en 2000, le titre était : Phénomènes de transport (transferts thermiques, transports de matière, de charge...).

**2000** : Il faut garder à l'esprit qu'on distingue, dans certains domaines, plusieurs modes de transport : conduction, convection, diffusion... Connaître a priori l'ordre de grandeur de quelques coefficients de diffusion est indispensable. Les dispositifs dédiés permettant d'étudier l'effet Hall sur des échantillons sélectionnés semblent poser, malgré leur simplicité, de gros problèmes d'utilisation.

### Retours d'oraux

#### **Agrégation 2008 - Note : 05/20 - choix avec Amplification de signaux.**

Quel est le principe de fonctionnement d'une thermopile ? d'un thermocouple ? En quoi le corps noir présenté n'est-il pas un vrai corps noir ? Expliquer le principe de fonctionnement de l'expérience utilisant la barre de cuivre.

#### **Agrégation 2008 - Note : 07/20 - choix avec Interférences lumineuses ; conditions d'obtention.**

Barre de cuivre : la cellule Peltier a cramé. J'ai pris l'autre qui n'a que très moyennement marché. L'expérience de diffusion avec le glycérol n'a pas très bien marché non plus. Toutes les questions ont tourné autour des expériences, et un peu sur la diffusion.

### **Agrégation 2012 - Note : 16/20 - choix avec Matériaux semi-conducteurs.**

J'ai fait la chute de billes dans le glycérol, la barre de cuivre en régime variable, la conductivité du cuivre à différentes températures pour vérifier Wiedemann-Franz, et enfin le transfert par rayonnement. Pas mal de questions sur la précision des mesures et sur la mesure à quatre fils.

### **Agrégation 2013**

Conditions aux limites pour la barre calorifugée. OdG de la conductivité de la protection calorifuge ? C'est quoi une mesure 4 points ? Pourquoi le rayon a cette forme (déviations par le glycérol) ? Pourquoi il remonte ? Tracez-moi  $n$  et  $dn/dx$  en fonction de  $x$ . Comment retrouvez-vous la formule de l'angle max de déviation ?

### **Agrégation 2017**

Passage à 16h30. Première manip loi de Fick : belle courbe et le point ajouté était correct mais je n'ai pas réussi à ajuster la courbe pour retrouver le coefficient de diffusion  $D$ . Le jury m'a corrigé en me faisant faire une petite analyse dimensionnelle : je m'étais trompé de signe pour  $D$ , j'avais mis  $10^{10}$  au lieu de  $10^{-10}$ . . . Qu'elles sont les conditions de validité de la loi de Fick ? Milieu assez dilué pour exprimer le flux de particules au premier ordre en gradient d'indice. Est-on bien dans l'approximation des petits angles ? Commenter l'allure du faisceau lumineux ; l'expliquer très simplement pour des élèves. Deuxième manip loi de Stokes : elle a très bien marché. Question théorique sur les conditions de l'équation de Navier Stokes : fluide newtonien, milieu continu. . . Troisième manip loi de Fourier : elle a bien marché. ? N'aurait-il pas mieux fallu mettre un cache réfléchissant pour limiter les pertes thermiques ? Quelles sont les pertes thermiques à considérer ? (citer les différents modes de transport thermiques). Comment estimer les pertes thermiques ? Droite linéaire et non affine : exploiter l'ordonnée à l'origine. Je n'ai pas su poursuivre la remarque du jury dans cette direction. Conclusion : mesure rapide de la résistance d'un fil de cuivre pour en tirer la conduction électrique et parler de la loi de Wiedemann-Franz . Aucune question sur ce sujet.

Techniciennes sympathiques, peut être plus stressées que moi ! Mais l'une a pris les points pour Fick et l'autre pour Fourier. La recherche du matériel m'a pris beaucoup de temps je n'ai pu lancer la première manip qu'au bout de 3/4 d'heure voire 1 heure. . . La cuve de glycérol pour la loi de Fick était très sale, la figure à l'écran était donc assez floue mais la hauteur de la lorentzienne était cependant suffisamment franche pour faire des mesures.

## **MP35 : Moteurs**

### **Rapports du jury**

**2017** : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs

prestations de bonne qualité. Le jury a apprécié la présentation quantitative d'un moteur de Stirling. Néanmoins, il est important que les candidats, face à un moteur, soient à même d'expliquer pourquoi il tourne.

**2016** : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Nous rappelons que les moteurs thermiques font partie des dispositifs qui peuvent être présentés dans ce montage.

## Retours d'oraux

Etant donné le faible nombre de retours d'oraux disponibles sur ce montage, voici un retour intégral :

### Agrégation 2016 - Note : 15/20

Introduction • Les moteurs électriques ça permet un bon rendement, car la force de Lorentz travaille en fem de l'opposé de ce qu'elle travaille sur le conducteur : rendement théorique de 1. • Les moteurs thermiques c'est limité par Carnot, et c'est souvent pire.

1 Moteurs électro-mécaniques 1.1 Le moteur à courant continu 1.1.1 Présentation Moteur maquette, il y a des étincelles : ça use les balais, ça va d'autant plus vite qu'on monte en tension. 1.1.2 Caractéristique Puissance délivrée/tension Petit moteur qui soulève une masse, on chronomètre le temps qu'il met à soulever la masse de 50 cm en fonction de la tension appliquée, attention à prendre 50cm en régime permanent, assez haut donc. (Les paillasses du lycée sont vertigineuses : on peut se le permettre) 1.2 Le moteur asynchrone triphasé On fait bien sentir la physique : on visualise le courant induit à la vitesse de glissement à l'ampèremètre. On montre que ça évolue en fonction de la charge. Puis on mesure la puissance dans une phase, que l'on multiplie par 3 pour avoir la puissance fournie par le triphasé. Ceci en fonction de la puissance exercée déduite d'une méthode d'équilibrage du levier. (TMTC...)

2 Etude d'un moteur thermique : le moteur de Stirling Ce moteur ne sert à RIEN : ce n'est ni le moteur essence 4 temps, ni le cycle Diesel. Du point de vue industriel en tous cas, sa force réside dans le fait qu'il est à combustion externe, et que l'on peut donc l'équiper d'un système de régénérateur, récupérant les pertes thermiques pour les réinjecter comme source chaude : ça permet, au prix d'efforts technologiques énormes, de se rapprocher du rendement de Carnot. On trace un cycle PV, attention aux conversions, attention à ne pas sous-échantillonner : Synchronie oblige! On calcule l'aire avec PolygonArea(x,y) on a au préalable estimé la masse d'éthanol brûlée par unité de temps, le constructeur fournit une estimation de la proportion de l'enthalpie de combustion fournie au système (demandez la notice PAPIER!!!!).

Questions/Réponses • Pourriez-vous estimer la dépendance caractéristique  $I/\omega$  de votre maquette de moteur en excitation série? - Le champ B du stator est proportionnel à I, le moment M du rotor aussi, le couple au vectoriel des deux donc à  $I^2$  en régime permanent, un petit bilan énergétique montre que l'on est en  $I^2$  • Votre point semble au dessus de la courbe préalablement réalisée non? - J'aurais dû reprendre ce foutu point... Ma méthode ne devait pas être la même que celle des préparateurs, d'où la tendance à la surestimation, assez mal prise en compte dans mes barres à vrai dire... • Vous avez voulu nous montrer que le V minimal pour soulever la masse s'interprétait bien avec vos coefficients de fit, pourquoi n'est-ce pas le cas? - En fait pour soulever la masse lorsqu'elle est immobile, on a un frottement

statique plus fort que le dynamique, en régime permanent où les points sont pris, c'est le coefficient dynamique qui compte, ce qu'il faudrait faire c'est regarder quel est le premier point à partir duquel, la masse étant en mouvement, elle s'arrête de l'être : manip' infiniment plus chiant à faire... N.B. : pour prolonger un fit IGOR sur toute la fenêtre d'affichage, il y a une case à cocher dans les "output options" du fit : c'est très utile :) • Pour le moteur asynchrone, pouvez-vous récapituler les quantités que vous mesurez ? - Ils avaient pas tout suivi, alors je récapitule, notamment ils s'étaient pas baissé pour voir les résistances de charge différentes. Je leur ai dit de ne plus penser qu'au bras de levier et à la puissance fournie par le triphasé pour qu'ils aient les idées claires. • Ils ont bataillé avec les incertitudes, j'avais quelques problèmes à ce niveau là, mais j'avais tellement de colonnes IGOR que j'ai pas su trouver où est-ce que je m'étais planté... C'était là principal de l'entretien mais c'est si spécifique à ma présentation que ça n'aiderait personne de savoir ce qu'ils ont discuté... • Sur le moteur de Stirling, pouvez-vous finir ce que vous étiez en train de faire à la fin ? (j'étais court en temps, j'avais pas fini avec les conversions des virgules en points...) - J'ai fait le PolygonArea, mais j'avais un problème de facteur d'échelle sur la pression qui a fait merder la chose. C'était alors fini

Commentaires personnels • Les techniciens c'était Mario et Luigi : ils faisaient tout à deux, mais du coup ils se marchaient sur les pieds et tout était très long, en plus ils parlaient entre eux... Je voulais sortir une caméra et montrer sur Cinéris qu'on atteignait bien le régime permanent de la manip' 1 au niveau de mes repères. Mais après deux heures et 20 caméras essayées le problème n'était pas résolu et j'ai abandonné l'idée. • Ils ont eu un mal fou à trouver le petit moteur à courant continu pour l'étude du couple... Par contre en cherchant, j'ai cru apercevoir notre hacheur sur la table à côté du moteur asynchrone triphasé : à vérifier. • Regardez parfois les spectateurs : ils sont plus expressifs que le jury :)

Le seul problème est d'avoir été pressé sur le moteur de Stirling sur lequel je n'ai pas eu le temps d'avoir du quantitatif. Ils ont apprécié le moteur asynchrone triphasé que j'ai bien expliqué; en y passant trop de temps cependant.

# Chapitre 3

## Leçons de Chimie

### LC1 : Chimie et couleur

#### Retours d'oraux

##### **Agrégation 2017 - Note : 08/20**

J'ai eu un certain nombre de questions à propos de l'histoire de la couleur en chimie : de quand ça date, comment c'était avant, vous pouvez citer des colorants qui étaient réservés aux plus riches il y a longtemps ? J'ai aussi eu des questions de mécanisme pour la synthèse de l'indigo. Il y a également eu une série de questions sur les molécules de la vision. La question Agir était : "La différenciation pédagogique va-t-elle à l'encontre du principe d'égalité ?"

##### **Agrégation 2014 - Note : 3/15**

Questions sur l'histoire de l'art, des couleurs, etc. Premier pigment synthétisé ? Questions sur le programme : quel niveau ? Première S. Que voit-on en première S ? Questions sur la chimie : validité de Beer-Lambert, formules de l'indigo, qu'est-ce qui fait qu'un indicateur coloré est bon ? etc. Ils n'ont vraiment pas aimé que je laisse les lunettes de sécurité dans mes cheveux plutôt que sur mon nez et bien sûr, ils n'ont pas aimé mes (nombreuses) imprécisions en chimie, même s'ils m'ont dit que mon plan était bien et cohérent.

##### **Agrégation 2014 - Note : 10/15**

Le temps de préparation est passé encore plus vite que je ne l'avais imaginé. Les techniciens ont mis du temps à m'apporter mon matériel, et n'étaient pas très aidants : il fallait aller les chercher dans le couloir pour chaque demande, et ma salle était tout au fond du lycée ... Impossible d'avoir accès au logiciel de spectro Visible qu'on utilise en chimie à l'ENS (prim'light), ce qui m'a énormément perturbé. J'ai du batailler avec ma technicienne qui me soutenait que Regressi n'était pas non plus disponible pour qu'elle aille chercher un collègue, qui a finalement trouvé le logiciel au bout d'une demi-heure ! Pour les spectres, on m'a présenté très rapidement un logiciel absolument pas intuitif, et qui n'a pas manqué de buguer devant le jury. Ne connaissant pas ce dernier, je n'ai pas su palier au problème, et j'ai été dans l'incapacité de tracer le moindre spectre devant le jury, contraint de décrire des spectres « imaginaires », ce qui a rendu la leçon de fait très désincarnée ! Vu le titre de la

leçon, la conséquence sur la note a été sans appel. En plus ça m'a fait prendre du retard en préparation, ce qui m'a empêché d'aller au bout de mon plan, laissant tomber des manip que j'avais préparées et qui fonctionnaient (un dosage colorimétrie et la synthèse et l'utilisation de l'indigo). Questions : Membre 1 : Dans l'étoile des couleurs, que se passe-t-il si un composé absorbe en dehors de la zone 400-800 nm ? Vous avez présenté l'antracène qui absorbe à 380nm, dans l'UV, et dont la couleur est jaune pale : comment est-ce possible ? D'ailleurs est-ce que seules les molécules cycliques absorbent ? Connaissez-vous le critère d'aromaticité ? Quelles sont les conditions de validité de la loi de Beer-Lambert ? La limite supérieure de validité est-elle une limite en absorbance ou en concentration ? Quelle condition sur les cuves ? Existe-t-il d'autres matériaux que le quartz et le plexiglass ? Quels sont les facteurs de dépendance du coefficient d'extinction molaire, outre la longueur d'onde ? Comment vérifier par une expérience simple cette influence du solvant ? Membre 2 : Pourquoi y a-t-il autant de couleurs dans la nature ? Pourquoi les feuilles roussissent en automne ? Est-ce un phénomène purement chimique ? Pourquoi observe-t-on des bandes larges en spectroscopie UV-Visible ? Rappeler la relation liant énergie et longueur d'onde d'absorption ? À qui la doit-on ? Dans la chromatographie sur colonne, le moteur est normalement la gravité, mais quelle est l'effet de la suppression que vous avez appliqué sur la qualité de la séparation ? Avez-vous une idée de la structure des molécules des colorants E102 et E131 ? Comment expliquer leurs migrations respectives ? Entretien avec le jury : Le jury a insisté sur la qualité du plan, la précision du langage et l'absence de lapsus, le dynamisme et le caractère pédagogique de la présentation. Apparemment, ils ont adoré la chromatographie sur colonne. Franchement, même après l'entretien, je ne vois pas trop comment ils ont pu mettre une note aussi élevée ...

## LC2 : Séparation, purification, contrôle de pureté

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2014 - Note : 8/15

Pourquoi utiliser un montage d'hydrodistillation plutôt qu'un montage de distillation simple ? Voit-on les diagrammes binaires au lycée ? Dans quelle classe ? Est-ce compatible avec le reste de votre leçon ?

## LC3 : Polymères

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2017 - Note : 19/20

Manipulations : synthèse du nylon et du polystyrène (JFLM2) j'ai fait chauffé dans des tubes à essais en pyrex plusieurs polymères pour différencier thermoplastique/thermodurcissable un élastomère dans l'azote liquide que j'ai ensuite cassé au marteau.

Jury 1 : Vous n'avez pas mis que du styrène dans l'erlenmeyer, qu'est-ce que c'est que le 2ème réactif ? C'est de l'AIBN. Qu'est-ce que c'est l'AIBN ? Est-ce que vous pouvez me dessiner la molécule au tableau ? Qu'est ce que ça veut dire AIBN ? Qu'est ce que ça veut

dire Azo ? Est-ce que vous connaissez beaucoup de molécule avec une triple liaison N ? Quel est le rôle de l'AIBN dans la réaction ? J'ai parlé de radical, d'initiation, de propagation de terminaison... bref. Quand on achète un objet en plastique, il y a du plastique qui sent le plastique (le neuf) et d'autre qui ne sent rien. Lequel est de meilleur qualité et pourquoi ? Quel est l'ordre de grandeur d'une liaison covalente ? Liaison de Van der Waals ? Liaison H ? Redessinez moi la molécule de polystyrène. Combien de centre stéréogène ? Donc combien de géométrie possible ? Les questions ont enchainé sur polymère atactique, syndiotactique, isotactique. Vous avez utilisé du PET pour votre expérience. Qu'est ce que c'est que du PET ? De quelle famille de polymère est-il ? Comment fait-on pour faire des réticulations ? Quel type de liaison ? Dessinez moi un exemple au tableau ? C'est quoi du caoutchouc vulcanisé (nom du polymère) ? Quand vous avez mélangé les deux réactifs pour la synthèse du nylon, il y a une fumée blanche qui est apparu, qu'est-ce que c'était ?

Jury 2 : Vous avez parlé de polymère synthétique, est-ce qu'il y a d'autres polymères ? Prenons le papier par exemple, de quoi c'est fait ? Est-ce que c'est un polymère ? Est-ce que tous les thermoplastiques ont une température de transition vitreuse et une température de fusion ? Si je fais chauffé un solide amorphe, il devient visqueux, est-ce que c'est une température de transition vitreuse ou une température de fusion ? Qu'est ce que c'est qu'une protéine ? Est-ce que c'est un polymère ? Quels sont les monomères ?

Commentaires : Les techniciens étaient super, je n'en avais pas de « attitré » mais dès que je sortais, il y en avait un qui venait voir ce dont j'avais besoin. Le jury 1, était assez déstabilisant, il faisait des têtes de « tu racontes n'importe quoi » à certaines de mes réponses, il m'a même dit à un moment « Ca c'est vous qui le dite... ». Il a bien enchainé les questions... Le deuxième était plus posé et plus avenant.

Question Agir :

La question Agir était : « En quoi votre cours de physique chimie contribue-t-il à la formation de citoyens ? » Puis « Qu'est ce que c'est pour vous un « bon citoyen » ? ». Question que l'on avait eu dans l'année donc merci Montrouge !

Retour du jury : Ils ont apprécié mon dynamisme et mon entrain et ils se sont dit que je ferai une bonne prof. Visiblement, c'est une leçon qui n'est pas souvent bien réalisée et c'est la meilleure qu'ils ont vue cette année (pour cette leçon en particulier). J'ai fait beaucoup de manipulations, bien menées, ce qu'ils ont apprécié. Ce n'est donc pas un problème si il n'y a pas de manipulation vraiment quantitative. Ils ont aimé aussi mon répondant pendant les questions. Honnêtement, je ne m'attendais pas à avoir cette note parce que aux questionx le premier jury me faisait vraiment des drôles de tête, donc quand le président du jury dit « ne vous auto-évaluez pas en sortant » il a raison. Ce n'est pas possible de se faire une idée de la note.

## LC4 : Chimie durable

Retours d'oraux

**Agrégation 2014 - Note : 15/15**

Formule topologique de l'ester synthétisé et mécanisme. Idée des pays qui dessalent l'eau de mer? Aucune des expériences n'a fonctionné, je n'ai quasiment rien pu faire en live expérimentalement. J'ai simplement bien pris le temps de présenter chaque expériences proprement, cela a suffi!

## LC5 : Synthèses inorganiques

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2017 - Note : 9/20

- Autour de la synthèse du complexe :
  - . Le ligand acac est-il monodente, bidente, tridenté?
  - . Quel est le rôle de l'acétate de sodium trihydraté?
  - . Rappeler les différents types de bases qui existent.
  - . Comment agit-elle sur l'acétylacétone?
  - . Donner la formule de Lewis de l'acétylacétone.
  - . Ecrire le mécanisme de formation du ligand.
  - . Donner la géométrie du complexe  $\text{Fe}(\text{acac})_3$ . Est-il chiral?
- Autour de la synthèse des complexes du cuivre :
  - . Vous avez écrit dans votre équation bilan que l'élément cuivre était présent sous la forme d'ions  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  alors que vous avez rajouté une poudre solide de sulfate de cuivre pentahydraté solide. Expliciter.
  - Autour de l'hémoglobine :
    - . Quels sont les complexes de l'hémoglobine?
    - . Pourquoi y-a-t-il compétition entre la molécule  $\text{O}_2$  et la molécule de  $\text{CO}$ ?
    - . Donner la formule de Lewis de  $\text{CO}$ .
    - . Enoncer la règle de l'octet et vérifier que tous les atomes de la molécule de  $\text{CO}$  la vérifient.
  - Ecrire la configuration électronique de l'ion  $\text{Fe}^{3+}$ .
  - Quelle théorie est utilisée pour décrire la structure électronique d'un complexe? L'expliquer.
  - En considérant le cas champ fort, donner sa configuration électronique.
  - Qu'est-ce que le paramètre de champ cristallin?

#### Agrégation 2014 - Note : 8/15

Est-ce que  $\text{NO}_2$  c'est dangereux? Écrire la molécule de diphénylamine.

## LC6 : Stratégies et sélectivité en synthèse organique

Jusqu'en 2016, le titre était "Stratégies en synthèse organique".

## Retours d'oraux

### Agrégation 2014 - Note : 6/15

Commentaires du jury : trop catalogue, pas assez de lien ; faire ressortir le coté expérimental ; aborder la sélectivité : j'avais volontairement choisi de ne pas l'aborder mais eux penser qu'ils faut en parler et faire quelques petites expériences dessus (protection d'espèce) et pas forcément une grosse expérience suivi pour montrer l'importance de ce choix en synthèse. Il faut donc à la fois parler du choix des réactifs, catalyseur pour améliorer le rendement mais aussi parler du cas de conflit d'attaques sur plusieurs fonction et donc de la nécessité de protéger.

### Agrégation 2014 - Note : 14/15

Mon plan : I/ Comparaison de protocoles 1) Estérification 2) Comparaison II/ Synthèse peptidique 1) Présentation 2) Élaboration d'une stratégie 3) Protection III/ Activation et couplage. La discussion avec le jury a révélé qu'ils ont apprécié la logique (partie I sur le prix, la toxicité, le rendement, etc. et partie II sur une stratégie de sélectivité de réaction) de la leçon, et qu'ils n'ont donc pas sanctionné le peu de manip (deux extractions, un séchage et une filtration seulement). La préparation s'est en effet mal passée (manip ratée par ma faute) et les techniciens sont très radins sur la verrerie et les gants, ce qui m'a un peu énervé puisque j'étais habitué au luxe des labos de Lyon. Donc plutôt que de la refaire j'ai beaucoup parlé et bien détaillé le peu de manip présentées, ce qui a suffi d'après le jury.

## LC7 : Dosages

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2018 - Note : 14/20

La préparation ne s'est pas trop mal passée, les préparateurs étaient sympas et ont bien pris les points de mesure que je voulais. La courbe d'étalonnage pour le dosage spectrophotométrique était assez moche, apparemment le porte-cuve du spectro avait pas mal de jeu donc le préparateur m'a spontanément proposé de prendre un autre spectro. Le début de la présentation s'est bien passé, jusqu'au moment de présenter la courbe d'étalonnage pour le dosage du Dakin : impossible d'ouvrir le fichier ! Après plusieurs tentatives infructueuses, j'ai abandonné et j'ai juste expliqué ce qu'on aurait dû voir. J'ai quand même senti que j'étais un peu à la bourre et j'ai un peu négligé les incertitudes pour le dosage du sérum phy... puis je n'ai pas vraiment eu le temps de manipuler sur le titrage pH-métrique ni de parler du titrage colorimétrique. Après coup je pense qu'il aurait mieux valu ne faire qu'un dosage par étalonnage quitte à dire qu'on a un truc identique pour un dosage conductimétrique, puis faire bien le titrage pH-métrique et garder un peu de temps pour le titrage colorimétrique. Une remarque générale : le tableau était vraiment très petit, et l'écran pour le vidéoprojecteur était juste devant. En outre, il était motorisé, mais il fallait bien 15 secondes pour le descendre complètement, donc c'est pas facile de gérer son temps dans ses conditions... Sur le dosage spectro : validité de Beer-Lambert ? - Pourquoi on travaille au max d'absorption ?

Y a-t-il des cas où on ne choisit pas le max ? Comment fait-on s'il y a plusieurs espèces qui absorbent sur l'ensemble de la plage de longueur d'onde ? - Utilisation des ions permanganate en chimie organique ? - D'où viennent les propriétés antiseptiques du Dakin ? Les ions hypochlorites, c'est un oxydant ou un réducteur ? Sur le dosage conductimétrique : écrire précisément la loi de Kohlrausch (j'avais juste écrit une relation de proportionnalité comme c'est fait dans les bouquins de Terminale, je ne crois pas que les conductivités molaires soient au programme). Du coup, c'est quoi le coefficient de proportionnalité entre concentration et conductivité, en fonction des conductivités molaires ? - Autres méthodes de dosage des ions chlorure ? Quel produit on utilise ? Quelles électrodes si on fait un titrage potentiométrique ? - Pourquoi une telle concentration en ions chlorure dans le sérum phy ? Sur le titrage : comment expliqueriez-vous à un élève que le pH joue un rôle, alors qu'il n'y a pas d'ions oxonium dans votre réaction de titrage ? - Comment déterminer le pKa du couple mis en jeu ? - Autre méthode que celle des tangentes pour repérer l'équivalence ? - Vous avez mis la soude dans la burette et le vinaigre dans le bécher, pourrait-on faire l'inverse ? A quoi ressemblerait la courbe dans ce cas ? Quel serait le pH à l'équivalence ? Retour du jury : le plan était bien et ils ont trouvé ma présentation très pédagogique, mais ça a pêché sur les manip. Il aurait fallu faire au moins un calcul d'incertitude.

### **Agrégation 2014 - Note : 14/15**

La chimie c'est pas facile quand on connaît pas le labo où on est. J'ai commencé par demander le matos qui arrive assez vite. J'ai fait une liste de solution étalon avec les volumes à prélever pour que les techniciens le face après en avoir fait une devant eux comme on nous l'avait dit pendant l'année. Attention, ça ne marche pas. Le jeune a commencé à les faire et un technicien plus vieux est venu pour me dire que c'était pas à eux de faire ça. Si on tombe sur cette leçon, on perd en gros 1h pour faire toutes les solution d'étalonnage ... Les techniciens était sympas mais se contentent d'amener le matériel. Quand on passe à 5h30, ils installent une table dans le couloir sur laquelle ils comatent/boivent du café/racontent des anecdotes sur leurs gamins. Il faut aller les chercher dès que l'on a besoin de matériel. Questions en vrac : Diagramme E-ph du chlore ? Comment faire du dichlore ? C'est quoi la dismutation du chlore ? Diagramme E-pH du manganèse ? Lister les oxydes de manganèse. Ils sont de quelle couleur ? Vous connaissez quoi comme diagramme E-pH ? Ordre de grandeur de la ddp aux bornes d'un conductimètre ? Précision ? Fréquence ? Les plaques de la cellule sont faites en quoi ? Courbe intensité-potential associée ? Que fait le noir animal sur le vin ? Pourquoi est-ce qu'il y a du faire dans le vin ? Pourquoi ce mettre à ce pH dans votre échelle de teinte ? Pourquoi est-ce que vous avez du refaire l'échelle de teinte ? Quelle est la réaction lente qui la fait disparaître ? Comment fonctionne le prisme compensateur qui vous sert à régler l'équipénombre du réfractomètre ? L'indice optique ça dépend de quoi ? Faut-il que la loi soit linéaire ? Existe-t-il une loi reliant l'indice et la concentration ? Comment faire un étalonnage avec des sucres ? Y-a-t-il une loi pour la polarimétrie ? Le pouvoir rotatoire spécifique dépend de quoi ? Formule du saccharose ? C'est quoi un sucre simple ? On le représente comment ?

### **Agrégation 2014 - Note : 14/15**

Comment être sûr qu'une réaction chimique a atteint l'équilibre ? Comment marche un conductimètre (il y a une explication assez détaillée dans le « Réaction Chimique » de Prunet) ? Comment fonctionne la sonde du pH-mètre ? Quel est la différence avec une électrode de verre classique ? Limites de la sonde ?

## LC8 : Cinétique et catalyse

Jusqu'en 2016, le titre était : Facteurs cinétiques.

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2018 - Note : 13/20

Question : -formule de Lewis de l'acide oxalique -exemple dans la vie de catalyse homogène, hétérogène et enzymatique - qu'est qu'une enzyme - écrire la loi de Van' hoff - diagramme d'énergie - qu'est ce que les coordonnées réactionnelles - dessiner le chemin réactionnel avec catalyseur - comment s'appelle l'état au maximum de l'énergie - loi de beer lambert - comment déterminer le coefficient d'extinction molaire - avec quoi on peut doser I<sup>3-</sup> - c'est précis de déterminer une durée de réaction ?

#### Agrégation spéciale 2017 - Note : 17/20

Retour sur la réaction du permanganate de potassium avec l'acide oxalique, pouvez-vous m'écrire les demi-équations RedOx comme vous l'expliquerez à des élèves. La solution de permanganate de potassium a-t-elle été acidifiée ? Et pourquoi ? Retour sur l'expérience de suivi cinétique de la réaction peroxydisulfate avec les ions iodures, pouvez-vous m'écrire la relation reliant la vitesse de réaction et les concentrations ? Questions sur l'ordre global, l'ordre partiel. Comment évoluerait le temps de demi-réaction pour une réaction du 1er ordre en ions peroxydisulfate ? Quel est le lien possible entre l'ordre partiel pour une espèce chimique et la stœchiométrie de l'équation de réaction ? Pouvez vous m'écrire la formule de Lewis de l'ion peroxydisulfate ? D'où vient le préfixe peroxy que l'on retrouve également dans le peroxyde d'hydrogène ? Est il possible que la vitesse d'une réaction dépende de la concentration en produit ? Qu'en est il des réactions auto-catalysées ? Comment s'écrit alors l'influence de la concentration en produit dans une réaction auto-catalysée ou une réaction inhibée ? Retour sur la réaction entre le bromomethane et l'ion iodure, pouvez vous me décrire le mécanisme microscopique de cette réaction ? Quelles sont les sites nucléophiles et électrophiles ? Pouvez vous écrire les flèches courbes décrivant le mécanisme ? Nature de la réaction ? Est ce une S<sub>N</sub>1 ou une S<sub>N</sub>2 ? D'où vient le 1 ou 2 et quel est le lien avec la cinétique de la réaction ? Pouvez vous me tracer le paysage énergétique d'une réaction en fonction du chemin réactionnel et me décrire les modifications induites par la présence d'un catalyseur ? Pourquoi les états initial et final n'ont pas la même énergie ? Endothermique ou exothermique ?

Le plan suivi a été : I) Evolution d'un système chimique dans le temps : Définition de la durée d'une réaction, évolution de l'avancement et temps de demi-réaction, description des méthodes de suivi cinétique. Suivi spectrophotométrique réalisé en direct. II) Facteurs influant la cinétique : Effet de la température, qualitatif sur la même expérience, de la concentration suivi fait en préparation et du solvant. III) Catalyse : Définition du catalyseur et catalyse de la dismutation du peroxyde d'hydrogène avec le platine (inhomogène), le navet (enzymatique) et le Chlorure de Fer (III) (homogène).

Retour du jury : Le point positif a été la gestion relativement clair de la leçon au tableau et de bien présenter les expériences. Pour les questions le point apprécié par le jury a été d'être capable de raisonner en direct au tableau en suivant les directions et questions du

jury pour pouvoir retrouver des notions qui ont pu ne pas être sorti directement. Les points négatifs ont été le manque de temps pour présenter clairement la troisième partie sur la catalyse (faite en 5min) et des réponses aux questions que l'on aurait attendre directement sans avoir à être guidé par l'échange avec le jury.

### **Agrégation 2016 - Note : 16/20**

• La loi de Beer-Lambert, c'est valable jusqu'où? • Définissez-moi un agrégat. • Vous avez dit que seul  $I_3^-$  absorbait, arrive-t-il cependant que des espèces non absorbantes influent sur l'absorbance d'une solution à une certaine longueur d'onde? • Pouvez-vous faire un spectre dans le domaine du visible pour la solution finale? Pendant ce temps on va continuer les questions. - Je l'ai fait, et là, pantois, je me rendais compte que j'avais choisi 520 nm, comme dans le JFLM, en pensant que c'était le maximum d'absorbance, mais ce n'était pas le cas. Il semblait y avoir une bande assez large se prolongeant dans l'UV, mais elle faisait saturer le spectrophotomètre à partir de 450... Mon temps de demi-réaction était peut-être faux du coup, car aux temps longs, je ne sais pas si j'étais bien dans les conditions de Beer-Lambert à 520 nm. C'est peut-être pour ça finalement qu'on choisit 520 nm : parce que ça absorbe "beaucoup mais pas trop". • Dans la bouteille bleue, vous avez mis des ions  $H^+$  (ndlr comme JFLM le fait, attention!) mais pourtant vous indiquez mettre de la potasse avec le glucose en plus du bleu de méthylène non? • Pourquoi de façon générale, met-on les sucres en milieu basique, pensez au test de Tollens etc...? • Pourquoi votre solution chauffée est-elle devenue marron? • Qu'est-ce qu'une enzyme? • Connaissez-vous des composés bloqués cinétiquement? • La loi d'Arrhénius c'est quoi? • Van't Hoff? • Mais alors, pour la synthèse de l'ammoniac? • Question agir : Pensez-vous qu'un traitement différencié entre élèves est conforme aux pré-rogatives républicaines d'égalité?

Même plan que pendant l'année : celui de Tle spécialité STL/STI2D

Le bouteille bleue n'est pas la manip' la plus pertinente pour l'étude cinétique, et l'élève est obligé de me croire sur certains facteurs cinétiques qui n'ont pas de manip's associés : j'ai cru comprendre que chaque aspect de la cinétique devait être illustré.

## **LC9 : Caractérisations par spectroscopie en synthèse organique**

Retours d'oraux

## **LC10 : Du macroscopique au microscopique dans les synthèses organiques**

Retours d'oraux

## LC11 : Capteurs électrochimiques

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2014 - Note : 12/15

J'ai suivi le plan présenté dans l'année en accentuant l'aspect « Capteurs » et en virant au dernier moment la partie pHmétrie faute de temps, à cause du traitement un peu long des dosages. Questions surtout sur les deux dosages. Pour le titrage conductimétrique du sérum physiologique, pas mal de questions sur les hypothèses de dilution pour la loi de Kohlrausch, la pertinence d'une solution à 0.1 mol/L d'argent (ce n'est pas bien, cela coûte cher, penser à diluer), influence du précipité sur la mesure. Pourquoi l'argent est souvent fourni sous forme de nitrate d'argent (j'ai dit que ça stabilisait l'ion  $\text{Ag}^+$  mais je suis pas certain), comment mesurer expérimentalement les conductivité molaire ioniques à dilution infinie (extrapolation à partir de plusieurs solutions de concentrations différentes) Sur la potentiométrie, définir exactement ce qu'est le potentiomètre (électrode de mesure + électrode de référence + voltmètre + solution et pas uniquement l'appareil qui affiche la valeur). Sur le titrage cérimétrique, presque toutes les questions possibles ! Dose-t-on vraiment les ions fer (non, la présence de sulfates forment des complexes de potentiel similaire) ? Mode d'action de l'orthophénantroline (indicateur redox par complexation) ? Différences entre ferroïne et orthophénantroline (je pensais que c'était la même chose et je l'ai dit et c'est faux) ? Choix d'un indicateur redox (potentiel de l'indicateur dans le saut) ? Potentiel mixte après le saut ? Retour : ils ont dit qu'il fallait absolument attaquer la leçon sous l'angle capteur/appareil de mesure car il s'agit d'une leçon de type STL et qu'il faut l'axer sur ces aspects techniques. J'ai entièrement traité le 1er dosage avec incertitudes et ils ont dit qu'il valait mieux faire ça que plein de manip. Se contenter de mentionner l'électrode de verre sans l'étudier est pertinent. Ils m'ont rappelé que c'était une leçon pas un montage. Techniciens moins disponibles et moins agréables qu'en physique. Donc rester cool. Ne pas prévoir trop de manip car il faut aussi les traiter, préparer ses notes et surtout Agir. Attention, le matos et la verrerie disponibles ne sont pas de qualité première comme à l'ENS. Il faut en tenir compte lors du choix des manip pendant l'année car tout n'est pas faisable sur place. Mais le jury n'attend pas de grosses manip non plus.

## LC12 : Molécules de la santé

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2014 - Note : 11/15

J'ai présenté la synthèse du paracétamol et la saponification. Les questions ont porté sur la structure de la liaison peptidique du paracétamol, sur sa caractérisation (banc Kofler, mais pas que), sur des détails du mode opératoire. Pour le savon, j'ai eu le droit à qu'est-ce qu'il se passe si les micelles se forment dans du cyclohexane, un retour sur le mode d'action du savon, comment fonctionne la CCM. Le jury a apprécié que je présente le paracétamol, ils en avaient marre de l'aspirine. Ils m'ont reproché de ne pas avoir assez insisté sur la liaison peptidique au moment des questions. Mais ils ont trouvé la leçon bien construite et dynamique.

# LC13 : Stéréochimie et molécules du vivant

Jusqu'en 2016 il y avait deux leçons : "Structure et propriétés des molécules du vivant" et "Stéréochimie".

## Retours d'oraux

### Agrégation 2017 - Note : 13/20

- Vous avez dit que plus une molécule est grande plus elle a de conformations ? Pour une petite molécule, il y en a une infinité ou pas ? Pourquoi une double liaison empêche la libre rotation ? Quelles orbitales sont mises en jeu ?

- Conformation la plus stable est celle où les groupes volumineux sont les plus éloignés : toujours vrai ? Par exemple, représentez le éthan-1,2-diol en topologique, en projection de Newman ? Quelle est la plus stable, influence des liaisons H ? En Newman, c'est quel type de configuration alors ? (éclipsée)

- Sur les protéines : retour sur la définition ? Différence entre un motif et un monomère ? C'est quoi une réaction de condensation ? De polycondensation ? Par exemple, écrivez la réaction entre l'alanine et la glycine ? Donner le mécanisme de formation de l'amide ? Combien de réactions possibles, quels amides formés ? Comment choisir sélectivement une des réactions ? Quelle méthode de protection ? Comment déprotéger ensuite ? Que se passe-t'il si on met un acide aminé dans l'eau ? (zwitterion) pKa des différents groupes ?

- Hydrolyse de l'amidon : quelle réaction ? mécanisme par rapport à la condensation ? on le trouve où l'amidon ?

- Énantiomères : propriétés physiques sont vraiment toutes différentes ? Expliquez le principe de la polarimétrie ? Énoncer la loi de Biot, et la commenter ? De quoi dépend le pouvoir rotatoire ? Comment séparer un mélange d'énantiomères ? Donner un exemple pour séparer un mélange de (+) et (-) carvone ?

- Comment s'appelle la théorie qui se cache derrière la catalyse enzymatique ?

- Diastéréoisomères : comment classer les C asymétriques ? Comment marchent les règles CIP ? Lipides : c'est quoi exactement ? Quels sont les différents types d'acide gras ? Meilleur pour la santé : saturés ou insaturés ? Influence de la diastéréoisométrie Z/E sur l'effet bénéfique des oméga-3 ?

- Isomérisation acide maléique/acide fumarique : lequel des deux est le plus stable, pourquoi, influence des liaisons faibles ? lequel est le plus soluble, pourquoi ? lequel a la température de fusion la plus faible, pourquoi ? pourquoi on met du dibrome ? activation photochimique : comment ça marche ? pourquoi il faut des photons UV ? par quoi sont-ils absorbés ? OdG de l'énergie entre une orbitale  $\pi$  et  $\pi^*$  ? vous avez une idée du mécanisme de l'isomérisation ?

Le plan suivi a été : I) Importance de la conformation pour les protéines I.1) Conformations des glucides 1.2) Protéines I.3) Relations structure-propriétés - II) La chiralité dans le monde du vivant II.1) Chiralité et énantiométrie II.2) Influence sur le goût et les odeurs II.3) Mélange racémique dans les médicaments - III) Diastéréoisométrie des molécules du vivant III.1) Diastéréoisomères III.2) Diastéréoisométrie Z/E et lipides.

Les préparateurs étaient très sympa et disponibles, tout comme la prof préparatrice, d'une grande aide pour monter les manips. Un jury très sympathique, qui met à l'aise et en confiance

dès le début. Les questions sont montées en difficulté au fur et à mesure, pas mal de questions de culture générale sur les molécules du vivant et les réactions/mécanismes présentés. Une ou deux questions pour rectifier des étourderies.

Retour du jury : Bonne leçon, bon plan et bonne culture, mais le fait de ne pas avoir eu le temps de faire la dernière manip a été fortement pénalisé.

### **Agrégation 2014 - Note : 7/15 Structure et propriétés des molécules du vivant**

Plan : les protéines : acides aminés, liaison peptidique, expérience du nylon ; les triglycérides : estérification, acides gras, expérience de hydrolyse de l'huile d'olive. Questions : mécanisme de l'estérification et son rendement ? Peut-on former des protéines sans utiliser des acides aminés ? Comment marche la détection à la ninhydrine, pourquoi elle se colore à chaud ? Quels sont les différentes stratégies de synthèses que l'on peut mettre en place avec des réactions entre acides aminés ? Remarques sur la préparation : je n'avais pas de synthèse organique longue donc la gestion du temps s'est bien passée, le matériel que j'ai demandé pour les expériences a été apporté rapidement, les techniciens m'ont monté un chauffage à reflux et j'ai fait toutes les manipulations seul ensuite. Commentaire du jury : plan bon mais ils trouvaient que l'expérience du nylon n'avait pas sa place ici car il n'y a pas de lien direct avec les molécules du vivant (même si la réaction est semblable), il faudrait plutôt étudier les propriétés chimiques des acides aminés à la place (acido-basique par exemple). Ils m'ont principalement reproché pendant les questions de ne pas avoir assez de connaissance en biochimie... mais c'est le cas de presque tous les candidats, c'est pourquoi ils mettent rarement la moyenne sur cette leçon.

### **Agrégation 2014 - Note : 11/20 Stéréochimie**

Questions du jury : Déterminer la configuration absolue d'une molécule à 2 C\*, en expliquant comment on fait. Exemple de réaction où deux énantiomères ne réagissent pas de la même façon ? Comment séparer deux énantiomères ? Sur quelles propriétés physiques diffèrent les énantiomères ? Comment séparer des diastéréoisomères (au moins 3 méthodes) ? Expliquer qui de monsieur fumarique ou monsieur maléique a la plus grande solubilité dans l'eau, et de même qui a la plus grande température de fusion ? Explication de spectro RMN et forme du spectre de fumarique/maléique ? Explication de spectro IR et forme du spectre de fumarique/maléique, avec raies les plus importantes ? Quel est l'état d'hybridation du carbone dans une des molécules ? Mécanisme réactionnel du Br<sub>2</sub> sur un alcène, forme finale selon l'alcène initial ? Comment on fait une mesure de pouvoir rotatoire ?

### **Agrégation 2014 - Note : 8/15 Stéréochimie**

Remarques : Je connaissais les livres dont j'avais besoin, j'ai cependant oublié d'en prendre un, et une fois dans la salle de préparation, le technicien a voulu aller me le chercher, il a fait 4 fois l'aller retour sans trouver le bon livre ce qui m'a fait perdre pas mal de temps, ça partait d'un bon sentiment mais finalement j'aurais mieux fait d'y aller moi, donc mieux vaut ne pas oublier de livre. J'ai présenté quelques manips (point de fusion de l'acide maléique, dosage phmétrique de l'acide maléique, dosage de l'acide fumarique sur simulwin (il n'avait pas d'acide fumarique), point de fusion de 2 énantiomères), odeur de la carvone (+) et (-). La préparation s'est bien déroulée, c'était l'heure du repas pour les techniciens, ils mangeaient

tous devant ma porte mais surtout n'hésitez pas à leur demander quoi que ce soit même si ils ralent un peu en venant vous aider, vous avez le droit de demander des produits!! Ils m'ont fait le dosage de l'acide maléique. J'ai eu un seul problème, je comptais prendre le point de fusion de l'acide tartrique (D) et (L), mais ils n'en avaient pas, ils l'ont remplacé par un sucre, l'aribinose, chose qui n'était pas prévu et qui n'a pas échappé au jury comme j'ai pu le voir avec leurs questions... Lors de l'entretien, ils m'ont dit avoir apprécié la multiplicité des supports (transparents, logiciels (simulwin et chemsketch), modèles moléculaires), l'aspect pédagogique de la leçon, le choix des manips. Cependant, j'ai passé beaucoup trop de temps sur l'isomérisation de constitution qui ne fait pas vraiment l'objet de la LC et trop peu sur l'énantiomérisation d'où ma note. Questions : incertitudes sur le dosage, sur la température de fusion ? Sur le diagramme énergétique du butane, que signifie éclipsée gauche/droite ? Sur les modèles moléculaires, pourquoi avoir choisi un modèle éclaté mixé à un modèle compact ? Sur l'aribinose, explicité la représentation de Fischer, que signifie D et L, quelle est la différence avec d et l, quelles sont les propriétés des sucres, quels sont les tests qui permettent de différencier les sucres ?

### **Agrégation 2016 - Note : 02/20 Structure et propriété des molécules du vivant**

Questions : Tableau d'avancement pour la glycine à reprendre. Quelle est la phase des graisses en suspension dans le lait ? Toute la chimie organique se résume à l'assemblage d'acides aminés sous forme ionique ? Quel est impact de la présence du groupement amino sur le pKa des acides carboxyliques des acides aminés ? Erreur sur la valeur du pKa, 1 c'est beaucoup ? L'indice "ég" sur les concentrations, que signifie-t-il ?  $\text{pH} = \text{pKa} + \log()$ . Quand est-ce valable ? C'est quoi le problème de la dilution ? Définition d'une liaison hydrogène, avec quels atomes on peut en avoir ?

Remarques :

- La préparation a été très compliquée... Mes techniciens étaient toujours par paire et n'arrêtaient pas de glousser quant ils ne jouaient pas au uno dans le couloir, entre deux manips. Autant dire qu'ils étaient super concentrés ! Mon dosage de la glycine a été un échec. J'ai eu une jolie courbe (faites par mes techniciens et qui donne des valeurs de pKa incorrectes) alors que je l'avais fait deux semaines avant et que cela marchait nickel. Devant le jury, ma burette a été défectueuse (oui ça existe) si bien que j'ai loupé le saut de pH. On m'a monté une trompe à eau qui ne fonctionnait pas. Difficile de louper un tel montage mais apparemment, avec de la bonne volonté, c'est possible. Il paraît que je devais tourner le robinet à fond pour que ça marche légèrement. Le désavantage, c'est que j'avais des jets d'eau intempestifs émanant du tuyau qui me pourrissaient ma paillasse. D'ailleurs, en parlant de paillasse, elles sont deux fois plus petites que celles de Montrouge, il faut se serrer. Bref, la morale est qu'il faut tester tout le matériel avant de passer devant le jury, même les manips les plus basiques.

- Pas possible de faire réagir de la liqueur de Fehling sur le galactose et le fructose car ils n'en avaient pas...

- La présentation a été moyenne. Je me suis emmêlé les pinceaux à cause de mes multiples échecs expérimentaux. Néanmoins je pense avoir bien insisté sur le lien entre structures et propriétés pour les molécules du vivant : les protéines = polymères d'acides aminés avec des fonctions bien spécifiques, double acidité pour les acides aminés, glucides sucres lents et sucres rapides réducteurs, triglycérides : hydrolyse et solubilités.

- Leur flexcam est inutilisable, c'est en noir et blanc et la résolution est mauvaise. Bref, ça m'a fait perdre du temps.

- Leur balance de précision a une incertitude de 20 mg et est capricieuse. C'est bien dommage. Attention, c'est une balance qui peut être en "Oz".

- Le jury a été désagréable sur les questions, bon faut pas paniquer et garder son calme. C'est assez différent du jury de physique !

- J'imagine que je n'aurais pas dû essuyer mes lunettes avec ma blouse mais avec le stress de la présentation... Et la configuration de la salle ne me permettait pas de prendre du papier facilement. Bref, faut prévoir ça avant !

Retour sur l'entretien avec le jury :

Commentaire général : c'était faible. (Commentaire très constructif mais cela semble être la norme des jurys de chimie) Commentaires sur le contenu : Bah aucun, le jury n'avait soit rien noté soit oublié ce que j'avais dit. Une chose importante, le jury a dit, je cite, "il faut arrêter avec le dosage de la glycine, c'est n'importe quoi. On ne fait que doser l'acide chlorhydrique en début de dosage... Le premier saut de pH ne permet pas de déterminer le pKa de la première acidité. Une étude approfondie de l'évolution de la conductivité l'indique. Oh puis aussi, arrêtez de projeter des images à la flexcam."

## LC14 : Acides et bases

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2016 - Note : ??/20

(passage à 11h30)

Plan : I. Introduction à la notion d'acidité 1. Quantification de l'acidité a. Méthode de mesure b. Définition du pH 2. Produit ionique de l'eau 3. Solutions neutres, acides et basiques : définitions

II. Différents types d'acides et de bases 1. Définition selon Brønsted a. Couple acido-basique b. Réaction acido-basique 2. Acides forts, bases fortes 3. Acides faibles, bases faibles

III. Cas des acides forts et des bases fortes 1. pH d'une solution d'acide fort 2. pH d'une solution d'acide faible 3. Mélange acide fort-base forte

IV. Cas des acides faibles 1. Notion de constante d'acidité  $K_a$  2. Domaine de prédominance 3. Cas des acides  $\alpha$ -aminés 4. Importance du contrôle du pH a. Définition d'une solution tampon b. Milieux biologiques

Questions :

- Quelles sont les limites d'applications de la formule  $\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+])$  ? - Comment définiriez-vous la notion de pH dans le supérieur ? - Pourquoi introduire le  $c^\circ$  ? - Que signifie le symbolisme double flèche, flèche simple dans les équations de réaction ? - D'où vient l'origine de l'échelle du pH ? - Pourquoi a-t-on pH [0 ; 7] pour les solutions acides ? Et [7 ; 14] pour les solutions basiques ? - Quand peut-on dire qu'un acide est fort ? - Que pensez-vous de la réaction d'autoprotolyse de l'eau ? Dans quel sens est-elle favorisée ? - Comment définit-on l'équilibre thermodynamique ? - Comment savoir dans quel sens évolue une réaction ? - Pourquoi le pKa de l'acide lactique est-il plus bas que celui de l'acide éthanoïque ?

Agir : Un élève est isolé dans la classe, comment réagissez-vous ?

**Agrégation 2016 - Note : 9/20**

5h30. Même salle pourrie et mêmes techniciens que l'an dernier. Plan : pH, acides et bases  
pH, définition et mesure Acides et bases Couple de l'eau

II. Caractérisation des acides et des bases Acides et bases faibles Diagramme de prédominance Acides et bases fortes

III. Dosage de l'aspirine

Commentaires et questions

J'ai pas pu finir le dosage, trop à la bourre. Je me suis carrément fait couper sur ma conclusion. Je n'ai pas parlé de milieux biologiques (je comptais le faire après, mais j'ai trop pris mon temps au début). Du coup les questions ont porté là-dessus On commence avec l'inspecteur général. Pourquoi ne pas avoir commencé votre leçon par une contextualisation avec l'étude des milieux biologiques ? Quand est-ce qu'on voit le pH et comment, au collège ? (classe précise !) Comment la notion est-elle amenée et comment évolue-t-elle en seconde ? Et encore des questions sur le collège... A quelle section est destinée votre leçon ? On voit quoi à ce sujet en STL ? Nécessaire de mettre des gants pour manipuler du vinaigre (pour désigner l'acide éthanoïque à  $10^{-2}$ ) ?  $K_A$  sans units, l'élève pige pas parce qu'on a des concentrations, comment lui expliquez-vous ? (c standard!!!) D'autres questions pédagogiques sur comment amener les notions... Pire que des sables mouvants. A la fin je comprends pas ce qu'il veut de moi. Comment faire comprendre à n élève que la réaction de dosage ici est totale ? L'autre membre (maitre de conf) prend la relève. Comment on sait si une réaction est totale ? Quel outil d'étude ? (la constante de réaction). Ok je pige ce que voulait l'autre jury et donc j'écris la constante de réaction qui est en fait le  $K_B$  du couple. Définition du pH valable pour exactement  $C < 0,1$  mol/L ? Pourquoi ? Expliquer physiquement ce qu'il se passe. Comment on écrit une constante de réaction ? On a pas compris comment est constituée l'électrode du pHmètre : une, deux électrodes ? Leur nom ? De quoi est constituée l'électrode de verre ? Je m'embrouille sur la membrane et ils me mettent le doute. Blabla sur les activités et si le coefficient à rajouter est supérieur ou inférieur à 1. Question sur adaptation pédagogique du point de vue du principe d'égalité, un truc comme ça, j'étais même pas sur d'avoir compris la phrase. Alors j'ai embrayé sur les différents types d'évaluation (diagnostique, formative, sommative) en disant que les deux premières ben on différencie suivant le niveau pour que chacun puisse progresser de son mieux, et la dernière vu que c'est noté ben même barème pour tous. Est-ce que c'est pratiqué les évaluations différenciées ? EUUUUUH je dirais non mais bien sûr je doute car c'est assez inattendu comme question je trouve. Puis l'IG intervient de nouveau pour me demander la différence entre égalité et équité. Et j'ai beau avoir débattu de ça plein de fois avec des amis, j'arrivais plus à formuler ça correctement, du coup c'était un peu brouillon. Bilan : j'ai l'impression de m'être crouté sur la fin et de m'être fait tabasser dans une ruelle bien sombre derrière des poubelles. C'est mon ressenti, la leçon était pas dure, mais j'ai pas tout exploité (je suis pas remonté à la quantité d'aspirine dans le comprimé...) et j'ai pas assez travaillé la mise en contexte, du coup devant l'IG... Techniciens OK. CEPENDANT ils m'ont annoncé avoir étalonné le pHmètre en préparation. Je les crois, je prends les points pour le dosage de l'aspirine. Sauf que 45min avant le début de la présentation je mesure le pH d'une solution d'acide chlorhydrique à  $10^2$  mol/L et je trouve un pH inférieur à 1... Donc j'ai réussi à m'en sortir (autre pHmètre pour les autres manips, et celui-là on dit rien le saut

de pH donne des valeurs correctes) mais sur le coup faut faire gaffe.

Entretien avec le jury : Manip pas finie et pas exploitée + leçon mal organisée, ça a vite sauté. Il fallait finir à tout prix le dosage, j'aurai eu la moyenne, quitte à sacrifier quelques notions en amont. L'exploitation est elle aussi primordiale. Durant ma leçon ils ont trouvé que je ne présentais pas les choses de façon fluide, que je faisais sans cesse des aller-retours entre différentes notions, ce qui a mené aux questions de choix pédagogique. J'ai parlé des pKa des acides et bases fortes parce que je l'ai vu dans un livre de TS alors que c'est pas au programme et que c'est un mauvais choix pédagogique d'après le membre du jury. J'ai toujours dit qu'il fallait pas faire ça durant l'année et je l'ai fait : ça a été très mal vu. Surtout que mon discours s'est embrouillé à ce moment là.

## LC15 : Liaisons chimiques

Nouvelle leçon pour la session 2019.

## LC16 : Solvants

Retours d'oraux

## LC17 : Classification périodique

Retours d'oraux

### Agrégation 2017

Passage à 10h40. Attention à bien préparer la conclusion j'ai été surprise par le temps donc panique : conclusion sur les liaisons covalentes vs ioniques. Le jury a rebondi dessus : citer des liaisons plutôt ionique et d'autres plutôt covalentes. Ré-expliquer les liens avec les propriétés acido-basiques et oxydo-réductrices des éléments. Quelle différence faites-vous entre « éléments » et « atomes » Comment évolue le rayon atomique au sein du tableau périodique ? D'où vient sa proportion en  $n^2/Z$  ? Quels sont les nombres quantiques que vous connaissez ? Comment s'appelle-t-il ? Quelle valeur peuvent-ils prendre ? Pourquoi 10 électrons dans la sous couche d, et combien dans la f ? Comment connaître le nombre d'orbitales dégénérées par niveau d'énergie ? J'ai répondu qu'il s'agissait du nombre de solutions de l'équation de Schrödinger ; le jury voulait simplement entendre le lien avec les valeurs que peut prendre le petit ml. Rappeler les règles de Klechkovsky et Pauli. Quelle souche avant la 4f ? Question sur l'expérience de Na dans l'eau , où vont les électrons dont se débarrassent Na ? Que sont les métalloïdes ? Quelles sont les propriétés particulière de Si et Ge (semiconducteurs). D'où viennent les noms des différentes famille du tableau ?

Techniciens au top ( je n'avais pas vraiment besoin d'eux.. !) Ils m'ont tout amener rapidement. Et m'ont tout rangé en fin de leçon. Paillasse tout au fond de la salle mais heureusement je n'avais que deux aller retour à faire.

Question agir : Un prof fait grève, a-t-il le droit de donner ses opinions en classes ? Et s'il est élu ? J'ai donné une réponse très brève, cela a semblé les satisfaire.

**Agrégation 2016 - Note : 06/20**

I Présentation du tableau périodique 1 Genèse du tableau 2 lecture de la classification 3 Analyse en colonnes

II Evolution des propriétés atomiques 1 Caractère métallique 2 Pouvoir réducteur 3 Pouvoir oxydant 4 Lien avec l'électronégativité 5 Formation d'oxydes (pas eu le temps de faire cette partie)

Manips : Précipités des halogènes, pouvoir réducteur des alcalins, pouvoir oxydant des halogènes

Questions : Diff entre élément chimique et atome définir les différents nombres quantiques et les relations entre eux donner les différents degrés d'oxydation du chlore et la formule de Lewis de  $(ClO_4)^-$  - Le nickel, le palladium et le Platine ont des propriétés similaires, lesquelles ? Pour quelle synthèse en chimie orga utilise t on du Nickel de Raney ? Manip du Na ds l'eau : comment appelle-t-on le phénomène physique qui fait que le morceau de sodium reste à la surface de l'eau ? Quelle réaction rentre en jeu ? Quelle gaz est dégagé ? Pourquoi le morceau de sodium devient vite parfaitement sphérique ? D ou vient le mot alcalin ? Donner la formule chimique de l'oxyde de sodium, et sa formule de Lewis. Pourquoi avoir abandonné la classification en triade ? Qui y a contribué ? Pourquoi AgI, AgCl, AgBr solides ne sont pas de la même couleur ?

Commentaires : La leçon était confuse, manque d'aisance pour expliquer, la flexcam+le vidéoprojecteur était de trop surtout qu'ils se superposaient par moments. Les expériences étaient mal exploitées, qqs erreurs lors des questions, niveau en chimie trop moyen. Concernant le plan, le jury propose de partir de plus loin, et notamment de faire le lien entre la structure de l'atome et les diff nombres quantiques avec la structure du tableau périodique. Pour les manips, autres les questions posées, le jury en attendait plus. Il aurait aimé voir les manips de combustion. Il aurait également souhaité voir les manips sur le pouvoir oxydant des halogènes avec le dichlore qu'on aurait synthétisé par électrolyse. Il recommande également plus que vivement l'utilisation des sites mis à disposition afin de montrer des expériences d'alcalins dans l'eau par exemple.

**Agrégation 2014 - Note : 10/15**

J'ai présenté le plan suivant : 1. Construction de la classification Historique, actuelle. Périodicité des propriétés chimiques. 2. Propriétés atomiques Électronégativité, retour sur la périodicité, état physique des dihalogènes 3. Propriétés chimiques Caractère oxydant-réducteur et acido-basique J'ai présenté comme expérience la synthèse du dichlore, l'état physique des dihalogènes, la réaction  $Na+H_2O$ , le caractère amphotère de l'oxyde d'aluminium, et les expériences sur les halogénures en tube à essais. La présentation était un peu courte, mais j'ai pris assez de temps à faire Agir. Les techniciens étaient très serviables et sympathiques (ils ont monté la synthèse du dichlore sans que je leur demande), par contre un peu radins sur les gants (une seule paire pour le passage) ! Pendant le passage, je n'ai pas été trop vite, pris 2-3 minutes à bien contextualiser au début et à la fin. Le jury a apprécié mon entrain, mon dynamisme et le fait que j'explique bien la démarche de la leçon d'un bout à l'autre pour faire comprendre quelque chose. Il a regretté des erreurs de vocabulaire, que je n'ai pas présenté les pouvoirs oxydants comparés des halogènes.

# LC18 : Solides cristallins

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note : 20/20

Questions : - Qu'est-ce qu'un mélange idéal ? - Comment calculez-vous la variance d'un mélange à deux constituants sous plusieurs phases ? - [Sur la courbe d'analyse thermique dans le cas des solides non miscibles] : pouvez-vous décrire ce qu'il se passe concrètement à chaque phase ? - Pourquoi les courbes d'analyse thermique sont-elles constituées de segments de droite ? Pourquoi les pentes sont-elles différentes ? Pourquoi dans la courbe expérimentale c'est pas une droite ? - Pendant le changement d'état du corps pur, comment savez-vous que les courbes du potentiel chimique en fonction de la température ou de la pression ont des pentes croissantes (ou décroissantes) ? Comment pouvez-vous prévoir de quel côté du changement d'état les pentes sont les plus grandes ? Qu'est-ce qui vous permet de relier la courbe du potentiel chimique en fonction de la température à la chaleur latente de changement d'état ? - Qu'est-ce qu'un composé défini (comme j'avais pas eu le temps de l'aborder) ? - Dans le cas des solides non miscibles, où sont le solidus et le liquidus ? - Quelle est l'unité du potentiel chimique ? - Dans le cas du mélange idéal, comment s'exprime le potentiel chimique de l'une quelconque des espèces à l'intérieur du fuseau ?

AGIR : est-il contraire au principe d'égalité d'évaluer les élèves différemment les uns des autres ? Remarques : - Cette année, personne n'a envoyé de mélange Pb/Sn comme ça se fait habituellement. J'ai eu de la chance, un des techniciens avait ramené de l'étain de son labo, ils ont pu me faire un mélange maison (dont je pouvais choisir la composition du coup).

### Agrégation 2014 - Note : 4/15

1) Modèle du cristal parfait a) Définition élémentaires (mailles, motifs, réseau +exemple) b) Caractérisation des cristaux (compacité et masse volumique, exemple de calculs) c) Assemblages compacts 2) Les différents types de cristaux (en liaison avec les différents types d'interaction, classification périodique + exemples) 3) Sites interstitiels et alliages a) Sites interstitiels (les sites dans le cfc et hc) b) Alliage (définition et propriétés) Conclusion : transition de phase La difficultés d'une telle leçon réside dans le fait qu'il n'y a pas de manip (j'ai quand même fait la recristallisation de l'acide benzoïque et la recalescence du fer), du coup il faut être à fond sur la théorie et faire une leçon nickel (ce qui n'était pas mon cas). De plus j'ai assez mal géré mon temps de préparation : il faut faire attention parce que ça prend énormément de temps de faire les schéma des mailles etc. sur transparent. Questions : principalement sur les alliages, leurs propriétés (j'avais une connaissance assez limitée sur ça). Structure du carbone diamant, c'est un état métastable, pourquoi il existe pourtant ? Question sur l'entropie : le cristal parfait peut-il exister ?

### Agrégation 2014 - Note : 5/15

Quelle est la différence entre maille et réseau ? Où sont les sites tétraédriques de la maille hexagonale compacte ? Calculer la compacité pour la maille hexagonale compacte.

# LC19 : Corps pur et diagrammes binaires

## Retours d'oraux

### Agrégation 2016 - Note : 3/20

Biblio : Dunod PSI HPrépa PC Florilège

Plan suivi : I- Introduction aux diagrammes binaires I-1) Mélange de corps purs : potentiel chimique du corps pur, condition d'évolution et d'équilibre en mélange. I-2) Mélange diphasique : définitions des fractions molaires, hypothèses de succession d'états d'équilibre, et donc d'égalité des potentiels thermodynamiques. I-3) Grandeurs étudiées : liens entre différentes grandeurs molaires partielles, exemple général de diagramme binaire et signification de son contenu. I-4) Lecture d'un graphique : théorème de l'horizontale et théorème des moments. II- Mélanges binaires à miscibilité totale II-1) Courbes d'analyse thermique II-2) Obtention d'un diagramme binaire : lien entre courbe d'analyse thermique et diagramme. II-3) Cas de diagramme à deux fuseaux III- Mélanges binaires à miscibilité nulle à l'état solide III-1) Forme du diagramme III-2) Cas du mélange "Pb/Sn" III-3) Applications : traitement des routes en hiver, ...

Questions : -Expliquez le théorème de l'horizontale. -Comment le théorème des moments chimiques s'exprime-t-il pour un graphique en fraction massique ? -Interprétez la montée en température à la fin de la surfusion. -Quelle est la différence entre un eutectique et un corps pur sur une courbe d'analyse thermique ? (Je pense qu'ils attendaient juste la différence de température du pallier). -Est-ce ça pose problème de refroidir à température ambiante pour la courbe d'analyse thermique de l'étain ? Est-ce que ça donnerait la même chose en refroidissant dans la glace ? Comment le  $\delta Q/dt$  doit-il être ? -Justifiez pédagogiquement d'avoir montré des diagrammes binaires avant des courbes d'analyse thermique. -Qu'est-ce qu'une grandeur intensive (ils voulaient une définition physique, et pas par la négative -du genre "grandeur qui NE dépend PAS de la quantité de matière").

Agir : - Un élève insiste pour savoir pourquoi vous faites grève. - Je lui dis simplement que j'ai le droit de faire grève mais pas de lui donner mes convictions politiques. - Et il insiste et demande encore pourquoi. - Pour ne pas l'influencer et le laisser se forger lui-même ses convictions.

Commentaires personnels : Note : 03/20. Les techniciens m'ont donné des creusets alors qu'ils ne savaient pas ce qu'il y avait dedans. Je me suis rendu compte trop tard que les deux ne contenaient que de l'étain. En fait Montrouge a peut-être envoyé la manip avec le mélange Sn/Pb, mais en PHYSIQUE, et eux sont allés chercher le matériel en chimie. J'aurais dû insister. À part ça ils étaient sympas. Je n'ai pas assez parlé du corps pur, qui est quand même la moitié du titre, et le jury me l'a assez fait sentir dans les questions. Une grande partie des réponses aux questions qu'ils m'ont posées sont dans le chapitre du HPrépa, mais je ne m'y étais pas suffisamment préparé..

# LC20 : Application du premier principe de la thermodynamique à la réaction chimique

Nouvelle leçon pour la session 2019.

# LC21 : Détermination de constantes d'équilibre

## Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note :

On est invité à aller dans la bibliothèque de chimie, puis à l'heure annoncée, les sujets sont révélés. On est alors immédiatement invité à prendre nos livres, puis on est conduit vers notre salle d'examen.

Il s'agissait d'une salle de TP pourvue de paillasse en îlots. La hotte était dans le fond, le tableau ridiculement petit (environ la moitié de celui de la petite salle de la 301). À peine de quoi faire tenir deux colonnes étroites. De plus, l'écran de rétroprojecteur dont la descente, commandée par le bouton « montée », prenait bien une minute entière se déroulait par dessus. Impossible donc d'utiliser simultanément le vidéo/rétro et le tableau.

La préparation s'est relativement bien déroulée, aucune grosse erreur n'a été commise, je connaissais mon plan et ma bibliographie. Pour ce qui est des expériences, on doit demander aux techniciens le matériel et les produits sur des papiers comme durant l'année de préparation. Ils peuvent préparer des solutions, des échelles de teintes, etc... par contre il vaut mieux vérifier que celles-ci ont été correctement confectionnées :

!!!!!!!!!!!! Lorsque j'ai demandé une solution de NaCl saturée, on m'en apporté une bouteille correctement étiquetée, etc. Sauf qu'elle contenait de l'eau, contrairement à ce que soutenaient les techniciens. Je l'ai remarqué tout de suite parce que je devais observer un net changement de couleur dans une réaction, mais si ça n'avait pas été le cas, une synthèse toute entière aurait pu être mise en péril. J'ai donc préparé moi-même une solution de NaCl saturée, et le changement de couleur attendu est apparu.!!!!!!!!!!!!

Ensuite, le jury arrive à l'heure prévue.

Quelques questions :

- Retour sur les fonctions thermodynamiques - Définition d'une solution parfaite - Questions sur le protocole utilisé, comment on aurait pu faire autrement - Formule de Lewis de l'ion thiosulfate - Loi de Kaulrausch - Quelques questions générales sur les incertitudes

Agir : Comment l'histoire des sciences peut-elle être utilisée aujourd'hui pour défendre la science devant diverses croyances ou religions ?

### Agrégation 2016 - Note : 08/20

Questions : pourquoi votre point isobestique n'est pas parfait ? Définition d'une constante d'équilibre ? Différence entre équilibre et équivalence (oui oui. . .) ? L'équilibre est dynamique, vous pouvez en dire plus ? Comment on pourrait étudier cette dynamique ? Formule de Lewis du thiocyanate ? La formule d'Henderson vient d'où ? Dans une manip, vous déterminez l'enthalpie standard de réaction, c'est une constante d'équilibre (non, mais ça permet d'étudier les variations de K avec T, cf Van't Hoff qui pour moi justifie cette manip) ?

Agir : Pensez-vous que créer un compte sur un réseau social pour échanger avec les élèves soit une bonne idée ?

Commentaire : un jury mitigé : un mec assez sec qui a vraiment essayé de me pousser au bout de mes raisonnements, un autre bien plus gentil, et le président qui n'est intervenu que pour agir. Sinon les 4h se sont bien passées. Il y avait des choses à faire (cf. montage de

chimie), mais comme j'étais le seul candidat à passer, j'ai eu 5 techniciens rien que pour moi ! Les techniciens ont pris et repris les points, fait mon dosage deux fois, reporté les spectres, fait les dilutions.

Retour du jury : assez sec. Je cite "Manips peu adaptées, confusions, niveau faible, manque de pédagogie" (ça fait plaisir). Assez étonné de s'entendre dire "il ne faudrait pas présenter les choses comme ça à une classe" alors que l'épreuve de LC est clairement quelque chose de figé et académique... Mais je suis conscient qu'il y a eu une ou deux énormités en questions, et que globalement, même si cette leçon est très expérimentale, il faut revenir sur le contenu (dégager clairement les constantes mesurées, les définir, justifier les équations qui permettent de les obtenir sur transparent). On m'a reproché l'expérience de détermination de  $\Delta_r H$ , qui clairement n'est pas directement une mesure de constante, du coup c'est pédagogiquement discutable.

### Agrégation 2016 - Note : 14/20

Q : La constante d'équilibre elle est définie comment ? Q : et le quotient de réaction ? R : c'est plus compliqué, il faut que le système soit dans un état quasi-stationnaire et homogène pour pouvoir définir les concentrations, et si c'est le cas ça prend la même forme, mais c'est une grandeur a priori hors d'équilibre. Q : on peut la relier à d'autres grandeurs que la concentration ? R : Oui : la formule avec l'enthalpie libre de réaction standard. Q : Comment marche une sonde pH ? R : avec le couple  $\text{Ag(s)}/\text{Ag}^+(\text{aq})$  saturé + une membrane en verre où des  $\text{H}^+$  vont s'adsorber Q : Pour quelle raison ça change le potentiel ? R : je ne sais pas. Q : Sur la simulation, vous dites que  $\text{pH}=\text{pK}_a$  à la demi-équivalence ? c'est toujours vrai ? R : non, si l'acide se dissocie assez largement, on a des  $\text{H}^+$  et ça déforme la courbe au faible volume versés. Q : Ça donnerait quoi la courbe si l'acide était fort ? Donner l'allure. R : La même sans l'arrondit, il n'y a que des  $\text{H}^+$  à doser. Q : Un acide faible, il se dissocie toujours entièrement ? (c'est la question pour revenir sur truc pas clair que j'avais dit, la prof faisait semblant de RIEN comprendre et cherchait à embrouiller le propos... il faut trouver la RP et faire un hypothèse pour savoir la proportion dissociée). Q : Quel indicateur il faudrait utiliser pour repérer l'équivalence ? Discussion Héliantine, BBT... R : on discute un peu, j'essaye avec un schéma de faire comprendre que la forme basique de l'indicateur doit prédominer avant que le saut de pH soit fini. Q : C'est quoi le  $\text{pK}_a$  d'un ROH R : 16. Q : Pourquoi c'est plus grand que pour un acide carbo ? R : il y a un peu de mésomérie sur la base conjuguée. Plus la base est stable, plus l'acide est fort. Q : Comment marche le conductimètre ? R : Plaques de platine platiné (divisé pour augmenter la surface active), ddp alternatif de 1kHz d'une 100 de mV, lecture du courant. C'est un Ohmmètre quoi. Q : Pourquoi alternatif ? R : Sinon, les ions qui se déplacent en solution s'accumulent proche des plaques et on a une accumulation de charges opposées à proximité de la surface dans les plaques : on fait donc un condo, donc en continu ça coupe le courant. Q : Pourquoi les conductivité molaires sont plus importante pour  $\text{H}_3\text{O}^+$  ? R : Mécanisme de Grothus, quelques explications. Q : Mais pourquoi c'est pas le cas avec  $\text{NH}_4^+$  ? R : Parce que la liaison H se fait mal si les espèce ne sont pas les même ? (la vraie réponse, je crois, c'est que  $\text{NH}_4^+$  ne lâche pas son proton dans l'eau... tout simplement) Q : Pourquoi on travaille en référence infiniment diluée ? R : il faut prendre en compte la force ionique sinon (?) Q : Pour le titrage des ions Ce(IV) par les ions Fe(II), avant l'équilibre, vous écrivez le potentiel des ions Cérium, pourquoi pas celui du Fer ? R : le Fe(II) n'est quasiment pas présent (ça traîne parce que la prof qui faisait

semblant de RIEN comprendre insiste). Q : Mais il est présent ou pas ? Imaginez qu'un élève se pose la question, on peut écrire le potentiel ? R : Oui il est présent car on a un équilibre. Mais on préfère écrire la concentration des Ce(III) et (IV) parce qu'elles sont voisines et pas infimes. Q : Bon si on évalue le  $E^\circ$  pour le couple du fer on trouve quoi ? Pourquoi il y a une différence avec la valeur tabulée ? R : Formation d'un complexe entre le Fer(III) et les ions sulfates. (nldr : la plus grosse différence se fait surtout avec le  $E^\circ$  des ions Cérium, en fait Ce(IV) est si oxydant qu'il peut oxyder  $O_2$  dissout, on a existence d'un couple mixte, qui change d'environ 0.3V le  $E^\circ$ . cf Cachau pour les explications, et attention l'appl. num. est ridiculement fausse)

Question Agir : le débat croyance/science

Retour du jury : Les connaissances étaient là, on a pas tellement aimé votre plan (sans que je sache pourquoi). Un acide dilué est plus fort (au sens de sa dissociation).

## LC22 : Cinétique homogène

Retours d'oraux

## LC23 : Évolution et équilibre chimique

Retours d'oraux

### Agrégation 2016 - Note : 9/20

Questions

Q : Pourquoi avoir choisi le sel ?

Q : D'ailleurs, les quantités vous les choisissez comment ?

Q : Votre Leçon c'est évolution et équilibre, on aurait pas pu prévoir ? (Aïe...)

Q : Vous l'avez pas fait ?

Q : Réécrivez la différentielle de G.

Q : Vous avez admis  $\Delta_r G = \sum_i \nu_i \mu_i$ , démontrez le.

Q : C'est quoi la définition du potentiel chimique ?

Q : Comment vous définissez l'activité pour une espèce en solution

Q : C'est quand trop concentré ?

Q : Sur le  $PbI_2$ , comment on aurait pu prévoir l'évolution ?

Q : Pour la solubilité comment on définit le  $K_s$ .

Q : Mais admettons que ce soit tout solubilisé, j'ai le droit de faire le produit des concentrations des ions ?

Q : Alors c'est quoi ce produit ?

Agir en fonctionnaire de l'état de façon éthique et responsable

Q : Un élève vous dit que la science c'est que des croyances, vous répondez quoi ? R : Je répond non. (C'est tout pour moi, au revoir !). Je répond non parce que la science ça ce démontre, ça se remet en question, toutes les hypothèses scientifiques sont testables et sont testés, et si une hypothèse est invalidée par l'expérience, ben poubelle. Q : Si un élève vous dis que le Soleil tourne autour de la Terre et qu'un autre vous dit l'inverse, comment vous départagez ? R : Je ne sais pas démontrer que la Terre tourne autour du Soleil, en revanche ce que je sais c'est que les théories qui me disent ça sont testable expérimentalement sur Terre. Q : Finalement vous croyez plus ce que vous dise les bouquins que ce que vous dit votre élève ? R : Oui, je me base sur des consensus scientifique, des théories qui ont été publiées, examinés par les pairs jusqu'à consensus. Q : Juste les théories ? R : Non, les expérience aussi, qui doivent être reproduite par des équipes indépendantes, etc... Q : Un élève vous montre une vidéo qui démontre que le Soleil tourne autour de la Terre, vous faites quoi ? R : Et bien encore une fois, je me base sur un consensus scientifique plus que sur l'avis d'un pauvre pécore dans son garage. Q : C'est pas parce qu'il est tout seul qu'il a tort : Galilée, il était tout seul et il avait raison. R : Certes...certes...oui effectivement, Galilée était tout seul et il avait raison (technique pour garder la parole en attendant de savoir ce qu'on va dire ensuite)... Je peux cela dit accepter de regarder la vidéo que l'élève me montre, en espérant y déceler une faille évidente de raisonnement, un langage pseudo-scientifique, et donc prouver à mon élève que la vidéo qu'il me montre essaie de l'arnaquer.

#### Commentaires

Pas ma Leçon préférée. J'ai fait une présentation beaucoup trop théorique, aux antipodes de ce qu'on nous dit de faire depuis le début de l'année : rien n'y fait, je vois vraiment pas comment présenter la thermochimie de manière concrète (et puis surtout, on va pas se mentir, TOUT les profs de prépa font des calculs immondes de  $\Delta_r G$  comme moi...). Sur trois manip infoirables j'en ai raté deux et pas eu le temps de parler de la troisième. Bref, pas une super impression. Les paillasses sont très petites, mais c'est gérable. Les techniciens font ce qu'on leur demande, ni plus ni moins, et c'est marre. J'ai eu droit à deux paires de gants, ça change de Montrouge.

## LC24 : Diagrammes potentiel-pH (construction exclue)

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2018 - Note : 7/20

La préparation s'est déroulée comme prévu. J'ai demandé quelques solutions qui ont été amenées rapidement et dont j'ai un petit doute sur la qualité pour certaine mais ça peut venir de moi également. J'ai présenté le titrage de Winkler et la mise en solution acide des métaux.

Pour les questions : Est-ce pareil d'équilibrer une demi-équation en milieu acide ou basique ? Pourquoi  $\text{Cu}^+$  n'apparaît pas sur le diagramme du cuivre ? Pourquoi votre manip a échoué ? Pourquoi le dioxygène ne réagit pas avec  $\text{I}^-$  lors de la mise en solution de KI ? Connaissez vous une autre méthode pour titrer le dioxygène dissous dans l'eau ? Quelle est l'incertitude sur votre dosage ? Comment on étudie la cinétique des réactions d'oxydoréduction ? Pourquoi est-ce pertinent de regarder le courant ?

Question autour des valeurs machin truc : les filles ont de meilleurs résultats que les garçons au brevet en physique-chimie. Comment réduire cet écart ?

Retour du jury : il m'ont reproché de n'avoir pas du tout été pédagogique sur le lien entre le volume équivalent et la concentration en dioxygène dissout lors de l'exploitation de la méthode de Winkler. Pour le reste il ont dit que le plan était bien et que Winkler était quasiment incontournable.

### **Agrégation 2014 - Note : 12/15**

Préparation : les techniciens étaient globalement très gentils, et préparaient la verrerie en très peu de temps. Je suis tombée sur une leçon que je n'aimais pas bien, j'ai donc essayé de « sauver les meubles ». J'ai fait très simple, et j'ai fait très peu de manip : juste le dosage de Winkler et 2 filtrations sur filtres plissés pour l'hydrométallurgie du zinc.

Questions : 1) Retour sur le diagramme simplifié que j'ai présenté pour Winkler (celui qui est dans le JFLM) : pourquoi ce choix ? J'ai expliqué que je voulais insister sur l'inversion des espèces et donc que la réaction est thermodynamiquement possible en milieu basique mais impossible en milieu acide (c'est le point essentiel). J'ai dit que je voulais le mettre sous forme d'échelle de potentiel pour que les élèves retrouvent la règle du gamma facilement, mais que j'avais conscience qu'il s'agissait d'une représentation qui soulevait d'autres problèmes pédagogiques. 2) Construire le diagramme E-pH de l'élément Cl. J'ai déterminé les no de différents espèces, j'ai utilisé la relation de Nernst, ils m'ont rapidement arrêté pour que je donne une allure, si je la connaissais. J'ai vaguement tracé qqch dont je me souvenais, j'étais pas bien sûre... 3) Retour sur l'hydrométallurgie du zinc, quelques précisions, comme les étapes qui précèdent celles de lixiviation et de cémentation. J'avais juste mentionné en leçon la flottation et le grillage, j'ai plus détaillé sans trop de problème. J'ai insisté sur la particularité du Fer dont le précipité sous forme d'hydroxyde de Fer III est trop fin pour pouvoir le séparer efficacement (je ne l'avais pas dit en leçon car ce n'était pas le sujet), j'ai donc parlé des procédés à la jarosite ou encore jeux à la goethite (car moins de déchets). 4) Pourquoi si l'on fait réagir le dioxygène de l'eau, d'autre se dissout ? C'est un déplacement d'équilibre. Il s'agit de l'équilibre de Henry, si l'on déplace l'équilibre en consommant du produit, un nouvel équilibre se crée. Loi ? Loi de Le Chatelier. 5) Retour sur les constantes d'équilibre : de quoi  $K_s$  dépend ? De T. Les unités ? Sans unité, je suis revenue sur la définition avec les activités, qui est égale à  $c/c^o$  pour un soluté. Définition d'une activité dans le cas général ? Je suis revenue sur les potentiels chimiques. Pressions partielles pour un gaz, fractions molaires dans le cas des mélanges parfaits. Écart à l'idéalité, fugacité, etc. Dans quel cas est - ce assimilable à une concentration ? Concentration pas trop élevées. 6) Qu'est ce que le thiodène (indicateur utilisé pour la présence de diode, lors du dosage de Winkler). J'ai dit de l'amidon, je savais pas trop mais c'était écrit sur la boîte. Ils sont venus à me faire dire que c'était des glucides, présents dans les pommes de terre, et j'ai émis l'hypothèse qu'il faisait un complexe avec le diode, j'en savais pas grand chose. 7) Comment marche le papier pH ? je ne savais pas, alors que c'est un classique... J'ai parlé d'indicateur coloré mais j'ai dit que je ne savais pas.

Commentaires du Jury : Présentation claire, ils n'ont rien dit de spécial. Ils ont apprécié ma « spontanéité » lors des questions, et le fait que j'avais su répondre globalement bien.

## LC25 : Optimisation d'un procédé chimique

Jusqu'en 2016, le titre était "Optimisation d'un procédé industriel".

Retours d'oraux

## LC26 : Corrosion humide des métaux

Retours d'oraux

### Agrégation 2018 - Note : 20/20

Commentaires généraux : Leçon tranquille pour les expériences, mais il faut lancer les expériences de corrosion avec les clous dans l'Agar agar rapidement en arrivant. Techniciens gentils mais fuyants. Il ne faut pas hésiter à aller les chercher très régulièrement dans le couloir, même s'ils sont avec leurs collègues. Ne pas hésiter non plus à appeler les professeurs préparateurs lorsque les techniciens ne savent pas faire quelque chose.

Questions (J'ai mis quelques unes de mes réponses entre parenthèses) : Sur les courbes  $i$ - $E$  : définition couple lent/rapide ? Détailler le montage à 3 électrodes ? Rôle de chacune des électrodes ? Pourquoi on ne fait pas passer le courant dans l'ECS ? On utilise des densités de courant surfaciques parfois, qu'est-ce que c'est et pourquoi ? Lien entre la vitesse d'oxydation et le courant ? (Formule à trouver) Pourquoi  $\text{FeCl}_2/\text{Fe}$  a-t-il un potentiel plus faible que  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$  ? Comment le voir avec la formule de Nernst ? Définition de potentiel mixte et potentiel de corrosion ? Comment mesure-t-on un courant de corrosion ? Avez-vous entendu parler des droites d'Evans ? Sur le potentiel de Flade : Potentiel où  $i=0$ , c'est un potentiel mixte ou un potentiel d'équilibre ? Que se passe-t-il quand  $i < 0$  et  $E < E(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe})$  ? Et après 1.5V ? Lien entre la courbe tracée et le diagramme E-pH ? Quelles sont les réactions sur les différentes zones de la courbe ? Sur l'électrozingage : Que se passe-t-il sur l'anode en plomb ? Origine du dépôt marron ? (Passivation du plomb !) Sur la protection par revêtement plastique ? Qu'est-ce qu'un polymère ? Exemple de polymère ? (Polystyrène) Formule du polystyrène ? Mode de synthèse ? Etapes d'une synthèse radicalaire ? Exemple d'initiateur de radicaux ? (AIBN) C'est quoi l'AIBN ? (Arg ça va trop loin là...) Sur la corrosion différentielle : Justifier que s'il y a plus de  $\text{O}_2$ , c'est la cathode. Il faut utiliser Nernst.

Commentaires du jury : Leçon rarement bien présentée.

### Agrégation 2018 - Note : 02/20

Est-ce que la rouille passive ? Quelle est la différence entre fonte et fer ? et en termes d'oxydes ? Ressemblances/différences par rapport à une pile de corrosion ?

### Agrégation 2017

Diagramme E-pH vous le faites dans quelles conditions ? Pourquoi la concentration de travail a cette valeur là ? Votre clou tordu, pourquoi il ne se corrode pas au niveau du coude ? Aération différentielle, pourquoi quand la concentration en dioxygène est forte il y a réduction

de dioxygène alors qu'il pourrait y avoir réduction de l'eau ? C'est quoi la définition de la surtension ? Comment ça marche l'électrozincage ?

### Agrégation 2016 - Note : 14/20

Biblio : Dunod MP, Tech&Doc MP, Sarazzin (clou dans l'agar-agar), JFLM (Passivation du fer) et anode sacrificielle) Plan : Intro : Corrosion = oxydation. La corrosion c'est ennuyeux, c'est cher, protection ? I) Corrosion des métaux 1) Définition Oxydation, formation d'un cation 2) Mise en évidence Clou dans l'agar-agar (projeté par flexcam). Bleu = bleu de Prusse = présence  $Fe^{2+}$  = oxydation du Fer = corrosion. Rose = phénolphtaléine rose = basique = OH Mise en évidence des réactions mises en jeu. 3) Facteurs aggravant Dioxygène dans l'eau, eau dans l'air, rayures, défauts, impuretés II) Étude du phénomène de corrosion 1) Corrosions uniforme et différentielle Définitions. (Oh le clou c'est différentiel!). 2) Étude thermodynamique E-pH fer et eau. Tech&Doc projeté par Flexcam. 3) Étude cinétique i-E. Fer seul, on justifie le clou, micropile de corrosion, potentiel mixte. Fer + Cuivre, Fer + Zinc, oh mais le zinc se corrode à la place du Fer, protection ? III) Protection contre la corrosion 1) Revêtement  $Pb_3O_4$ , plastiques pour protéger 2) Passivation Oxydes du métal pour protéger. Expérience clou en fer dans acide nitrique (qui n'a pas fonctionné). 3) Anode sacrificielle On suit parfaitement le JFLM. Quand on met le zinc et le fer en solution, y'a du dégagement gazeux partout c'est dur de conclure. Mais, on rajoute de l'hexocyanoferrate de potassium dans les béchers, bleu = corrosion, pas bleu = pas corrosion, et ça marche ! Elles ont eu l'air d'aimer. 4) Protection par potentiel imposé Faible = immunité Fort = passivation Questions : NB : Les questions sont pas de très haut niveau parce que j'ai beaucoup galéré. • Vous pouvez me faire un intensité potentiel avec de l'eau qui contient du dioxygène ? C'est quoi le nom de la limitation en dioxygène qui apparaît sur le diagramme ? • C'est quoi la formule de l'hexacyanoferrate de potassium ? >  $[Fe(CN)_6]^{3-} + 3K^+$  • Géométrie du complexe ? Champ fort champ faible ? • Lewis de  $CN^-$  > Triple liaison, deux doublets non liants, un - sur N • Pourquoi sur N ? > Plus électronégatif • C'est quoi le bleu qui se forme quand y'a du  $Fe^{2+}$  ? > Un complexe • Perdu c'est un précipité, formule ? • Pourquoi l'hexacyanoferrate de potassium est coloré ? > Transition d-d • Si on met une goutte d'eau sur une plaque de fer contenant une petite rayure on observe que la corrosion se fait à l'intérieur et on observe de la rouille au bord de la goutte. Pourquoi ? > Réponse dans tous les bouquins Agir : • Que pouvez-vous mettre en place comme activités pédagogique pour susciter l'envie aux filles de votre classe de s'engager dans des métiers scientifiques ? > Faire intervenir des femmes qui se sont engagées dans ces voies pour leur expliquer que c'est pas parce que y'a beaucoup d'hommes que les filles réussissent pas. Parler des bourses spécial "filles qui font des projets scientifiques". Puis faire les activités classiques qui motivent les élèves, pas que les filles. J'ai évité les trucs genre "même les filles peuvent y arriver" et "parler de cosmétiques", visiblement c'est ce qu'il fallait faire elle m'a dit à la fin "Oui donc pas de chimie cuisine!".

Commentaires :

Comme je l'ai dit un peu plus haut, mes réponses aux questions étaient... vides, peut-être la fin de journée ou la fatigue peu importe. La jury que j'ai rencontré m'a dit "les réponses aux questions nous ont déçus on a pas compris ce qu'il se passait, donc dans le barème la partie scientifique bah on a pratiquement pas mis de points", puis de m'expliquer "c'est en gros 1/3 de pédagogie / présentation, 1/3 sur les manips et 1/3 sur la discussion scientifique. Vos manips rien à redire c'est ce qu'on attend parce que le quantitatif sur cette

leçon c'est compliqué, la présentation était très bonne et très pédagogique, donc vous avez à peu près 2/3 du maximum. Vu votre présentation on a décidé d'être gentils". (J'ai pas fait de transparents d'ailleurs, expériences dessinées au tableau ou diagrammes projetés par flexcam). En conclusion, quand Nicolas dit que la forme compte, c'est pas une blague. Du tout.

## LC27 : Conversion réciproque d'énergie électrique en énergie chimique

Retours d'oraux

## LC28 : Solubilité

Retours d'oraux

### Agrégation spéciale 2018 - Note : 03/20

Autre manip possible pour déterminer la solubilité du NaCl? (je l'avais déterminé par conductimétrie avec des solutions étalons de NaCl). Quelle est la loi qui régit la variation de  $K_s$  en fonction de T? Pouvez-vous l'écrire? Pourquoi le précipité de AgCl apparait avant celui de  $Ag_2CrO_4$ ? (concernant le titrage des ions chlorure dans le sérum physiologique par la méthode de Mohr). Quelle est l'unité des activités? Comment marche un conductimètre? Pouvez-vous dessiner l'acide benzoïque? Si le pH augmente, la solubilité de l'acide benzoïque augmente, pouvez-vous expliquer cela? Autre application de la précipitation que le titrage par précipitation? Pouvez-vous expliquer le principe de la recristallisation?

### Agrégation 2014 - Note : 8/15

Comment expliquer à un élève que le système va évoluer jusqu'au  $K_s$ ? La conductivité de la solution de  $CaSO_4$  évolue au cours du temps, est ce spécifique à cette réaction? Pourquoi avoir étalonné ce conductimètre? Sur quel principe repose la purification par recristallisation? Expliquer à quelle étape intervient le moment dipolaire du solvant dans la dissolution. Expliquer à quelle étape intervient la permittivité relative du solvant. Existe-t-il d'autres façons de catégoriser les solvants? Y a t-il une utilisation des solutions saturées en chimie? Expliquer le principe de fonctionnement de l'électrode de référence. Comment connaître le potentiel au borne de l'électrode d'argent? Pourquoi ne pas avoir étalonné ce conductimètre? Écrire la réaction de solvolysse du chlorure de tertio-butyle, dans l'eau puis dans l'acétone. Écrire le monomère du styrène puis le polymère? Comment procède-t-on à la polymérisation du styrène? Quelle espèce utiliser dans le cas d'un mécanisme radicalaire?

### Agrégation 2014 - Note : 7/15

Questions : Pourquoi est-ce que l'on utilise toujours du NITRATE d'argent et pas un autre contre-ion? (Avec les halogènes ce n'est pas stable et en général on a sans doute des

problèmes de solubilité si ce n'est pas du nitrate; je ne sais pas s'il y a d'autres raisons.)  
Différence entre précipité et cristal? (L'un est amorphe, l'autre non.) Vraiment amorphe?  
(Non, microcristallin : localement organisé.) Vous avez dit que pour  $[A][B] = K_s(A/B)$ , on a  
l'existence du précipité, pourtant on peut avoir des phénomènes de sursaturation (dessin du  
potentiel, barrière cinétique, condition = être à équilibre thermodynamique) Méthodes pour  
titrer les ions chlorures (Mohr, Charpentier-Vollhardt, Fajans) Moment dipolaire du DMF  
vaut 5D, pourquoi? (aucune idée) Couleur de I<sub>2</sub> dans l'eau VS dans le cyclohexane? (solva-  
tochromie) Évolution de la solubilité des X<sub>2</sub> dans l'eau? (augmente de F<sub>2</sub> à I<sub>2</sub> : polarisabilité  
augmente) Dépendance de la solubilité des gaz avec la température (diminue quand T aug-  
mente) Exemple de solide plus soluble à froid? (calcaire après qu'il m'ait parlé de bouilloire)  
ODG de l'énergie des liaisons H? (30 kJ/mol) En fait ça va de 4 à 100 kJ/mol, expliquez  
(max pour deux atomes identiques O/O, N/N, après dépend de la géométrie, regarder les  
orbitales pour trancher, je ne suis pas sûr de ma réponse)

## LC29 : Cinétique électrochimique

### Retours d'oraux

#### Agrégation 2018 - Note : 20/20

Sur les trois examinateurs seuls deux ont posé des questions. La troisième a posé la ques-  
tion agir. Essentiellement sur les exploitations des courbes courant potentiel, sur le transport  
dans la solution (migration, convection, diffusion) sur le fait de savoir s'il faut agiter ou pas  
etc... Pourquoi le potentiel de Nernst d'une solution de sulfate de fer 2 et 3 n'est pas de  
0.77V? Comment peut on calculer le potentiel et l'intensité de corrosion? Comment faites  
vous la distinction couple lent rapide dans le cas où vous ne pouvez pas définir un potentiel  
de demi-vague? Concernant la préparation le potentiostat n'était pas interfacé du coup bah  
les préparateurs ont tout fait à la main. Les potentiostats sont moins bons que celui qu'on a à  
Montrouge notamment en terme de stabilité d'intensité. Question agir : comment convaincre  
une fille de pas se censurer en sciences?

# Chapitre 4

## Epreuve didactique - Agrégation spéciale docteurs

### Agrégation spécifique 2017 - Thèse en mécanique des fluides

Question : Comment présenterez vous la notion de bifurcation présente dans votre thèse à des étudiants de licences ?

J'ai choisi de répondre à la question directement avec la partie de ma présentation qui traite du sujet, en essayant de plus insister sur les définitions connexes à la notion de bifurcation. Auriez vous pu introduire la notion de bifurcation sur un exemple plus classique, plus simple ? Discussion sur les bifurcations fourches surcritique et sous-critique.

Plusieurs questions pour revenir sur le contenu scientifique, en gardant à l'esprit la volonté d'expliquer à des étudiants les notions mises en jeu. Comment expliquer la nature écrantée de l'interaction entre bille à des étudiants alors qu'aucune charge n'est là pour jouer le rôle d'écrantage justement ? Comment introduire la notion de soliton et d'onde solitaire à des étudiants de CPGE ? Quelles sont les propriétés spécifiques associées à ces ondes ? Comment pourriez vous définir à des étudiants la notion de fonction de corrélation à deux point ?

Des questions plus didactiques et pédagogiques. Qu'est ce que vous avez retiré de votre travail de vulgarisation, en accueillant trois lycéens durant une semaine ? Comment ce sont déroulés les projets encadrés au cours de vos enseignements de physique numérique ? Quelle capacité vous semble essentielle pour encadrer de tels projets ? Quel conseil principal pourriez vous donner à un collègue souhaitant les organiser ? Des étudiants viennent vous voir pour réaliser un TIPE en lien avec votre travail de thèse, sur quelle partie de votre travail les orienteriez vous ? Et comment pourriez vous les guider ? Le jury semblait attendre des réponses relativement précises sur l'aspect didactique, en demandant de rentrer dans le détail de la mise en situation avec les élèves.

Note : 16 Retour du jury : Le rapport a vraisemblablement été trouvé trop technique, trop proche d'un dossier de Maître de conf' et donc pas du tout assez didactique. Il faudrait peut être arriver à se concentrer sur une partie spécifique de sa thèse et faire un effort plus important de pédagogie et de didactique. La présentation a été considérée suffisamment pédagogique notamment pour la réponse à la question de préparation. Cependant ce point positif a tranché avec l'entretien avec le jury qui a montré un manque de recul sur certains points qui c'est ressenti sur la pédagogie des réponses. Les questions ont beaucoup porté sur

la capacité à présenter les concepts utilisés dans la thèse à des étudiants de premier cycle universitaire. Il faudrait donc essayer de réfléchir plus à l'avance à des explications simples et claires. Il faudrait aussi être préparé à la façon dont on présenterait les travaux de thèse à des étudiants souhaitant faire un TIPE sur le sujet, car cette question est tombé pour tout le monde. Finalement il me semble que la préparation faite à Montrouge sur la présentation et le rapport a été super utile pour ces points là. Je pense qu'il faudrait garder ce fonctionnement qui a bien marché. Le point qui a pu manqué correspond plus à un travail personnel sur la capacité à présenter clairement et simplement les concepts un peu délicats de la thèse.

## **Agrégation spécifique 2017 - Thèse en biophysique**

Question : expliquer le piégeage optique avec le formalisme CPGE 2ème année (j'ai travaillé avec un piège optique pendant ma thèse, mais ce n'était pas l'objet de ma thèse, je m'en servais pour tirer sur des molécules d'ARN) La question est donnée dans la bibli, possibilité donc de prendre des bouquins (manuel de prépa dans mon cas)

Comme j'avais ma présentation en pdf, j'ai préféré répondre à la question au tableau, plutôt que de bricoler un slide à la hâte et devoir changer de présentation. Comme j'avais un slide dédié à l'explication du piégeage optique dans l'approximation de l'optique géométrique, j'ai dit que l'autre limite était l'EMG, lien avec le programme de prépa, et j'ai fait qq schémas au tableau.... (et je n'ai pas détaillé l'optique géométrique). Donc finalement pas de problème pour l'intégration dans ce que j'avais prévu de dire.

Sinon les questions :

- pas mal de questions à propos de ma thèse (détails techniques, modèle utilisé, explication d'une expérience à un niveau lycée...)

- ouverture à partir de ma thèse : et le piégeage des atomes ?

- retour sur la question qui a été posé : vous avez répondu dans le programme de prépa, pouvez-vous aller plus loin ?

- quelques questions sur moi : de quand date la décision de devenir enseignante, quelles compétences en informatiques, vous avez parlé de ... dans votre dossier, pouvez-vous m'en dire plus ?

- quelques questions en lien avec les programmes de lycée et prépa : que pensez-vous des nouvelles approches adoptées, de la plus grande par donnée à la modélisation (informatique) ? vous avez parlé d'hystérésis, des phénomènes qui présentent une hystérésis dans les programmes de CPGE ?

## **Agrégation spécifique 2017 - Thèse en physique statistique**

Voici le plan de mon exposé : 5 minutes pour décrire mon parcours (études, stages, enseignement...), 20 minutes de didactique sur mon travail de thèse, 5 minutes sur mes compétences pour le métier d'enseignant.

Pour comprendre la suite de ce retour, j'ai fait une thèse de physique théorique en physique statistique quantique. J'ai étudié le lien existant entre un problème de matière condensée et des gaz d'atomes froids, en utilisant une technique appelée "groupe de renormalisation".

Voici la question à laquelle ils m'ont demandé de répondre : Comment exploiteriez-vous

l'interférence entre deux condensats de Bose-Einstein atomiques mentionnée dans votre dossier dans le cadre du programme de physique de CPGE seconde année voie PC ?

J'ai fourni une réponse au sein de ma partie "didactique". J'ai dit que l'on pourrait créer une analyse documentaire ou un devoir autour de cette expérience. Et j'ai expliqué (en faisant quelques schémas au tableau) que différents points du programme pouvaient être mobilisés pour comprendre l'expérience (interférences de deux faisceaux lasers contrapropageants pour créer une onde lumineuse stationnaire, interaction dipolaire entre les atomes et le champ électrique de cette onde, recherche des états stationnaires d'un double puits infini pour simplifier, interférences entre les deux condensats que l'on peut décrire par des fonctions d'onde). Je suis resté assez vague, en particulier sur l'origine des interférences (car la réalité est assez complexe), il faudrait proposer une modélisation approchée que je n'ai pas eu le temps de trouver pendant la préparation. Néanmoins répondre à cette question, même dans les grandes lignes, m'a pris pas mal de temps. Du coup j'étais en retard pour la suite, je n'ai pas pu finir ma troisième partie. Je conseille donc de bien prendre en compte la réponse à la question dans la durée totale lors des entraînements.

Pendant l'entretien, ils m'ont demandé de détailler certains points de la réponse à la question. La majorité des autres questions ont été du style : "Comment expliqueriez-vous telle chose à un étudiant de tel niveau?" En voici quelques-unes en vrac : Quel est le but de l'expérience sur laquelle vous avez travaillé pendant ce stage ? Comment expliquer à des élèves de lycée que l'on peut refroidir des atomes avec des lasers alors que normalement ça chauffe la matière ? Comment expliquer la notion de spin à des élèves de CPGE ? Que reprenez-vous des formations suivies pendant votre thèse qui puisse vous être utile pour enseigner ? Comment expliquer le concept de "symétries d'un modèle" ? Que conseillerez-vous à un élève qui veut se lancer dans une simulation numérique dans le cadre de son TIPE ?

Retour du jury : Ils ont aimé mon exposé qu'ils ont trouvé vivant et intéressant. Mais ils n'ont pas été convaincu par ma réponse à la question, je suis resté trop vague. Ils auraient préféré que je me concentre sur un aspect de l'expérience, et que je me montre précisément comment le traiter à ce niveau. De même, ils n'ont pas toujours trouvé pertinentes mes réponses à leurs questions pendant l'entretien. Elles manquaient de recul didactique. Il est vrai que j'ai eu des difficultés à proposer des explications simples aux différents concepts et phénomènes, et j'ai souvent botté en touche. Mon conseil pour les futurs étudiants est donc de travailler l'aspect didactique. C'est vraiment le point central de cette épreuve. Il ne suffit pas de faire un exposé compréhensible et intéressant, il faut chercher à détailler comment le travail de recherche peut être réutilisé dans un enseignement de lycée ou de CPGE et expliquer comment le rendre didactique. Il faut passer du temps là-dessus pendant l'exposé. De plus, il peut être intéressant de se préparer à expliquer les différents concepts que l'on aborde dans l'exposé à différents niveaux possibles. Enfin, il faut éviter au maximum les termes de jargon (même en les expliquant).

## **Agrégation spécifique 2018 - Note : 08/20**

La question du jury était : « Quelles réponses apporteriez-vous à un étudiant de licence qui vous demande quelles sont les manifestations en optique et en mécanique de la rugosité des surfaces ? ». J'ai répondu à la question au tableau à la fin de la présentation de mon travail de

thèse. J'avais déjà inclus des applications de ma thèse comme support de cours pour le lycée ou en CPGE et j'ai donc rajouté la réponse à la question à ce moment-là. Questions sur ma thèse : Comment expliquer à un élève que la rugosité ne dépende pas de façon linéaire de l'épaisseur du dépôt ? Pourquoi la rugosité suit elle une loi de puissance ? Questions sur la réponse à la question : j'ai parlé de la diffusion et des interférences (le jury m'a demandé de détailler un peu plus cette partie-là lors des questions) due à la rugosité d'une surface ainsi que de l'effet de rugosité en tribologie. Dans quelle partie du programme expliqueriez-vous aux élèves l'effet de rugosité en tribologie ? S'agit-il du coefficient de frottement dynamique ou statique ? Est-ce évident que deux surfaces lisses glissent l'une par rapport à l'autre ? Questions sur mon expérience en enseignement : vous avez donné des TPs et TDs en Angleterre, leur format est-il différent de ceux en France ? En quoi cette expérience pourra t elle vous aider pour enseigner en France ? Questions générales : pourquoi souhaitez-vous après plusieurs années de post docs devenir enseignante maintenant ? Quelles compétences acquises lors de votre doctorat et stage postdoctoraux vous semble les plus pertinentes pour le métier d'enseignant ?