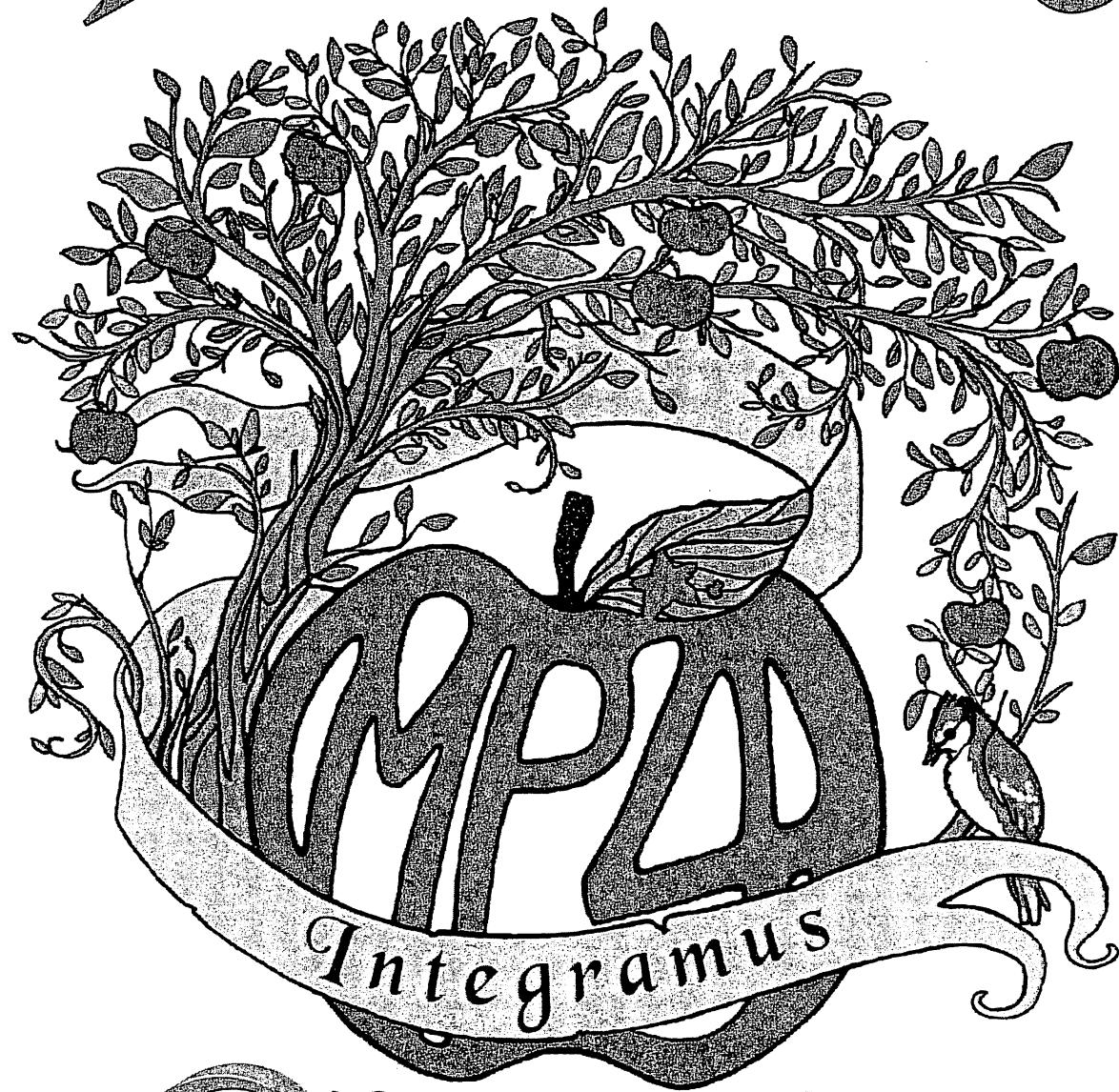


Physique



Chimie

Oraux 2018

# Écoles normales supérieures

## ENS1 Ulm Samuel Lerbet

On envoie selon l'axe  $Ox$  un flux de neutrons sur deux atomes séparés d'une distance  $d$ . Le potentiel est nul à distance plus grande que  $b$  des atomes ( $b \ll d$ ). On place un écran au-delà du second atome. Étudier le rapport des flux sur l'écran sans et avec les atomes à énergie incidente donnée.

L'idée était d'utiliser le courant de probabilité pour trouver des liens entre les coefficients des fonctions d'onde dans les zones de potentiel nul (du moins je crois, je n'ai pas vraiment fini l'exercice, ni même commencé en fait...). J'ai commencé par écrire l'équation de Schrödinger et j'ai dit qu'on pouvait tenter de donner une expression de  $V$  (au voisinage des atomes) et de résoudre. L'examinateur m'a répondu qu'on n'allait pas résoudre l'équation, puis m'a fait traiter le problème pour un atome. On définit des coefficients de transmission et réflexion,  $r$  et  $t$ , par  $\phi(x) = e^{ikx} + re^{-ikx}$  à gauche de l'atome et  $\phi(x) = te^{ikx}$  à droite. L'examinateur m'a demandé une propriété générale de l'équation de Schrödinger et rétrospectivement, je crois qu'il s'agissait seulement de la linéarité; finalement, il m'a fait justifier physiquement que le coefficient d'entrée pouvait être choisi égal à 1 car le problème est inchangé si l'on multiplie le flux par 2. On est revenu au problème à deux atomes et dans les zones avant le premier atome, entre les deux atomes et après le deuxième atome, on peut écrire respectivement :

$$\begin{aligned}\phi(x) &= e^{ikx} + \rho_1 e^{-ikx} \\ \phi(x) &= \tau_1 e^{ikx} + \rho_2 e^{-ikx} \\ \phi(x) &= \tau_2 e^{ikx}\end{aligned}$$

On voulait exprimer les coefficients  $\rho_1$ ,  $\tau_1$ ,  $\rho_2$  et  $\tau_2$  en fonction des  $r$  et  $t$  précédents. Pour m'aider, il m'a fait envisager une expérience de pensée : on suppose qu'on envoie sur un atome un flux incident à gauche et à droite. Cela se traduit par :

$$\begin{aligned}\phi(x) &= e^{ikx} + r_1 e^{-ikx} + t_2 e^{-ikx} \\ \phi(x) &= e^{-ikx} + t_1 e^{ikx} + r_2 e^{ikx}\end{aligned}$$

où les indices 1 signalent une arrivée gauche  $\rightarrow$  droite et les indices 2 une arrivée droite  $\rightarrow$  gauche. Il m'a demandé ce qui se passait en termes de flux et je lui ai dit que les flux étaient égaux. Il a acquiescé et c'est là que j'ai compris qu'il fallait utiliser  $J$  (au bout de 55 minutes d'oral...). Cela donne des relations sur les modules des coefficients et une condition de conservation du nombre de neutrons (qui vient de moi et est donc sans doute fausse physiquement, mais qui donnait la bonne relation) fournit  $1 = |t_1|^2 + |r_1|^2$ . L'oral s'est terminé là.

*J'ai vraiment perdu beaucoup de temps parce que j'ai pensé assez tôt à utiliser  $J$  mais l'examinateur avait l'air de suggérer d'utiliser des relations de passage. Je comprends à présent qu'il s'agissait de telles relations pour  $J$ , du moins je crois. En outre, l'examinateur avait l'air de considérer les coefficients  $r$  et  $t$  du cas à un atome comme connus, ce qui m'a perturbé tout au long de l'oral; je pense qu'ils sont déterminables à l'aide de  $J$ .*

## ENS2 LCR Hugo Marchand

On étudie une onde électromagnétique progressive transverse dont les composantes du champ électrique sont  $E_x = E_x^0 \cos(\omega t - kz)$  et  $E_y = E_y^0 \cos(\omega t - kz + \varphi)$ .

1. Décrire l'évolution temporelle du champ dans le plan  $z = 0$ . Étudier la polarisation (cas particuliers...).

L'examinateur a voulu me faire écrire l'équation de l'ellipse en coordonnées  $(x, y)$  pour  $\varphi$  quelconque... puis a finalement abandonné devant la difficulté évidente du calcul.

2. On place maintenant un polariseur dont l'axe de transmission fait un angle  $\alpha$  avec l'axe  $x$ , suivi d'un analyseur dont l'axe de transmission fait un angle  $\beta$  avec l'axe  $x$ . Un récepteur mesure l'intensité lumineuse au-delà de l'analyseur.

On ajoute entre polariseur et analyseur une lame qui entraîne un déphasage (retard) de  $\phi$  pour la composante  $E_x$  par rapport à la composante  $E_y$ . Calculer l'intensité mesurée. On peut supposer  $E_x^0$  ou  $E_y^0$  nul pour alléger les calculs.

## ENS3 LCR Baptiste Collet et Arthur Schichl

### Énoncé

On étudie une balle parfaitement élastique que l'on lance et qui rebondit sans glissement sur le sol et le plafond. Montrer que la balle peut revenir au lanceur.

### Oral version 1

Je fais un schéma avec la force de réaction normale instantanée  $R$  et la tangentielle  $T$ . Je commence par écrire la conservation de l'énergie. J'explique que lors du rebond la vitesse verticale passe de  $v$  à  $-v$ .

Puis j'écris la condition de non glissement prolongé entre 2 solides après le choc,  $r\Omega = v_x$ . L'examinateur, taciturne jusqu'alors, me fait remarquer que c'est idiot car, par symétrie temporelle de la mécanique, on devrait avoir la même relation avant le choc. Mon écriture de non glissement n'est valable que pour un contact prolongé, voilà mon erreur. Je commence à me sentir seul.

Nouvelle tentative : La situation au choc vérifie la condition et est la moyenne de juste avant et après. Nouveau refus de l'examinateur. Je me sens très seul.

Je mets en lumière d'autres possibilités : s'il y avait glissement et qu'un coefficient d'Amontons Coulomb  $\mu$  existait je pourrais écrire  $Tdt = \mu Rdt$  et conclure. L'examinateur me dit que ce n'est pas faux, mais que ce n'est pas le problème traité, sans me dire d'essayer de l'adapter alors que c'est proche de la solution. La fin approche et m'opresse.

Je propose le théorème du moment cinétique au point de contact (le moment de toutes les forces est nul en ce point). Le moment cinétique est calculable en fonction de la vitesse de translation et de rotation, ce qui ferait une équation en plus de l'énergie et conclurait. Il me demande de faire le calcul, je réponds que je ne sais pas calculer ce moment cinétique. Il me répond de chercher une autre solution. Il me laisse dans mon marasme encore quelques minutes.

Puis, quand la fin arrive, il me dit que je sais exprimer  $R$ , je lui réponds  $2mv_y/\delta t$ . Il me dit de faire pareil avec  $T$ , ce qui me semble étrange puisque je ne connais ni  $\Delta v_x$  ni  $\Delta\Omega$  ni  $T$ , mais je m'exécute puis je comprends  $T\delta t$  sert d'intermédiaire reliant linéairement les deux variations par  $m\Delta v_x = T\delta t = J\Delta\Omega/r$ . Avec l'énergie, la fin de l'exercice s'ouvre à moi mais l'oral est fini ; pas le temps de conclure.

### Oral version 2

On néglige les frottements fluides et l'influence du poids sur le mouvement de la balle, la partie importante de l'exercice étant la modélisation des chocs entre la balle et la paroi. L'examinateur était constructif, mais donnait peu d'indices. Il disait qu'il s'intéressait surtout à ma réaction vis à vis de cet exercice.

Après un quart d'heure de réflexion infructueuse, j'ai eu l'idée de procéder comme pour la définition du dipôle électrique et de poser  $Tdt = C^{te}$ , où  $T$  est la norme de la force de contact tangentielle. L'examinateur m'a dit de poursuivre.

J'ai fait apparaître ce terme à la fois dans la loi de la quantité de mouvement et la loi du moment cinétique, afin de relier la variation de la vitesse à celle de la vitesse de rotation au cours du choc. Sachant que la balle ne glisse pas sur les parois, une seconde équation est alors fournie par le théorème de l'énergie cinétique, ce qui permettra de conclure. L'oral s'est arrêté là.

## ENS4 LCR Elsa Deville

On représente un mammifère par une boule de rayon  $R$  plongée dans un fluide (de l'eau, ou de l'air). On appelle  $p$  la puissance volumique libérée par la boule. On se place en coordonnées sphériques. On considère que la température à l'infini vaut  $T = 20^\circ\text{C}$ . Expliquer pourquoi il n'existe pas de petits mammifères (en sachant que les mammifères sont des animaux à sang chaud).

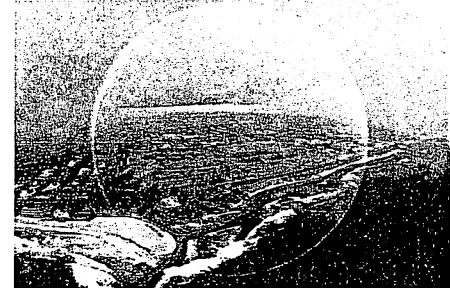
Données : Conductivité thermique de l'eau ( $0,60 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) et de l'air ( $0,025 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ), température de la peau ( $30^\circ\text{C}$ ), rayon utilisé pour un être humain  $R = 25 \text{ cm}$ .

*L'examinateur était très gentil ! Mais j'ai été vraiment surprise par l'exercice, parce qu'il n'est pas très difficile. Du coup je me demande si je n'ai pas raté quelque chose, ou si j'ai trop simplifié le modèle !*

## ENS5 LCR Akim Viennet

### Arc en ciel

L'énoncé était une petite photo noir et blanc montrant deux arcs en ciel concentriques vus d'avion. Il était demandé d'expliquer le phénomène, de calculer les rayons angulaires des différents arcs, de parler des éventuelles couleurs (non visibles sur la photo), d'expliquer la différence de luminosité entre les différentes zones... bref, dire tout ce qu'on pouvait à partir de la photo.



### Déroulement

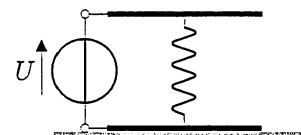
L'oral à plutôt bien commencé, j'ai essayé de me souvenir du devoir d'optique sur l'arc-en-ciel qu'on avait fait et ai expliqué la présence d'arcs circulaires avec le minimum de déviation, puis on a discuté de dispersion, d'ordre des couleurs selon l'arc qu'on considère, l'examinatrice a paru très satisfaite.

Ensuite elle m'a demandé de mettre tout ça en équation pour obtenir les rayons angulaires et la largeurs des franges colorées ; ça s'est alors corsé. Après m'être plusieurs fois embrouillé sur les angles et les différentes relations à différencier, j'ai laborieusement obtenu les dites formules. Je me suis alors encore d'avantage mélangé les pinceaux en discutant des différences de luminosité (type bande sombre d'Alexandre) et l'oral s'est terminé sur une mauvaise impression.

*Examinatrice sympathique qui entamait facilement le dialogue et prenait d'abondantes notes sur ce que je disais, sans infirmer ni confirmer mes propos. Elle me posait des questions mais ne m'a presque jamais guidé, regardant comment je réagissais, j'ai ainsi perdu beaucoup de temps sur des choses simples.*

## ENS6 Ulm Katia Jodogne-del Litto

Une plaque métallique est reliée par un ressort vertical isolant à une plaque identique, placée en dessous, collée sur une table. On les relie avec un générateur qui délivre une tension  $U$ . On part d'une tension nulle, et on l'augmente très lentement. Que se passe-t-il ?



Je commence par définir les grandeurs du problème, la constante de raideur, la masse de la plaque, sa charge. J'applique la loi de la quantité de mouvement à la plaque et j'écris l'équation qui caractérise le condensateur. On néglige la dérivée de  $U$ , et donc l'accélération de la plaque mobile et on obtient, en combinant les équations, une relation entre  $x$  (distance entre les plaques) et  $U$ . L'examinateur me fait remarquer une erreur sur l'expression de la force électrostatique (écrite comme si il s'agissait de deux points). Je corrige en utilisant le champ créé par une plaque infinie, expression qu'il me demande de justifier rapidement. Il me demande aussi de justifier l'expression de la capacité. Une fois arrivé là, on a un polynôme de degré 3 en  $x$ , ce qui permet uniquement de remarquer que la plaque va s'abaisser si  $U$  augmente.

Il me suggère alors de regarder l'énergie du système {plaques, ressort}. Après une erreur dans l'expression de l'énergie du condensateur, l'examinateur me fait remarquer l'inhomogénéité et me demande de la corriger par analyse dimensionnelle. J'applique le théorème de l'énergie mécanique, toujours en négligeant la dérivée de  $U$ , et on trouve une énergie mécanique qui à  $U$  fixé, correspond à l'énergie dans un problème de mécanique du point à une dimension. Je trace donc l'énergie potentielle apparente pour différentes valeurs de la tension  $U$ . On constate que pour  $U$  assez faible il y a une position d'équilibre stable, et qu'il n'y plus de positions d'équilibres pour  $U$  trop grand. Pour déterminer  $U_{\text{critique}}$ , l'examinateur me fait remarquer qu'il y a, pour cette tension, une position d'équilibre avec une dérivée seconde nulle.

Pour finir, il me pose des questions sur l'approximation des petites oscillations autour d'une position d'équilibre stable, comment je peux trouver leur pulsation, comment celle-ci évolue quand on se rapproche de  $U$  critique, et le profil de  $x$  en fonction du temps si on augmente très rapidement  $U$ .

*L'examinateur était très sympathique, il m'a fait remarquer mes erreurs de calcul pour que je les corrige, il m'a souvent demandé des précisions sur ce que j'avais fait ou de redémontrer rapidement les résultats utilisés, et m'a fait faire beaucoup de tracés qualitatifs.*

## ENS7 LCR Nataniel Marquis

### Avance du périhélie de Mercure

On considère une particule de masse  $m$  soumise à une force dérivant du potentiel  $U(r) = -\alpha/r$ . On rajoute un terme correctif  $\delta U(r) = \beta/r^2$ . Étudier le décalage du périhélie de l'orbite. On s'intéressera notamment au cas de Mercure autour du Soleil. (Exercice similaire à ENS2 du poly de 2017.)

Ayant fait l'exercice deux semaines auparavant en préparation aux oraux, je commence par introduire le vecteur  $\vec{E} = L\vec{v}/\alpha - \vec{u}_\theta$  dont on peut prouver qu'il est constant pour le mouvement sans terme correctif. Ce vecteur indique la direction du périhélie de l'ellipse. Puis je calcule la dérivée de ce vecteur dans le cas du terme perturbatif, pour étudier ainsi la variation du périhélie. Je décide de considérer que  $\beta/r \ll \alpha$  pour pouvoir intégrer la dérivée de  $\vec{E}$  sur la trajectoire elliptique. L'oral bifurque alors puisque l'examinateur me demande de trouver d'où viennent les termes correctifs dans le cas de Mercure, ainsi que le caractère non parfaitement elliptique de la trajectoire. Je parle d'abord de la non-sphéricité de Mercure, puis me rend compte qu'elle entraîne seulement un couple de force qui synchronise les rotations. Puis, me vient l'idée de l'attraction des autres planètes. Bonne réponse pour la forme de la trajectoire mais l'examinateur me dit que cela ne justifie pas le terme correctif. Je lui parle de la non-sphéricité du Soleil. Il me demande de l'expliquer elle aussi (par des termes d'inertie). L'oral se clôture sur un calcul de l'équation de l'ellipse où il a absolument voulu me faire repasser par les lois fondamentales, afin d'obtenir une équation différentielle sur  $u(\theta) = 1/r(\theta)$ .

*Un examinateur assez discret, qui ne prenait pas l'initiative du dialogue, mais qui faisait néanmoins avancer l'exercice.*

## ENS8 LCR Katia Jodogne-del Litto

### Pouvoir de résolution d'un réseau

Soit un réseau à  $n$  traits/mm. Déterminer  $n_{\text{minimum}}$  pour résoudre le doublet jaune du sodium.

J'écris la formule des réseaux, l'examinateur me demande de la redémontrer, et il pose beaucoup de questions sur le principe du retour inverse de la lumière, je n'ai pas trop compris où il voulait en venir. C'est ensuite que ça se gâte : je démontre la forme de l'intensité avec la fonction de réseau mais je m'embrouille sur les échelles et je panique, je n'arrive pas à relier la demi-largeur à la base en fonction de la phase et celle en fonction de l'angle.

*Bilan : globalement l'examinateur ne parlait pas beaucoup. Mais c'est dans le cours, et je ne savais plus rien faire... Mea culpa.*

## ENS9 LCR Romain Phan

### Polarisabilité de l'atome d'hydrogène

On considère le modèle suivant : le noyau est une boule chargée uniformément, de rayon  $a_0 = 50 \text{ pm}$ . L'électron est au centre de la boule.

1. On écarte l'électron du centre d'une distance  $r < a_0$ . Que se passe-t-il ? Ordres de grandeur ?
2. L'électron est replacé au centre. On applique un champ électrique  $\vec{E} = E_0 \vec{u}_x$ .  $E_0$  est faible (justifier a posteriori). Que se passe-t-il ?

### Déroulement de l'épreuve

1. Le champ électrique est proportionnel à  $\vec{r}$  : la force est de la forme  $-m\omega^2\vec{r}$ . L'examinateur m'a fait calculer l'ordre de grandeur de  $\omega$  ( $\sim 10^{-17} \text{ rad s}^{-1}$ ). Il a ensuite voulu me faire comprendre que le mouvement n'était pas infini : on a un dipôle oscillant, perte d'énergie... Il me donne la formule du champ magnétique créé à grande distance par un dipôle. Je calcule la puissance moyenne rayonnée en  $\omega^4$  et je conclus : l'électron revient très rapidement à sa position d'équilibre.
2. On trouve une nouvelle position d'équilibre stable pour l'électron. L'atome forme un dipôle.

## ENS10 LCR Nissim Maruani

### Mission to Mars

Un vaisseau part de la terre en pointant vers mars. Quand la force d'attraction terrestre devient négligeable devant celle du soleil (calculer) le vaisseau coupe les moteurs et passe à la voile qui fonctionne grâce au rayonnement solaire : onde monochromatique incidente de polarisation rectiligne totalement réfléchie. Calculer la vitesse d'impact à l'arrivée sur Mars.

Données :

- surface de la voile,
- intensité surfacique du rayonnement solaire au niveau de la terre,
- masse du soleil,
- masse du vaisseau,
- distance terre soleil,
- relations de passage pour un conducteur,
- masse du chihuahua moyen.

J'ai trouvé l'énoncé assez flou et rempli de données inutiles. (Quelle vitesse a le vaisseau au moment où les moteurs s'arrêtent ? Pourquoi donner les relations de passage ? Pourquoi se compliquer l'existence si on donne d'emblée l'intensité reçue ? On néglige l'attraction de mars à quel point ?). Examinatrice pas très sympathique (apparemment il faut être « stupide » pour ne pas considérer que la seule trajectoire possible c'est un segment entre la Terre et Mars qui sont bien sûr immobiles comparés à la vitesse du satellite).

Elle m'a fait calculer la pression de radiation avec des photons (pour vérifier l'intensité I) puis la loi de Newton pour voir la différence de vitesse entre le moment où les moteurs s'arrêtent et l'impact.

Elle m'a demandé pourquoi le flux de la puissance surfacique du soleil sur toute sphère est constante, j'ai répondu « par analogie avec le théorème de Gauss » (oopsy daisy).

## ENS11 Ulm Adrien Lemercier

### Magnétorésistance

On considère un conducteur électrique cylindrique plein. Une tige selon l'axe constitue une électrode et la surface du cylindre l'autre électrode. On se place en régime stationnaire.

1. Trouver la loi  $U(I)$ .
2. On place maintenant le tout dans un champ magnétique uniforme permanent orienté selon la direction de l'axe du cylindre. Même question.

### Déroulement

Je suis lent pour faire la première question (multiples petites erreurs) mais j'y arrive sans aide de l'examineur. Il m'a juste demandé de vérifier l'homogénéité d'une formule fausse.

Pour la seconde question, je ne vois pas comment faire, et l'examineur me demande alors comment adapter la formule  $\vec{j} = -\gamma \text{grad } V$ . Comme je ne vois pas, il me demande comment trouver l'expression de  $\gamma$  sans champ magnétique. Je refais le raisonnement du cours qui exprime  $\gamma$  dans le cas d'une onde harmonique puis je prends une pulsation nulle. Il ne s'attendait pas à ça et du coup je crois que cela ne m'avancait pas beaucoup de l'avoir fait... Puis je transforme la loi de la quantité de mouvement appliquée à un électron (en tenant compte de la force de Drude) en sommant sur tous les électrons d'un volume élémentaire. Je me trompe (j'oublie un facteur  $q$  (charge de l'électron) au passage. Il me demande si on retrouve la formule précédente, sans le champ magnétique, et je constate qu'il manque effectivement un facteur  $e$ . Il me fait alors reprendre l'écriture de la loi de la quantité de mouvement et cette fois j'ai ce qu'il faut. On revient au problème, et il me demande ce qu'on peut dire sur  $j_r$ . Je réponds qu'il est de la forme  $C/r$ , je ne vois pas ou ça mène. Puis il me demande la même chose pour  $E_r$ . Je décompose alors tout selon  $\vec{u}_r$  et  $\vec{u}_\theta$  et j'obtiens deux équations, mais il manque une équation pour conclure. Il me fait alors appliquer la loi de Maxwell-Faraday sur un cercle, ce qui montre que  $E_\theta$  est nul et l'oral s'arrête là.

## ENS12 LCR Adrien Lemercier

### Fuite de gaz

Un récipient avec un tout petit trou contient initialement du gaz sous une pression de 700 bar. Il est dans un milieu à température ambiante. Décrire l'évolution de la pression dans le récipient.

### Déroulement

Ma première tentative échoue. Puis j'essaie d'exprimer la vitesse du gaz éjecté par analyse dimensionnelle. Par mégarde j'écris au tableau  $[pression] = [\text{énergie}]/[\text{volume}]^3$  alors que tout avant était juste. L'examinateur passe alors son temps à me demander les dimensions de plein de constantes physiques. Puis il m'interroge sur la pression. Je lui réponds que c'est la force exercée par un gaz par unité de surface sur une paroi (transfert de quantité de mouvement lors d'un rebond). Il me dit « Alors à l'intérieur du récipient, la pression est nulle ? » Je lui réponds que non, que ce serait la force par unité de surface que subirait de chaque côté une paroi placée là. Il me dit que c'est faux. Je confesse ne pas connaître de meilleure définition de la pression.

A cause de tout ça, j'ai à peine eu le temps d'établir mon équation issue de l'analyse dimensionnelle, qui s'avère fausse.

## ENS13 Ulm Erwan Roverc'h

### Évaporation de l'eau

Calculer le taux d'évaporation d'une flaque d'eau (on dispose de valeurs numériques pour la pression de vapeur saturante de l'eau à différentes températures).

### Déroulement

L'examinateur, après avoir prévenu que l'oral prendrait la forme d'une discussion, commence par me demander d'expliquer l'énoncé, puis de quels paramètres pourrait dépendre le résultat. Je propose ensuite d'étudier l'équilibre thermodynamique de l'évaporation de l'eau, puis la diffusion de la vapeur d'eau dans la phase gazeuse.

Il me dit de me placer dans le cas d'un air saturé en eau et de calculer le nombre de particules passant de la phase gazeuse à la phase liquide par unité de temps (thermodynamique statistique, je voulais utiliser un modèle de marche aléatoire mais en fait ce n'était pas la peine).

L'examinateur me demande ensuite de revenir au cas d'un air complètement sec et de déduire des calculs précédents un modèle de l'évaporation : je fais l'hypothèse que le flux de particule liquide → gaz qui dans le cas d'un air saturé compensait le phénomène inverse subsiste ici, on en déduit donc la vitesse d'évaporation dans le cas d'un air sec. Je fais remarquer qu'on obtient une équation de relaxation en prenant en compte l'accumulation de vapeur d'eau, mais l'examinateur ne souhaite s'intéresser qu'au cas où l'air reste sec (air ventilé par exemple).

Il me demande alors d'évaluer numériquement la vitesse trouvée, puis la puissance nécessaire (discussion sur les ordres de grandeur et les hypothèses faites).

On considère dans la suite que le système est thermostaté, c'est donc la source de chaleur qui fournit la puissance nécessaire à l'évaporation. L'examinateur me dit qu'on va s'intéresser au « temps mis par la chaleur pour diffuser et évaporer la flaque » (je n'ai pas compris ce que ça voulait dire sur le moment, donc j'ai un peu tâtonné jusqu'à la quasi-fin de l'oral). On considère dorénavant une goutte sphérique qui s'évapore : je parle de temps caractéristique de diffusion parce que je ne sais pas vraiment ce qu'il attend (spoiler : pas ça), puis j'écris l'équation de diffusion pour la goutte, dont il me dit qu'on peut considérer la température uniforme. On discute sur cette équation et sur la loi de Newton, puis l'oral s'achève (je ne sais d'ailleurs toujours pas où était le thermostat dans ce modèle...).

*L'examinateur était très sympathique et impliqué dans l'oral, paraissant légitimement intéressé par mes démarches et calculs. J'ai eu l'impression d'avoir eu une véritable discussion scientifique que j'aurais bien aimé continuer.*

## ENS14 LCR Erwan Roverc'h

### Expérience d'Eötvös

On vérifie l'équivalence masse inertielle/masse gravitationnelle avec un pendule de torsion. On considère une tige avec deux boules différentes, mais de même masse gravitationnelle aux deux extrémités. La tige est suspendue en son milieu à un pendule de torsion vertical. On mesure la position angulaire à l'équilibre, puis on échange les deux masses et on recommence. À partir de la différence  $\Delta\theta$  des deux positions d'équilibre, donner la conclusion de l'expérience.

*Ces informations étaient noyées dans un texte de presque une page avec beaucoup de données inutiles.*

### Déroulement

Je commence par demander si on définit la verticale à partir du champ de pesanteur et l'examinatrice me répond juste « oui » (j'aurais déjà dû me méfier parce que la définition est bancale sans le postulat d'équivalence mais bon...).

Là, déjà, je suis embêté parce que, avec cette verticale, je me dis que les forces d'entraînement ne vont rien faire (a posteriori, je me suis rendu compte que mon raisonnement était un peu absurde). Ne sachant pas trop quoi faire, je pars sur du Coriolis pour meubler. Après moult calculs, l'examinatrice me fait remarquer qu'en statique Coriolis est nul et je lui explique mon problème. S'ensuit un dialogue un peu déroutant (et assez évocateur de *Oraux 2017 MP\*4 MP5.I*) :

« Vous auriez dû vous intéresser plutôt aux forces d'entraînement.

- moi : Mais vu que le pendule est parallèle au champ de pesanteur, elles ne vont exercer aucun moment.
- Mais de toute façon le champ de pesanteur est toujours orienté selon l'axe passant par le centre de la Terre !
- moi : Ah... »

Une fois la définition au programme enterrée, je recommence, et on arrive à un autre écueil à la fin du calcul : j'avais cru lire dans le texte que la position d'équilibre du pendule correspondait à la barre parallèle au méridien, et j'avais choisi mon paramètre angulaire en conséquence, en prenant soin de signaler oralement mon choix au moins 5 fois au cours de l'oral. Sauf que l'expérience ne peut pas marcher comme ça, et donc soit j'ai mal lu, soit l'énoncé était faux.

Toujours est-il que ma formule finale ne me plaisait pas et l'examinatrice m'a dit « Je n'ai pas suivi vos projections, mais elles sont fausses » alors qu'elles étaient correctes.

J'ai donc conclu avec la bonne formule, puis discussion sur le résultat et les sources d'erreur.

### Bilan

Cet oral était globalement un fiasco sur le plan physique et communicationnel ; j'ai vraiment l'impression que l'examinatrice n'écoutes absolument rien de ce que je disais, d'où beaucoup de difficultés sur un exercice pourtant franchement simple.

Je m'attendais à une note inférieure à celle que j'ai obtenue...

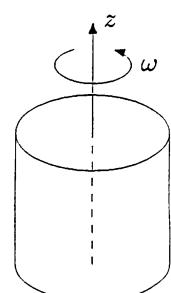
## ENS15 LCR Caroline Adamy

On considère un cylindre (plein) d'axe Oz, de conductivité électrique  $\gamma$ , de rayon  $R$ , de hauteur  $h$ . Il est plongé dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B} = B_0 \vec{u}_z$ . Il est immobile pour  $t < 0$  et on le fait tourner autour de son axe à la vitesse angulaire constante  $\omega$  pour  $t > 0$ . On admet l'expression de  $\vec{j}$  dans le cylindre :  $\vec{j} = \gamma (\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$ .

1. Calculer  $\rho(t)$ .

L'examinateur m'a demandé de préciser les valeurs de  $\rho_0$ ,  $\rho_\infty$  et aussi d'interpréter qualitativement ce qui se passait une fois le cylindre en mouvement. Il voulait que je dise qu'une densité de courant superficielle se créait et m'a alors demandé de la déterminer.

2. Calculer les forces de Laplace subies par le cylindre.



## ENS16 LCR Myriam Levy

### Énoncé

On considère un pendule simple astreint à se déplacer dans le plan *Oxy*. Il est constitué d'une tige rigide de masse négligeable au bout de laquelle est attachée une masse  $m$ . On impose au point d'attache A un mouvement d'oscillations tel que  $y_A = -a \cos(\omega t)$ . Étudier les positions d'équilibre.

### Déroulement

J'ai passé beaucoup de temps à faire des raisonnements peu pertinents puisque j'ai d'abord pensé que la tige et la masse allaient simplement osciller verticalement (bien qu'il y ait le mot « pendule » dans l'énoncé). Après m'avoir fait comprendre que le mouvement était plus complexe, l'examinateur m'a fait écrire l'énergie potentielle et l'énergie cinétique de la masse. Il y a ensuite eu une discussion sur la manière classique de chercher des positions d'équilibre (extrema de l'énergie potentielle) et pourquoi cela n'allait pas fonctionner ici (l'énergie potentielle dépend explicitement du temps). L'examinateur m'a ensuite demandé d'écrire l'équation du mouvement. Il m'a dit que je n'y arriverais pas avec l'énergie (c'est possible mais je ne connais pas la méthode), j'ai donc commencé à appliquer le théorème du moment cinétique mais l'oral touchait à sa fin et je n'ai pas fini les calculs (*un peu longs par ailleurs, je les ai refaits après l'oral*).

## ENS17 LCR Samuel Lerbet

On s'intéresse à un gaz qui vérifie l'équation d'état  $PV = RT + \left(b - \frac{a}{T}\right)P$  ( $b$  et  $a$  petits numériquement) pour  $n = 1$  mol.

1. Déterminer  $U(T, P)$ ,  $H(T, P)$ ,  $S(T, P)$  et  $G(T, P)$  puis  $C_V$  et  $C_P$ .
2. On effectue une transformation monobare monotherme brutale. Déterminer le travail et le transfert thermique correspondant. Commenter.

Indication : pour une transformation quasi-statique  $\delta Q = C_V dT + T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dV$ .

*L'examinateur m'a laissé m'empêtrer dans les calculs sans donner d'indications, ce qui fait que lorsque l'oral s'est fini, j'étais le seul à avoir parlé. Attention : d'abord exprimer  $U(T, V)$  puis  $U(T, P)$ .*

## ENS18 LCR Alvaro Arenas

### ENS18.I Exercice

On considère une planète d'hydrogène. Quelle est la masse critique à partir de laquelle l'hydrogène s'ionise ?

### ENS18.II Question qualitative

On fait flotter une bougie dans un verre rempli d'eau de sorte que la partie supérieure de la bougie soit au même niveau que la surface de l'eau (pour cela, on place un clou dans la partie inférieure). On brûle la bougie, que se passe-t-il ?

### Déroulement de l'épreuve

*Grève et panne de RER, 10 minutes en retard... L'examinateur, très sympathique, m'a laissé deux minutes pour reprendre mon souffle. L'exercice, original, m'a beaucoup intéressé. L'examinateur ne m'a donné aucun indice mais j'ai l'impression d'avoir bien avancé.*

Une fois obtenue la pression sur l'hydrogène en fonction du rayon et le rayon critique à partir duquel l'atome s'ionise (il ne me restait plus qu'à étudier l'influence de la pression sur le « rayon » de l'atome), l'examinateur m'a interrompu pour passer à la question qualitative.

*Encore une fois, l'exercice m'a paru très original et intrigant.*

Dans un premier temps j'ai dit que, quand la bougie fond, la densité du système « bougie + clou » augmente donc la bougie coule. L'examinateur m'a dit que le raisonnement était correct mais qu'il y avait un paradoxe ; quand on fait l'expérience, la bougie monte. J'ai essayé de donner plusieurs arguments, chacun plus tordu que le précédent, et aucun ne l'a convaincu. *J'attends encore une explication.*

## ENS19 LCR Gabriel Belouze

### Effets thermoélectriques

Un corps peut être conducteur thermique (une température non uniforme entraîne l'existence de courants thermiques  $\vec{j}_{\text{th}}$ ) ou conducteur électrique (un potentiel non uniforme entraîne l'existence de courants électriques  $\vec{j}_{\text{el}}$ ). Dans le cas où il est à la fois conducteur électrique et thermique et soumis à la fois à une température et un potentiel non uniformes, on observe un couplage entre les phénomènes qui se traduit par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \vec{j}_{\text{el}} = \alpha \overrightarrow{\text{grad}} T - \gamma \overrightarrow{\text{grad}} V & (1) \\ \vec{j}_{\text{th}} = \beta \overrightarrow{\text{grad}} T - \delta \overrightarrow{\text{grad}} V & (2) \end{cases}$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  sont des caractéristiques du matériau et dépendent *a priori* de la température. Une étude théorique permet de montrer que  $\delta = \alpha T$ . Le matériau est donc entièrement caractérisé par les 3 coefficients  $\alpha, \beta, \gamma$  (fonctions de la température).

1. Pourquoi peut-on qualifier  $\alpha$  de coefficient de couplage thermoélectrique ?
2. Étudier la situation où la température du matériau est uniforme. Quelle loi retrouve-t-on ? Quelle est la signification de  $\gamma$  ?
3. On se place dans le cas où  $\vec{j}_{\text{el}} = \vec{0}$  (par exemple un conducteur filiforme formant un circuit ouvert ou branché sur un voltmètre de grande impédance).
  - (a) Exprimer  $\vec{j}_{\text{th}}$  en fonction de  $\overrightarrow{\text{grad}} T$ . Quelle loi retrouve-t-on ? Exprimer la conductivité thermique en fonction de  $\alpha, \beta, \gamma$ .
  - (b) Un fil conducteur MN a ses extrémités à des températures différentes  $T_M$  et  $T_N$ . Montrer qu'il existe une différence de potentiel à mettre sous la forme  $V_N - V_M = \int_M^N f(T)dT$  (effet Seebeck).
  - (c) Thermocouple : on utilise deux matériaux A et B que l'on soude en M et N (voir le dessin). Montrer que le voltmètre indique une différence de potentiel ne dépendant que des températures  $T_M$  et  $T_N$  (et de la nature des matériaux). Utilisation possible du système ?
4. Deux fils de matériaux différents A et B sont soudés en M (voir dessin) et maintenus à température uniforme  $T_0$  (au moins au voisinage de M). On impose le passage d'un courant d'intensité  $I$ .
  - (a) Montrer qu'il existe une puissance thermique proportionnelle à  $I$  échangée avec l'extérieur au niveau de la soudure (effet Peltier).
  - (b) Calculer la puissance électrique fournie.
  - (c) Calculer l'efficacité.

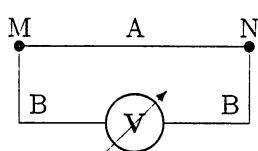


Figure 1

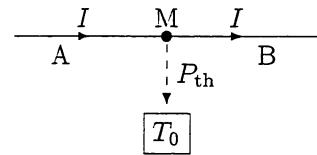


Figure 2

## ENS20 LCR Sibylle Marcotte

### Effets thermoélectriques

Sans doute le même exercice que ENS20. La formulation des équations initiales était

$$\begin{cases} \vec{j}_{\text{el}} = -\gamma \overrightarrow{\text{grad}} V + S \vec{j}_{\text{th}} & (1) \\ \vec{j}_{\text{th}} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T + P \vec{j}_{\text{el}} & (2) \end{cases}$$

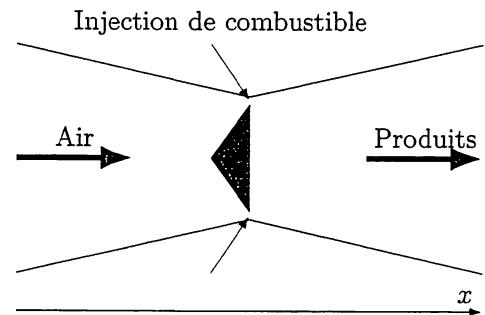
et on étudiait le système de la figure 2 dans le cas où les deux fils étaient caractérisés par les mêmes valeurs des coefficients  $\lambda$  et  $\gamma$ .

# ENS21 Ulm Akim Viennet

## Réacteur d'avion

L'examinateur dessine au tableau le principe de fonctionnement d'un réacteur d'avion (voir schéma), c'est-à-dire un conduit dont la section diminue jusqu'à un étroit minimum, avant d'augmenter de nouveau. On injecte du combustible au niveau du minimum, on veut qu'il s'enflamme.

1. Question qualitative de l'examinateur : à quelles conditions le combustible s'enflamme-t-il ?
2. Décrire alors l'état du gaz le long du réacteur, comment peut-on atteindre les conditions mises en évidence à la première question ?



## Déroulement

L'examinateur m'a d'emblée prévenu que ce serait une discussion, et qu'il ne fallait donc pas que je m'étonne s'il m'interrompait constamment (ce qu'il n'a pas manqué de faire par la suite pour me demander des précisions ou me poser des petites questions qualitatives ou de cours).

D'abord j'hésite un peu, je lui explique qu'il faut que le combustible ait une énergie interne suffisante pour déclencher la combustion, il me demande des précisions, je parle d'énergie d'agitation seuil à dépasser pour rompre les liaisons et entamer la réaction. Il ne me contredit pas mais n'a pas l'air très convaincu, il me demande alors comment s'appelle cette énergie seuil, sur le moment le nom ne me vient pas. On discute ensuite de la combustion des alcanes et de ce qui en fait de bons combustibles, ainsi de ce qu'on appelle une combustion. Enfin, pour revenir à la problématique principale, je conclus que le gaz doit atteindre une certaine température seuil, avec de plus les proportions adéquates d'air et d'essence ; on va donc étudier la variation de  $P$  et  $T$  le long du réacteur.

L'examinateur me laisse commencer à chercher, je propose de considérer un gaz parfait en détente adiabatique, je ne suis pas certain de pouvoir la considérer comme réversible ; il me dit qu'on va d'abord faire cette hypothèse puis qu'on en rediscutera. J'écris la loi de Laplace et celle des gaz parfaits pour un système élémentaire constitué d'un certaine quantité de matière fixée. Il me fait remarquer que je n'ai pas du tout fait intervenir la vitesse d'écoulement, j'écris alors la conservation du débit. Il me manque encore une équation pour relier toutes les inconnues. J'essaie le premier principe appliqué pendant  $\delta t$  à un système comme dans la démonstration du premier principe en écoulement, mais j'oublie d'abord de prendre en compte la variation d'énergie cinétique alors que c'est essentiel (on veut une équation sur la vitesse). Il me pose alors une succession de questions sur l'énergie interne, le premier principe et la définition de tous les termes. Une petite confusion sur le système considéré provoque un petit quiproquo et je perds un peu de temps à m'embrouiller dans les explications.

Après quelques calculs où je perds encore du temps avec des erreurs d'inattention, je parviens à l'équation manquante, puis j'écris une ultime équation où seule la pression intervient (en fonction de la section du réacteur et de  $x$ ). Le temps me manque pour discuter physiquement.

*Je pense avoir laissé une mauvaise impression à la fin en commettant des erreurs sur des calculs simples sans avoir le temps de proposer d'interprétation physique.*

*L'examinateur était bienveillant et, sauf sur la fin, me débloquait rapidement. Comme annoncé, ce fut une véritable discussion, probablement l'oral le plus dynamique de ce point de vu là ; en contre-partie il était difficile de se concentrer pour réfléchir.*

# Polytechnique Physique

## XP1 Akim Viennet

### XP1.I Câble coaxial

Proche de l'exercice MP14.II 2017

On étudie la propagation d'une onde dans un câble coaxial composé de deux fils parallèles, un pour l'aller l'autre pour le retour du courant, séparés par un diélectrique supposé parfaitement isolant.

1. Pourquoi a-t-on des phénomènes d'auto induction ? (Qualitativement)
2. Proposer alors un modèle pour le circuit. On dessine au tableau, un circuit élémentaire de longueur  $dx$  constitué d'une inductance  $\lambda dx$ , d'une résistance  $\rho dx$  et d'un condensateur de capacité  $\Gamma dx$  entre les deux fils.
3. Trouver l'équation vérifiée par  $i$  et  $u$  le long du câble, commenter. (Il y avait un terme de propagation et un terme de diffusion).
4. On néglige les pertes (donc le terme de diffusion), calculer la vitesse de propagation (pour cela il fallait calculer l'inductance et la capacité linéaires en fonction des paramètres géométriques) ; commenter.
5. Si on envoie un signal quelconque, quel phénomène va se produire ? Comment y remédier ? (On a discuté de la dispersion à partir de l'équation de propagation, l'examinateur m'a demandé comment choisir le diélectrique pour l'éviter, sur le coup je n'ai pas trop compris ce qu'il attendait).
6. Quelques questions qualitatives sur l'origine microscopique des phénomènes d'induction pour préciser ma réponse à la question 1 (travail des forces de Lorentz dans les conducteurs, donc force électromotrice et Maxwell-Faraday).

### XP1.II Variation d'entropie

On dispose d'un bocal non calorifugé contenant un gaz parfait en dépression par rapport à l'extérieur, on ouvre de façon quelconque un robinet, on attend l'équilibre. Quelle est la variation d'entropie du bocal au cours de l'expérience ?

Questions qualitatives subsidiaires sur l'origine microscopique du travail des forces de pression et sur l'origine de la création d'entropie.

*Examinateur très sympathique, qui ne me laissait pas bloqué longtemps et avec qui j'ai fréquemment discuté qualitativement sur l'origine des formules que j'utilisais. On avait heureusement traité ensemble un problème analogue à l'exercice I, j'ai ainsi pu proposer rapidement le bon modèle pour le fil, j'ai néanmoins été lent dans les calculs et dans l'établissement de l'inductance et de la capacité linéaires. L'examinateur a gentiment corrigé mes fréquentes erreurs d'inattention et mes raisonnements hésitants.*

## XP2 Nataniel Marquis

On considère deux balles posées sur le sol, de même forme (donc de même coefficient de frottement fluide) mais de masses différentes. On les lance avec une vitesse initiale quelconque (module et direction)  $\vec{v}_0$ . Les deux balles sont soumises à la pesanteur, ainsi qu'à une force de frottement fluide  $\vec{F} = -\alpha \vec{v}$ . Quelle balle touche le sol la première ?

*Exercice qui semble facile au premier abord... je ne l'ai pas fini. L'examinateur était très silencieux, ne faisant aucun commentaire sur ce que j'écrivais. Il a tout au plus dit quatre mots.*

J'ai commencé par les équations explicites qui ne donnent rien, malgré l'introduction de fonctions auxiliaires et des tentatives de dérivation. Au bout de vingt minutes de calcul, puis de tentatives énergétiques infructueuses, etc, l'examinateur m'a alors donné son unique indication : essayer de déterminer les temps de montée et de descente en fonction des paramètres (masse, vitesse initiale, coefficient de frottement) et de la vitesse finale (au moment où la balle touche le sol). Après une nouvelle salve de calculs, j'arrive à la conclusion que la comparaison des temps revient à comparer les quantités  $\vec{v}_f \cdot \vec{u}_z$ .

L'oral est alors terminé et il me pose une dernière question : selon vous laquelle arrive en premier ?  
*Je n'ai toujours pas la réponse.*

## XP3 Nissim Maruani

### XP3.I Traversée de la Terre

À partir d'un point de la terre à la latitude  $40^\circ$ , on creuse un tunnel rectiligne qui traverse l'axe nord/sud à angle droit et débouche de l'autre côté de la Terre à la même latitude. Une masse glisse sans frottement le long de ce tunnel. On néglige la rotation de la terre dans un premier temps.

1. Combien de temps le mobile met-il pour parvenir de l'autre côté en partant avec une vitesse nulle ?
2. Pourquoi a-t-on négligé la rotation ? (calculs...)
3. Tracer le portrait de phase.
4. Idem en présence de frottements fluides/sec.

### XP3.II Questions de cours

J'ai ensuite été bombardé de questions de cours (youpi!), majoritairement de la physique quantique.

## XP4 Hugo Marchand

### Particule soumise à un champ électromagnétique statique

On considère un condensateur à armatures cylindriques de même axe Oz (rayons  $R_1 < R_2$ ). On applique une différence de potentiel  $V_0$  entre les deux armatures (haut potentiel sur l'armature extérieure). Un champ électrique radial apparaît alors. On suppose qu'il existe également un champ magnétique uniforme  $B_0 \vec{u}_z$ . Un électron est émis avec une vitesse nulle sur l'armature interne. Question : l'électron peut-il revenir à l'armature interne (après ses premiers déplacements) avec une vitesse nulle ?

#### Déroulement

Ma première réaction est de justifier avec un argument énergétique que si l'électron revient sur l'armature interne, il aura forcément une vitesse nulle. La question devient donc « Est-ce que l'électron revient ? ». Je veux calculer le champ électrique avec le théorème de Gauss mais l'examinateur dit que ce n'est pas nécessaire.

Je trouve un argument : le raisonnement énergétique permet d'assurer que la vitesse de l'électron est une fonction de  $r$ , donc lorsque l'électron se rapproche de l'armature, sa vitesse devient de plus en plus faible, et donc de même pour la force magnétique. Ainsi, la force électrique prend le dessus quand l'électron revient sous réserve que le champ électrique soit non nul au niveau de l'armature interne, ce qui empêche l'électron de revenir. Je dis que je peux prouver ça avec le calcul du champ qu'il m'avait incité à ne pas faire. Il semble d'accord mais ne répond pas vraiment, puis me demande d'expliquer ce qu'il se passe pour  $V_0$  faible ou  $V_0$  grand. Puisque j'ai l'impression d'avoir trouvé la réponse à l'exercice (l'électron ne revient pas), mais que l'examinateur ne me donne pas autre chose à faire pour autant, je propose de reformuler la question en « Est-ce que l'électron atteint rebrousse chemin (c'est-à-dire  $r$  décroît) avant que  $r = R_2$  ? ». Il me répète l'énoncé initial de l'exercice... puis finalement me demande de calculer la valeur critique de  $V_0$  à partir de laquelle l'électron rebrousse chemin. Je trouve l'examinateur de plus en plus bizarre mais j'essaie de calculer cette valeur.

Je trouve  $V_0$  critique en utilisant le théorème du moment cinétique pour calculer la composante orthoradiale de la vitesse de l'électron en fonction de  $r$ , puis explique que  $V_0$  critique est atteint lorsque la vitesse de l'électron au niveau de l'armature externe est entièrement orthoradiale. Une fois mon résultat présenté, il me demande si l'expression est homogène : j'ai réussi rapidement, j'étais extrêmement fier de cette analyse dimensionnelle.

Puis étonnamment il me reparle du problème initial, à savoir « Est-ce que l'électron revient ? ». J'essaie de comprendre ce qui n'allait pas dans la solution que j'avais proposé précédemment, il ne répond pas vraiment à ma question et me dit qu'il souhaite simplement que je lui donne une idée pour tester avec précision la possibilité pour l'électron de revenir. Je ne comprends pas... Je répète ma solution qui me semble être précise, il a l'air plus ou moins satisfait...

*C'est la fin de l'oral, je crois que ça c'est passé correctement mais j'ai trouvé l'examinateur vraiment bizarre, par ses questions mais aussi par son attitude (il a par exemple demandé à mon auditeur d'arrêter de regarder dehors et de regarder le tableau).*

## XP5 Adrien Lemercier

### XP5.I Bilan d'énergie électromagnétique

On considère une onde électromagnétique plane progressive monochromatique se propageant dans le sens des  $z$  croissants. Son amplitude en  $z = 0$  est  $E_0(1 - at)$  ( $a$  est constante). On considère un cylindre (fermé) dont la directrice est parallèle à l'axe Oz.

1. Calculer la puissance électromagnétique traversant le cylindre (il s'agit de calculer le flux du vecteur de Poynting à travers l'ensemble des faces).
2. Montrer que ce flux est égal à l'opposé de la dérivée par rapport au temps de l'énergie électromagnétique intérieure au cylindre (moyennée sur une période). Interprétation ?

### XP5.II Questions pour la fin

Que se passe-t-il si on fait tomber un aimant dans un tube en cuivre ? En acier ? En plexiglas ? Et si on fend le tube de cuivre selon la verticale ?

## XP6 Baptiste Collet

### XP6.I Sorte de rail de Laplace

On étudie un circuit plan horizontal composé d'une résistance  $R$ , d'une bobine  $L$  et d'une barre de longueur  $l$  pouvant glisser sans frottement sur un rail. L'examinateur donne la convention  $I$  dans le sens trigonométrique et indique que la bobine engendre un champ uniforme  $B = -\frac{\alpha I}{l} \vec{u}_z$  qui baigne tout le circuit. Il demande d'établir les équations du système quand le courant initial est nul et qu'on lance la barre avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$ .

*Au début je suis gêné parce que la solution où  $v$  est constant et  $I$  nul convient. La fin de l'exercice m'éclairera.*

J'écris la loi de Faraday-Lenz  $e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dB_S}{dt} = v\alpha I$ . Je fais remarquer que  $I$  varie et que je le noterai donc dorénavant  $i$ . Par la loi des mailles :  $e = Ri + L\frac{di}{dt}$ .

Par la loi de la quantité de mouvement :  $\frac{dv}{dt} = \frac{iBl}{m} = -\frac{\alpha i^2}{m}$ .

Je dis que les équations horaires me semblent difficiles à obtenir, l'examinateur confirme. Un peu de sorcellerie différentielle (que l'examinateur m'a dit de faire)  $dt = \frac{mdv}{-\alpha i^2}$  qu'on injecte dans l'autre équation  $Ri - \frac{Lat^2}{m} \frac{di}{dv} = v\alpha i$ . On sépare les variables et intègre pour avoir une équation de degré 2 donnant  $v(i)$ .

Tant que  $i \neq 0$ ,  $v$  décroît. Je dis donc qu'en 0 comme en l'infini  $i = 0$ . On regarde les 2 solutions de l'équation de degré 2 en  $v$  et  $i$ . Pas besoin de la résoudre : par la formule de Viète on connaît la somme ( $\frac{2R}{\alpha}$ ) des 2 racines (dont une est  $v_0$ ). Si  $v_0$  est la plus petite on a un équilibre stable rien ne se passe (ma sensation de début d'oral). Sinon on a un équilibre instable  $v$  décroît jusqu'à l'autre solution et on a un générateur temporaire.

### XP6.II Trou noir de Planck

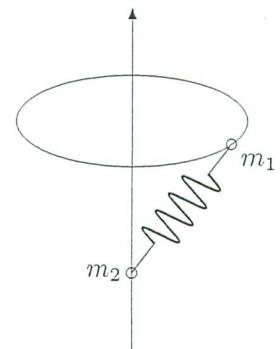
L'examinateur ne semblait pas avoir prévu de second exercice. Il réfléchit puis me dit « Connaissez-vous la vitesse de libération ? » J'écris  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ . Il me demande la valeur maximale. Je réponds  $c$ , à cette limite on a le rayon de Schwarzschild  $R_S = \frac{2GM}{c^2}$  et un trou noir, une singularité (peut-être aurais-je dû jouer celui qui découvrait ?). Il me dit c'est la taille maximale d'un trou noir à une masse donnée mais qu'elle est la taille minimale ? Je suis confus je dis que ce domaine échappe à la physique et qu'une singularité de dimension 0 doit se former en disant que l'on est même pas sûr que la mécanique quantique soit encore valable. Puis je me remémore une vidéo de Kurzgesagt et déclare que le moment cinétique limite l'écrasement. Il me dit que, même pour un trou noir non tournant, il y a une limite, je pense à de la cristallo mais toute particule est caduque dans un trou noir. Il me dit que la mécanique quantique est toujours valable. Je propose une analyse dimensionnelle, il me dit de trouver autre chose. C'est l'éclair : Heisenberg et je minore  $p$  par le cas où la vitesse vaut  $c$ . On regarde la cas d'égalité de ce rayon minimal de Planck et de Schwarzschild. On en déduit la masse et l'énergie minimale d'un trou noir ( $10 \times 10^{12} \text{ J}$  qu'il me demande en eV aussi, je ne sais pas pourquoi). Puis, par Boltzmann, la température associée  $10^{35} \text{ K}$ .

*Examinateur sympathique mais endormi qui semblait ne pas vouloir donner de second exercice.*

## XP7 Dan Berrebbi

L'anneau est horizontal.  $m_1$  glisse sur l'anneau.  $m_2$  glisse sur l'axe vertical de l'anneau. Un ressort ( $k, \ell$ ) relie les deux masses. Il n'y a aucun frottement. Tracer le portrait de phase du système. Ambigüité : que signifie ce « du » alors qu'il y a deux systèmes ?

Au début je commence tranquillement à paramétriser LES systèmes et à écrire des équations de la dynamique (j'écris une intégrale première du mouvement pour  $m_1$ ), puis l'examinateur me demande d'analyser qualitativement le mouvement (ce que j'avais déjà fait, mais on aurait dit qu'il ne m'écoutait pas), ensuite il me demande le portrait de phase avec un ton me faisant comprendre que je n'avais pas besoin d'écrire les équations pour le faire, donc j'en trace un dans un cas particulier (il était juste, mais ce n'était qu'un seul des cas possibles). Il me dit alors qu'il veut tous les cas et je lui répond qu'alors j'aurai besoin des équations de la dynamique et il me dit que oui évidemment. J'écris alors l'intégrale première pour la masse sur l'axe car en fait c'était elle qui avait un intérêt uniquement (j'oublie au passage l'énergie potentielle du ressort mais je me corrige quand il me le dit). Cela donne une équation très moche (racine due à Pythagore) et je ne peux dessiner un tel portrait de phase (bien que, par chance, j'avais revu quelques portraits de phase de MPSI la veille, sinon cela aurait été encore pire). Je lui dit alors qu'il faut prendre des cas limites ( $m_2$  grande...) il me dit oui mais même comme ça je n'arrive pas à le tracer ! À la fin il efface mes ébauches de portraits de phase sans les regarder, et me dessine la réponse sans m'expliquer ! De tout l'oral je n'ai pas compris s'il voulait que je le fasse qualitativement ou avec les équations, et lorsque je lui posais une question il ne me répondait pas, et venais parfois derrière moi au tableau m'écrire quelque chose sans se soucier de ce que j'avais écrit. Cela m'a un peu cassé car mes autres oraux avaient été normaux et les examinateurs étaient sympathiques et bienveillants. Là je me demande si il m'écoutait vraiment.

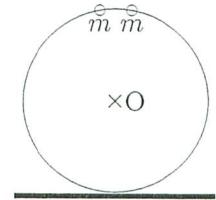


## XP8 Caroline Adamy

### Envol de cerceau

Un cerceau de masse  $M$  est posé verticalement sur le sol. On place au sommet du cerceau 2 perles de masse  $m$  symétriquement par rapport à l'axe vertical Oz. Les perles glissent sans frottement le long du cerceau.

À quelle condition le cerceau quitte-t-il le sol ? Il s'agit d'une condition sur le rapport  $m/M$ .



## XP9 Katia Jodogne-del Litto

### Ressort de masse non nulle

On considère un ressort horizontal de masse linéique  $\mu$ , de raideur  $k_0$  et de longueur à vide  $L$ . Il est attaché à un mur d'un côté et à une masse  $M$  de l'autre.

1.  $\mu = 0$ . Retrouver la pulsation  $\omega_0$  des oscillations.
2.  $\mu \neq 0$ . Quelle est la forme du mouvement ?

### Déroulement

Pour  $\mu \neq 0$ , l'examinateur me demande d'abord quelles sont les différences qualitatives, puis comment je peux modéliser ce ressort. Je propose de passer à un modèle discret, on trouve l'équation de propagation (après une discussion sur les distances à prendre en compte, la raideur des ressorts intermédiaires, et un embrouillage de ma part avec la dérivée seconde par rapport à  $x$ ). Ensuite il me donne la forme de l'onde  $\chi(x, t) = -A \cos(kx + \varphi) \cos(\omega t)$  qui donne la position au temps  $t$  du point du ressort situé en  $x$  au repos. La question est donc de trouver  $k$ ,  $\omega$  et  $\varphi$  avec les conditions et équations aux limites. Il me demande si le milieu est dispersif, et une fois l'expression de  $\omega$  trouvée, si la limite quand  $\mu$  tend vers zéro est bien  $\omega_0$ .

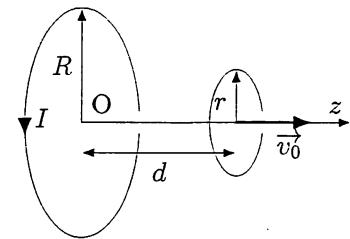
*L'examinateur n'était pas stressant, et me laissait chercher.*

## XP10 Gabriel Belouze

### XP10.I Freinage par induction

On considère une grande spire et une petite spire d'axe commun Oz et de rayons respectifs  $R$  et  $r$ . La grande spire est fixe, centrée en O. Initialement le centre de la petite est à la distance  $d$  de O. La grande spire est parcourue par un courant d'intensité constante  $I$ . On donne une vitesse initiale  $\vec{v}_0$ , dirigée selon  $\vec{u}_z$ , à la petite spire.

1. Décrire qualitativement le mouvement de la petite spire.
2. On suppose  $d \ll R$  et  $r \ll R$ . Établir une équation du mouvement de la petite spire.



### Déroulement

L'aspect qualitatif ne pose pas vraiment de problèmes mais je perds mon calme quand il s'agit de passer aux calculs. Je ne vois pas bien comment partir donc je propose d'utiliser la loi de Biot et Savart (avec peu de conviction car elle n'est pas au programme et je n'avais qu'un vague souvenir de son énoncé). L'examinateur paraît satisfait de cette piste. Je m'embourbe dans les calculs en faisant plusieurs fois des approximations dont on se rendait compte qu'elles étaient trop grossières (ce qu'on aurait pu prévoir en observant avec un peu de lucidité les symétries du problème). Je finis par trouver une expression correcte et « précise » du courant qui parcourt la petite spire.

J'ai alors besoin de la composante radiale du champ créé par la grande spire pour pouvoir calculer la force de Laplace subie par la petite. Je reviens à tort à la loi de Biot et Savart. L'examinateur me conseille d'utiliser le fait que le champ magnétique est à flux conservatif. Je réalise qu'on peut appliquer la conservation du flux à un cylindre « très fin » d'axe Oz (à ce stade on connaît déjà l'expression de la composante selon  $\vec{u}_z$  du champ magnétique) pour obtenir la composante radiale du champ. J'entrevois l'espoir d'aboutir enfin à l'équation du mouvement mais la fin du temps impari est arrivée.

## XP11 Samuel Lerbet

### Chute d'une goutte de pluie

Un nuage contient essentiellement des gouttelettes d'eau de taille et masse très faibles.

Une grosse goutte (taille et masse beaucoup plus grandes) tombe à travers le nuage. On la suppose sphérique à tout instant, de rayon  $r(t)$ . L'eau est incompressible, de masse volumique  $\rho$ . Montrer que l'accélération de la goutte tend vers une constante inférieure à  $g$ .

*On obtient une équation différentielle qui ne se résout que numériquement. L'examinateur m'a fait admettre que la solution menait effectivement à  $a \sim a_f$  pour  $t \rightarrow \infty$  et m'a demandé de trouver  $a_f$ . On trouve apparemment  $a_f = g/7$  mais je n'ai pas pu finir le calcul.*

## XP12 Elsa Deville

### Onde dans un cristal

On utilise un modèle unidimensionnel pour étudier les vibrations d'un cristal composé de deux types d'atomes, séparés de  $a$  au repos.

1. Établir les équations du mouvement pour un atome. À quoi vous font-elles penser ?

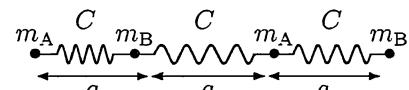
*En passant au continu, on obtient une équation de d'Alembert.*

2. On considère qu'une onde progressive se propage dans le cristal. Donner sa forme.

*Avec  $x = 2na$  (position au repos),  $[x_A e^{i(\omega t - kx)}, x_B e^{i(\omega' t - k' x)}]$ .*

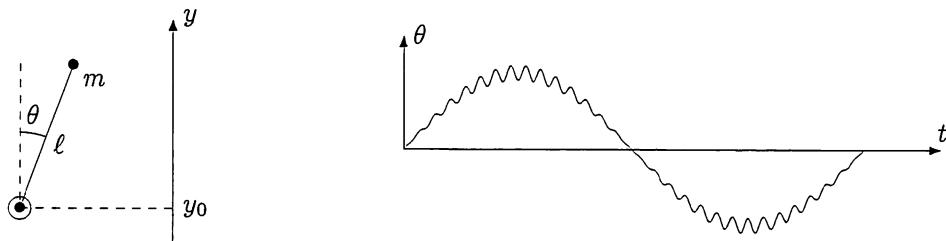
3. Donner une relation entre  $x_A$  et  $x_B$  (*on montre au passage que  $\omega = \omega'$  et  $k = k'$* ). Étudier la relation de dispersion.

*On obtient une équation de degré 4 en  $\omega$ . On distingue 2 cas possibles : l'un où  $x_A = x_B$  (branche acoustique) et l'autre où  $m_A x_A + m_B x_B = 0$  (branche optique).*



## XP13 Pierre Tessier

### Pendule inversé



La liaison pivot d'un pendule est fixée à un support en mouvement rectiligne selon l'axe  $Oy$  de loi horaire  $y_0(t) = A \cos \omega t$ . On note  $\omega_0$  la pulsation caractéristique du pendule ( $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$ ).

On suppose que  $\alpha = \frac{A}{\ell} \ll 1$  et  $\alpha \omega^2 \gg \omega_0^2$ .

On fait en sorte que le pendule se maintienne autour de sa position d'équilibre instable (petits écarts ; on suppose  $\theta \ll 1$  rad). On observe l'évolution temporelle ci-dessus à droite (superposition d'un mouvement périodique rapide de pulsation  $\omega$  et d'un mouvement lent de pulsation  $\Omega$ ). Calculer  $\Omega$ .

### Méthode suivie

- établissement de l'équation du mouvement,
- écriture de la forme  $\theta(t) = \theta_{\text{lent}}(t) + \theta_{\text{rapide}}(t)$  à partir du graphe (attention : le mouvement lent n'est pas *a priori* sinusoïdal),
- identification des termes rapides dans l'équation pour exprimer  $\theta_{\text{rapide}}(t)$ ,
- moyenne de l'équation sur une période du mouvement rapide pour trouver une équation sur le terme lent.

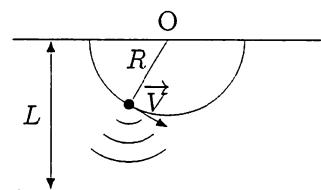
## XP14 Romain Phan

### XP14.I Bateau sur l'eau, la rivière...

Un bateau navigue sur une rivière de largeur  $L$ . Il effectue un trajet semi-circulaire de rayon  $R = L/2$  à la vitesse constante  $V$ . À chaque instant, le bateau crée des vagues de célérité  $u = V/2$ . De l'autre côté de la rivière on constate l'arrivée des vagues 3 min après que le bateau soit parti. Trouver  $L$ .

Application numérique :  $V = 18 \text{ m s}^{-1}$

Il me manquait un facteur 2 dans l'application numérique ; j'avais pris  $\arccos(\frac{1}{2}) = \frac{2\pi}{3}$  à la place de  $\frac{\pi}{3}$  ! L'examinateur disant ne pas avoir trouvé le 2 manquant, nous sommes passés à l'exercice suivant.



### XP14.II Bis

*Il s'agit exactement de l'exercice « Oraux 2017 MP\*<sub>4</sub> XP11 ».*

On considère deux points  $O$  et  $O'$  superposés mais sans contact électrique. De chaque point, on fait partir un pendule simple (longueurs et masses identiques). Ces pendules sont dans le même plan, mais on suppose qu'ils se croisent sans s'entrechoquer. Les tiges sont conductrices, et les masses glissent sans frottement sur un demi-cercle conducteur qui ferme le circuit en bas. On relie  $O$  et  $O'$  par un circuit composé d'une résistance  $R$ , qui modélise la résistance du reste du circuit. On plonge le tout dans un champ magnétique uniforme perpendiculaire au plan d'étude. On lâche un pendule en position verticale, et l'autre décalé de  $\theta_0$  (supposé petit) sans vitesse initiale. Décrire le mouvement.

Après avoir trouvé les angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$ , discussion :

- si  $B$  est « faible » : battements,
- si  $B$  est « fort » : amortissement rapide et synchronisation quasi-immédiate.

## XP15 Arthur Schichl

### Puits de potentiel quantique

1. Question de cours : quantification de l'énergie d'une particule dans un puits de potentiel infini.
2. On considère un puits de potentiel de largeur  $\ell$  et de profondeur  $-\frac{V_0}{\ell}$ . On fait tendre  $\ell$  vers 0. Déterminer les états stationnaires et quantifier l'énergie  $E$  si l'on suppose  $E < 0$ .
3. Le résultat est-il en accord avec l'inégalité de Heisenberg ?

## XP16 Samuel Rouquette

### Le soulèvement du mercure

On prend une cuve de base carrée de côté  $\ell = 20 \text{ cm}$  et de hauteur  $h = 10 \text{ cm}$  remplie de mercure. On fait passer un courant d'intensité  $I = 1 \text{ A}$  entre deux faces opposées. On plonge le tout dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B} = B_0 \vec{u}_z$ ,  $B_0 = 1 \text{ T}$ . ( $Oz$  est l'axe vertical et  $Ox$  l'axe normal aux faces par lesquelles passe le courant). Forme de la surface libre ?

### Déroulement

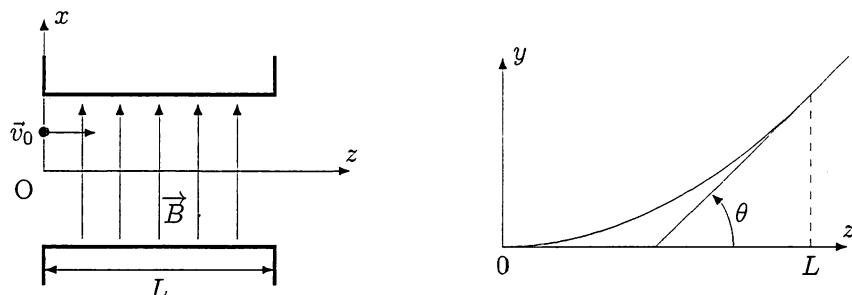
J'ai commencé par parler des forces de Lorentz que subissent les électrons qui se déplacent sous l'effet du courant. Sans résoudre l'équation différentielle, l'examinateur me demande vers où ils se déplacent globalement, c'est à dire vers l'avant, si l'axe  $Oy$  est normal au tableau.

L'examinateur dit qu'on est en régime permanent et que la répartition des électrons est uniforme : conséquences sur la pression ? Elle devrait être plus forte vers l'avant. J'écris alors la loi de la statique des fluides, en considérant un volume  $d\tau = dx \times dS$ . On trouve l'expression de la pression sous la forme  $-ay - bz + c$ . C'est bien cohérent avec ce qu'on avait dit au début.

La surface a un profil linéaire. Pour connaître la pente, il suffit donc de connaître la différence de hauteur entre les bords. Pour cela, l'examinateur m'a amené à me rendre compte qu'en  $y = \ell/2$ , la hauteur de mercure est la même dans cette situation et sans « rien ». On connaît alors la constante, donc la hauteur en  $y = 0$ .

## XP17 Erwan Roverc'h

### Déviation dans un champ magnétique



On considère une particule de masse  $m$ , de charge  $q$ , qui traverse l'entrefer (zone vide de longueur  $L$ ) d'un aimant. Sa vitesse initiale est  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_z$ . On suppose que le champ magnétique  $\vec{B} = B_0 \vec{u}_x$  est uniforme dans l'entrefer et que  $mv_0 \gg qB_0L$ .

1. Calculer l'angle de déviation  $\theta$  à la sortie de l'entrefer.
2. La particule part de  $x_0 \neq 0$ . On observe alors aussi une (faible) déviation dans le plan  $xOz$ . Pourquoi ? Calculer cet angle à l'ordre 1 en  $x_0$ . Comment qualifier le système obtenu ?

Pour la seconde question, c'est à cause des effets de bords de l'aimant. Après calcul, on trouve une déviation  $\varphi \sim -x$  : on a réalisé une sorte de « lentille magnétique » convergente.

*Examinateur sympathique et très actif, qui voulait que je fasse les choses par sa méthode.*

## XP18 Alvaro Arenas

On place une particule de masse  $m$  dans un potentiel  $V(x) = \begin{cases} V_0 & \text{si } |x| > w \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

Trouver l'énergie de l'état fondamental.

L'examinateur a commencé par demander le cas où  $V_0$  est égal à  $+\infty$ .

*L'exercice est classique donc je l'ai fait sans beaucoup de problèmes. À un moment j'ai simplifié les calculs en disant que la fonction  $\varphi$  devait être un cos. L'examinateur a mis du temps à comprendre mon argument donc j'imagine qu'il s'attendait à une autre méthode. Pour le cas général, j'ai été totalement déstabilisé par l'examinateur qui ne m'a donné aucun indice, même quand j'étais bloqué, et qui s'est amusé à me poser plein de petites questions dans la même étape.*

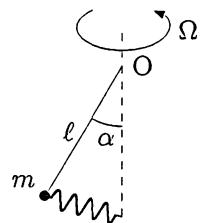
*À la fin de l'exercice j'ai terminé de manière glorieuse en ne reconnaissant qu'après de nombreux sourires malicieux de la part de l'examinateur, que l'équation que j'avais obtenue était celle d'un cercle.*

## XP19 Margot Bruneaux

### Pendule conique ; variante

On considère une masse  $m$  attachée à un point  $O$  par une tige de masse négligeable et de longueur  $\ell$ , de telle sorte que l'ensemble forme un pendule. On fait tourner le pendule autour de l'axe vertical  $Oz$  à une vitesse constante  $\Omega$ . On note  $\alpha$  l'angle entre la tige et la verticale.

1. Trouver les positions d'équilibre.
2. Étudier la stabilité de ces positions d'équilibre.
3. On rajoute un ressort de longueur à vide nulle attaché entre la masse et le point sur l'axe  $Oz$  situé à une distance  $\ell$  de  $O$ . Étudier les positions d'équilibre.



## XP20 Julien Drouhet

### Électrostatique

Deux plaques conductrices (une au potentiel  $V_0 > 0$  et l'autre au potentiel  $V_1 < 0$  avec  $-V_1 \ll V_0$ ) sont séparées par une troisième plaque conductrice percée d'un trou de largeur  $d$  très faible (*devant quoi ? L'examinateur n'a jamais voulu me répondre...*). La plaque centrale est reliée à la masse. On place une charge  $q > 0$  au voisinage de la première plaque et on veut connaître le mouvement de la charge.

L'examinateur voulait que je trace les équipotentielles pour observer qualitativement le fait que la charge, si elle passe par le trou, va être déviée de la même façon qu'une lentille divergente dévie un rayon lumineux. Il fallait ensuite faire une analogie avec l'optique et traiter le trou comme une lentille divergente en calculant en particulier la distance focale de la « lentille »...

## XP21 Sibylle Marcotte

### Conducteurs en équilibre électrostatique

On considère une boule métallique, de centre  $O$ , de rayon  $R$ , portée à un potentiel  $V_0$ .

1. Quelle est la charge de la boule ?
2. Quelle est son énergie ?
3. On place deux hémisphères épais, de centre  $O$ , autour de la boule pour former un conducteur compris entre  $r = R_1$  et  $r = R_2$  ( $R < R_1 < R_2$ ). Les hémisphères sont initialement neutres. Des charges apparaissent sur les sphères de rayons  $R_1$  et  $R_2$ . Pourquoi ?
4. Calculer les charges apparues.
5. Calculer l'énergie.

# Polytechnique Chimie

## XC1 Akim Viennet et Dan Berrebbi

### L'or

*Énoncé composé de très nombreuses questions balayant à peu près tous les thèmes du programme de chimie autour de l'or. Le même énoncé a été proposé en même temps dans deux commissions (un examinateur et une examinatrice). Chacun des examinateurs a éventuellement fait sauter certaines questions.*

1. L'or est dans la 6<sup>e</sup> période, 11<sup>e</sup> colonne. Donner sa configuration électronique et en déduire les états d'ionisation possibles.
2. Une question sur Lewis (supprimée par l'examinateur A).
3. L'or métallique forme un cristal de réseau cubique à faces centrées, on donne sa masse volumique ( $\rho = 19,3 \text{ g cm}^{-3}$ ) et la masse d'un lingot de 1 litre, quel est le rayon d'un atome d'or ?
4. Quelle est la compacité de cette structure ?
5. D'autres questions classiques sur le CFC (sautées par l'examinateur A).
6. Donner la distance entre les plans réticulaires 111 (question sautée par le même examinateur).
7. L'or a la propriété d'être peu sensible à la corrosion, de quelles données auriez vous besoin pour l'expliquer ? J'ai d'abord parlé de diagramme  $I - E$ , il m'a plutôt fourni les potentiels standard des couples de l'or :  $E^\circ(\text{Au}^+/\text{Au}) = 1,83 \text{ V}$  et  $E^\circ(\text{Au}^{3+}/\text{Au}) = 1,52 \text{ V}$ . J'ai parlé de domaine d'immunité à partir d'une esquisse de diagramme  $E - pH$ .
8. On étudie une solution aqueuse d'ions  $\text{CN}^-$  où plonge une électrode en or. On considère les réactions de complexation  $\text{Au}^+ + 2 \text{CN}^- \rightleftharpoons \text{Au}(\text{CN})_2^-$   $\beta_2 = 10^{38}$  et  $\text{Au}^{3+} + 4 \text{CN}^- \rightleftharpoons \text{Au}(\text{CN})_4^-$   $\beta_4 = 10^{56}$ . Calculer les potentiels standard des couples de l'or après complexation avec le cyanure.
9. Une question sur la solubilité de ces complexes selon le  $pH$ . (HCN est un acide faible de  $PK_a = 9,3$ .)
10. Il y avait quelques questions sur un titrage (sautées par l'examinateur A pour arriver à la fin de la feuille, non abordées avec l'examinatrice B).
11. Un petit texte décrivait un procédé de purification de l'or via du zinc, on demandait l'équation bilan mise en jeu (c'était  $2 \text{Au}^+ + \text{Zn} = 2 \text{Au} + \text{Zn}^{2+}$ ) et la masse de Zn nécessaire pour extraire un gramme d'or ( $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g mol}^{-1}$  et  $M(\text{Au}) = 197 \text{ g mol}^{-1}$ ).

*Examinateur A sympathique posant de nombreuses petites questions pour s'assurer que je comprenais ce que je faisais, c'était donc surtout des petits calculs et raisonnements très proches du cours qu'il aurait peut-être été bon d'exécuter un peu plus vite.*

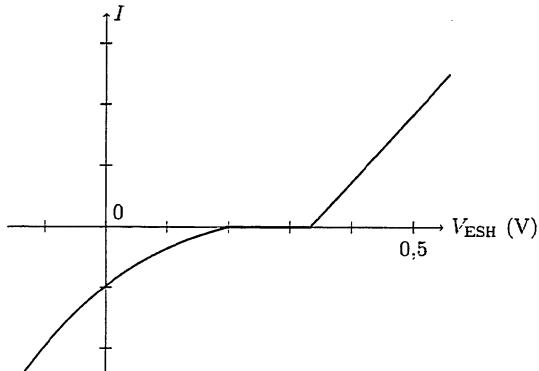
*Avec l'examinatrice B : Lorsque je ne savais pas répondre à une question on passait la question ; l'oral est assez mécanique (soit on sait répondre vite, soit on saute, ce qui est plutôt une bonne chose, je trouve).*

1. Je n'avais pas le tableau périodique et je n'ai pas réussi cette question a priori triviale car je n'avais jamais vraiment fait de remplissage avec la couche f.
5. L'examinatrice a voulu que j'aille au bout des questions de cristallographie ; ça allait car je connaissais bien, sauf la question suivante qui portait sur « la distance entre deux plans » ; je n'avais jamais entendu parler de ça (je crois).
7. Question peu classique : « De quoi avez vous besoin ? » J'ai dit « des courbes  $I - E$  des couples de l'or », elle m'a dit « Pourquoi pas mais j'attendais autre chose », j'ai alors dit « des potentiels standard des couples » et c'était ce qu'elle attendait. Question orale rajoutée : « Que pouvez vous dire du fait que  $E^\circ(\text{Au}^{3+}/\text{Au}) < E^\circ(\text{Au}^+/\text{Au})$  ? » J'ai dit que, comme les  $E^\circ$  sont assez écartés,  $\text{Au}^{3+}$  devait être majoritaire sur Terre ; elle a eu l'air satisfaite de cette réponse.
8. J'ai été très lent car je n'avais jamais révisé la complexation. Je ne suis pas allé plus loin.

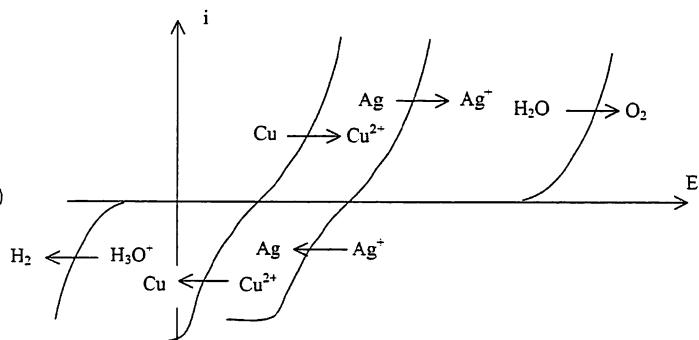
## XC2 Sibylle Marcotte (et Théo Sa Cunha)

### XC2.I Le cuivre en solution aqueuse

Données : L'ion  $\text{SO}_4^{2-}$  n'est pas électroactif.  $E^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,34 \text{ V}$ ;  $E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,80 \text{ V}$ .



Question 1



Question 2

On fait tremper une électrode de cuivre dans une solution de sulfate de cuivre  $\text{CuSO}_4$  de concentration  $c_0 = 1 \text{ mol L}^{-1}$ .

1. (a) Écrire les équations des réactions se produisant. Identifier les portions de courbes. En justifier la position.  
 (b) Définir les surtensions cathodique et anodique. Les déterminer et comparer.  
 (c) En fait il y a un palier pour une des courbes. Laquelle ? Justifier. À quel phénomène est dû ce palier ? (*Diffusion, parler de la loi de Fick*).  
   — (Sibylle) Quel autre phénomène aurait-on pu envisager en TP pour provoquer du mouvement dans la solution ?  
   — (Théo) Sur quelle distance caractéristique se réalise ce phénomène ?
2. On plonge une électrode de cuivre dans une solution de nitrate d'argent.
- (a) Quelle(s) réaction(s) peu(ven)t se produire ? Calculer la(les) constante(s) d'équilibre. Commenter.  
   — (Théo) D'où vient la validité de la loi de Hess ? (*Extensivité et fonction d'état*).
- (b) Est-ce une réaction lente ou rapide ? (Qualitativement par manque de données numériques).
3. On mélange 100 mL de  $\text{CuSO}_4$  de concentration  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  avec 80 mL d'une solution de  $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$  de concentration  $c$  (je ne me souviens plus de la valeur mais le réactif limitant sera  $\text{Cu}^{2+}$ ).



- (a) Quelle masse de précipité est obtenue ? (D'ailleurs, la réaction a-t-elle lieu ? )  
 (b) Trouver le  $pH$  de la solution.

### XC2.II Équilibre chimique

On étudie  $\text{CuBr}_{2(s)} = \text{CuBr}_{(s)} + \frac{1}{2}\text{Br}_2$ . Dans un récipient de volume  $V = 5 \text{ L}$ , maintenu à  $580 \text{ K}$ , on place 0,5 mol de  $\text{CuBr}_2$ .  $K^\circ(580 \text{ K}) = 0,44$ . Trouver la pression et les quantités de matière finales.

## XC3 Alvaro Arenas

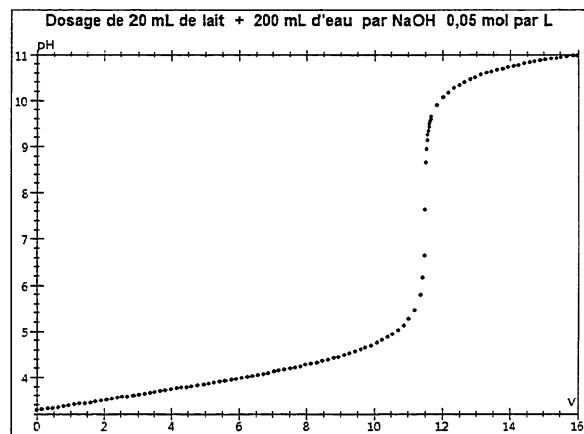
### XC3.I L'acide lactique

L'acide lactique est présent dans le lait. Sa concentration  $c_0$  augmente au cours du temps (dégradation du lactose en acide lactique par les bactéries). Dans le lait frais  $c_0 < 2 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ .

Pour connaître  $c_0$  on dose l'acide lactique avec de l'hydroxyde de sodium. On utilise 20 mL de lait qu'on dilue avec 200 mL d'eau. La concentration de l'hydroxyde de sodium est de  $c_B = 5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ .

La courbe  $pH(V_{\text{versé}})$  est donnée.

1. Formule de Lewis de l'acide lactique  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$  ?
2. Équation de la réaction de dosage ?
3. Volume à l'équivalence ? (11,5 mL)
4.  $pK_a$  de l'acide ? (3,9) *J'ai mis du temps à comprendre qu'il est important de regarder le volume à la demi-équivalence.*
5. Constante de la réaction ?
6. Quel indicateur coloré utiliser ?
7. Concentration de l'acide ? ( $2,9 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ )
8. Comparaison avec la concentration maximale.



### XC3.II Fermentation de la bière

On donne un tableau indiquant la concentration en glucose en fonction du temps (en jours) lors de la fermentation de la bière.

1. Montrer que la loi de vitesse est d'ordre 1.
2. Trouver le temps de demi-réaction.
3. Trouver  $k$ .

*Pour trouver  $k$ , j'ai écrit la concentration en fonction de  $k$  et  $t$  mais, comme j'ai hésité, l'examinatrice m'a demandé de redémontrer dans le cas général ; à ce moment (par fatigue et oubli absolu du cours) j'ai mis  $k$  en exposant et je n'ai pas pu retrouver l'expression sans aide. Dommage car j'étais plutôt content de l'oral.*

## XC4 Samuel Lerbet

### Titrage colorimétrique

Données : produits de solubilité  $\text{AgCl} : 10^{-9,7}$ ;  $\text{AgSCN} : 10^{-12}$ ; constante de formation du complexe  $\text{FeSCN}^{2+} : 10^{2,1}$ . Ce complexe devient visible (coloration rouge) à partir d'une concentration  $C_0 = 6,4 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ .

On mélange deux solutions aqueuses : 20 mL d'une solution contenant des ions  $\text{Cl}^-$  de concentration inconnue  $C_{\text{Cl}}$  et 50 mL d'une solution contenant des ions  $\text{Ag}^+$  à la concentration  $C_{\text{Ag}} = 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ .

1. Quelle est la condition pour que  $\text{Ag}^+$  soit en excès ?

On dose un tel excès par des ions thiocyanates  $\text{SCN}^-$ , en présence de  $\text{Fe}^{3+}$  (indicateur coloré).

La solution titrante a une concentration  $C_S = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  en  $\text{SCN}^-$ . Le volume équivalent est  $V_S = 11 \text{ mL}$ .

2. Quelle relation donne  $C_{\text{Cl}}$  ?
3. Écrire, par un bilan de quantité de matière, les relations entre les concentrations  $[\text{Ag}^+]$ ,  $[\text{Cl}^-]$ ,  $[\text{SCN}^-]$  et  $[\text{FeSCN}^{2+}]$ .
4. Calculer  $[\text{Fe}^{3+}]$ ,  $[\text{Ag}^+]$ ,  $[\text{SCN}^-]$  à la limite d'apparition de la couleur rouge. On explicitera une équation vérifiée par  $[\text{Ag}^+]$  (équation algébrique de degré 2).
5. Calculer  $C_{\text{Cl}}$ .

## XC5 Baptiste Collet

### XC5.I

La constante de dissociation de  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  est  $K_d = 10^{-2}$ . Celle de  $\text{FeF}^{2+}$  est  $10^{-5}$ . Le produit de solubilité de  $\text{AgSCN}$  vérifie  $pK_s = 12$ . Le  $pK_a$  de  $\text{HSCN}$  vaut 4,5.

Quand  $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}] > 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  on voit apparaître une coloration rouge.

1. Le numéro atomique du fer est  $Z = 26$ . Donner sa configuration électronique.  
 $[1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6]$
2. Quels sont les nombres d'oxydation possibles ? [II (on vide 4s) puis III (on vide 4s puis on ne garde que la moitié de 3d ; j'explique le placement d'un spin par case).]
3. Donner le nombre d'oxydation de Fe dans  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  et d'autres que j'ai oubliés.
4. Donner la formule de Lewis de  $\text{SCN}^-$ .  
$$\bar{\text{S}} = \text{C} = \bar{\text{N}}^\ominus$$
5. On place  $10^{-3}$  mol de  $\text{FeCl}_3$  et  $5 \times 10^{-3}$  mol de  $\text{KSCN}$  dans 500 mL d'eau. Ces espèces se dissocient totalement,  $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$  ne sont que des ions spectateurs (*ce n'était pas dans le sujet, à dire à l'oral*). On demande les concentrations finales. À partir de l'équation de degré 2 que j'ai établie avec la conservation des éléments, l'examinatrice m'a donné les résultats numériques  $0,95 \times 10^{-3}$  pour  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ ,  $1,05 \times 10^{-3}$  pour  $\text{Fe}^{3+}$  et  $0,90 \times 10^{-2}$  pour  $\text{SCN}^-$ .
6. Calculer la solubilité de  $\text{AgSCN}$  dans l'eau pure. [Classique racine du  $K_s : 10^{-6}$ ]
7. Montrer qu'on peut réaliser un dosage du nitrate d'argent par du thiocyanate en présence de nitrate de fer. Pour l'exemple je crois qu'on prenait  $[\text{Ag}^+] = 5 \times 10^{-3}$  et  $[\text{Fe}^{3+}] = 5 \times 10^{-3}$ . [Calculer tout quand la couleur rouge apparaît.]
8. Combien faut-il verser de fluor pour faire disparaître la couleur rouge de la solution de la question 5 ? [On obtient  $4 \times 10^{-3}$ ]
9. On reprend la solution de la question 5 on acidifie avec un acide fort. Calculer le  $pH$  auquel la couleur rouge disparaît. [On obtient 2,2 si je me souviens bien.]

### XC5.II Équilibre de Boudouard

1. On place 10 mol de CO dans un récipient de volume  $V = 30 \text{ L}$  maintenu à  $T = 950 \text{ K}$ . La constante d'équilibre est  $K^\circ = 2$ . État final ?
2. ... D'autres questions avec du germanium, je n'ai pas eu le temps de les aborder.

**NDLR.** Il s'agit sans doute de l'exercice XC6 des oraux 2017 MP\*4.

## XC6 Pierre Tessier

### Réduction de $\text{ClO}^-$ par $\text{NH}_4^+$

L'objectif de l'exercice est de montrer que la réaction entre  $\text{ClO}^-$  et  $\text{NH}_4^+$  est bien quasi totale. Dans l'eau, on observe que  $\text{Cl}_2$  se dismute en  $\text{Cl}^-$  et  $\text{ClO}^-$ .

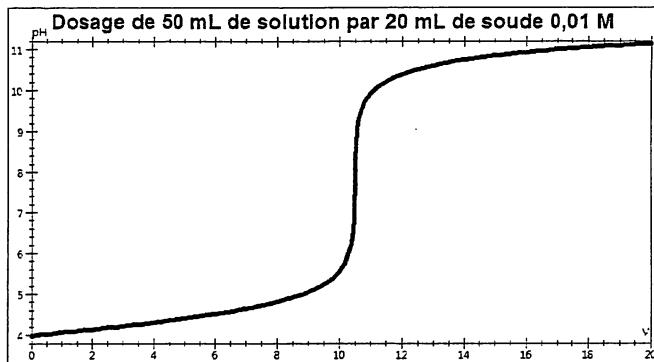
On donne :  $E^\circ(\text{HClO}/\text{Cl}_2 \text{ aq}) = 1,59 \text{ V}$     $E^\circ(\text{Cl}_2 \text{ aq}/\text{Cl}^-) = 1,40 \text{ V}$     $E^\circ(\text{NH}_4^+/\text{N}_2) = 0,27 \text{ V}$   
 $pK_a(\text{HClO}/\text{ClO}^-) = 7,5$

1. Écrire la condition d'équilibre pour le couple  $\text{HClO}/\text{ClO}^-$ . Faire un diagramme de prédominance.
2. Écrire les demi-équations redox des couples  $\text{ClO}^-/\text{Cl}^-$  et  $\text{HClO}/\text{Cl}^-$  et la réaction de dismutation du dichlore dans l'eau.
3. Écrire les relations de Nernst pour les deux couples précédents.
4. En déduire une expression de  $E^\circ(\text{ClO}^-/\text{Cl}^-)$  en fonction de  $E^\circ(\text{HClO}/\text{Cl}^-)$  et  $pK_a$ .
5. Donner le diagramme  $E - pH$  du chlore.
6. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction entre  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{ClO}^-$ , produisant  $\text{N}_2$  et  $\text{Cl}^-$ .
7. Écrire la condition d'équilibre (on note  $K_1$  la constante d'équilibre).
8. Exprimer  $K_1$  en fonction des potentiels standard. Calculer  $K_1$ .
9. Conclure.

## XC7 Katia Jodogne-del Litto

### XC7.I De l'acide-base

Plusieurs acides entrent dans la composition d'un miel. Le plus important est l'acide gluténique, qu'on notera  $\text{HGLu}$ . La teneur en acidité libre dans un miel est donnée en milliéquivalents par kg ( $\text{meq kg}^{-1}$ ). Elle correspond à la quantité d'ions hydroxyde en millimole qu'il faudrait introduire pour amener 1 kg de miel à  $pH = 7$ . La réglementation européenne fixe la teneur maximale en acidité libre d'un miel à  $50 \text{ meq kg}^{-1}$ . On considère 16 g de miel dissous dans 100 mL d'eau, et on dose 50 mL de cette solution avec de la soude ( $\text{NaOH}$ ) de concentration  $c_0 = 1 \times 10^{-2}$ . On donne la courbe de dosage,  $pH$  en fonction du volume versé.



- Quel est le volume versé à  $pH = 7$  ?
- Ce miel est-il réglementaire en ce qui concerne la teneur en acidité ?
- Calculer le  $K_a$  du couple  $\text{HGLu} / \text{Glu}^-$  avec la courbe de dosage.
- En réalité il est plus faible. Pourquoi ?

*J'ai supposé que la présence d'autres acides modifiait la courbe par rapport à un dosage simple de  $\text{HGLu}$ .*

- Pourquoi s'intéresse-t-on à l'acidité libre, et pas directement au  $pH$  ?

*Les 3 dernières questions n'étaient pas écrites.*

### XC7.II Encore de l'acide-base

*Je crois me souvenir d'une histoire d'électrodes d'argent pour le contexte, mais ça n'avait aucune importance pour la suite*

- Qu'est-ce qu'une solution tampon ?
- On souhaite réaliser une solution de  $pH 7,2$  avec le couple  $\text{HSO}_3^- / \text{SO}_3^{2-}$  de  $pK_a$  égal à 7,2. On dissout 12,6 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  dans de l'eau. Quelle masse de  $\text{NaHSO}_3$  doit-on dissoudre pour fabriquer cette solution ? (Masses molaires : Na : 23,0 ; S : 32,1 ; O : 16,0 ; H : 1,0  $\text{g mol}^{-1}$ ).

### XC7.III Toujours de l'acide-base

On considère une solution avec l'acide A :  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CO}_2\text{H}$ , que l'on dose avec  $\text{NaOH}$  de concentration  $c$  (donnée) jusqu'au volume équivalent  $V$  (donné). On séche la solution, et on obtient 48 g de solide. (Masses molaires : Na : 23,0 ; C : 12,0 ; O : 16,0 ; H : 1,0  $\text{g mol}^{-1}$ ).

- Écrire la réaction bilan du dosage.
- Quelle est la formule de l'espèce solide B obtenue ?
- Quelle sont les quantités de matière  $n_A$  au début et  $n_B$  à la fin du dosage ? Déterminer  $n$ .  
*Je ne me souviens plus des données numériques mais on obtenait  $n = 2$ .*
- Écrire la formule semi-développée de l'acide A.
- ... Questions que je n'ai pas eu le temps de lire.

*Oral émaillé de multiples erreurs de calculs, et assez frustrant, j'avais l'impression de faire tout le temps la même chose et de ne pas vraiment pouvoir exploiter ma connaissance du cours. L'examinatrice était sympathique, et n'a parlé que pour me poser des questions en plus de l'exercice sur papier.*

## XC8 Erwan Roverc'h

### XC8.I La phosphine

1. L'ammoniac  $\text{NH}_3$  et la phosphine  $\text{PH}_3$  réagissent pour donner  $\text{NH}_4\text{PH}_2$ . Justifier l'existence de cette réaction.

*Pour cette question un peu vague, j'étais parti pour calculer les grandeurs thermodynamiques de la réaction, mais il manquait des données. L'examinateur m'a aidé en introduisant la décomposition ionique  $\text{NH}_4\text{PH}_2 = \text{NH}_4^+ + \text{PH}_2^-$ . Il fallait dire qu'il s'agissait d'une réaction acidobasique.*

2. Écrire l'équation bilan de la réaction donnant  $\text{P}_4$  et  $\text{H}_2$  à partir de  $\text{PH}_3$  et calculer sa constante d'équilibre.

	$\text{P}_4$ g	$\text{PH}_3$	$\text{H}_2$	$\text{P}_s$ blanc	$\text{P}_s$ rouge
$\Delta_f H^\circ (\text{kJ mol}^{-1})$	58,9	5,4		0,0	-17,6
$S^\circ (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$	280,0	210,2	130,7	41,1	22,8

3. On étudie la réaction précédente dans une enceinte de volume  $V = 10 \text{ L}$ , on dispose d'un tableau donnant la pression en fonction du temps à partir de  $t = 100 \text{ s}$ . Trouver  $P(t = 0)$ .

*De mémoire, on avait  $P_\infty = 1,166 \text{ bar}$  et on trouvait  $P_0 = 0,67 \text{ bar}$ .*

4. On fait l'hypothèse d'une cinétique d'ordre 1. Quelle est la vitesse de réaction ?

- 4,5. Trouver une relation entre  $P_\infty$  et  $P_0$ .

*L'ordre des 3 dernières questions a été chamboulé; en effet, pour répondre à la 3, j'ai extrapolé numériquement la valeur de  $P_0$  en utilisant un modèle exponentiel. La question 4 devait donc caduque... C'est pourquoi l'examinateur m'a posé oralement la question 4,5 qui correspondait à la méthode qu'il envisageait pour la 3. Mais il n'était précisé nulle part que la réaction était isotherme et totale (ce qu'on utilise pour conclure ainsi) et il ne l'a indiqué qu'après que j'aie bien entamé des calculs dans le cas d'une réaction adiabatique...*

5. On considère 2 variétés allotropiques du phosphore (rouge et blanc). Laquelle est stable à  $25^\circ\text{C}$ ? (*C'est la rouge*).
6. On étudie la sublimation de  $\text{P}_{\text{rouge}}$  en  $\text{P}_4$ . Sachant que les 4 atomes sont équivalents dans la molécule, donner la configuration géométrique de  $\text{P}_4$ .
7. Exprimer la pression de vapeur  $P_{\text{P}_4}$  en fonction de la température.
8. À quelle température cette pression vaut-elle 1 bar ?

## XC9 Elsa Deville

### XC9.I Synthèse et dissociation de $\text{HCl}$

1. On considère la réaction  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2 = 2 \text{HCl}$ . On donne  $C_V(T)$  pour les gaz parfaits (sous forme d'une fonction affine) et  $\Delta_r H_{298}^\circ = -184,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Déterminer la température et la pression maximales en fin de réaction (la réaction est totale et a lieu à volume constant).
2. On considère la réaction  $2 \text{HCl} = \text{Cl}_2 + \text{H}_2$  pour laquelle  $\log_e(K^\circ) = -2,40 - \frac{22200}{T}$ .
  - (a) Donner  $\Delta_r G^\circ(T)$ .
  - (b) Donner  $\Delta_r H^\circ(T)$ .
  - (c) Trouver le taux de dissociation  $\alpha$  pour 3 températures précisées. *L'examinateur ne m'en a fait étudier qu'une.*

### XC9.II Oxydoréduction

Les couples en jeu étaient un peu compliqués mais les questions étaient très classiques.

1. Déterminer un potentiel standard à l'aide de celui d'un autre couple et d'un produit de solubilité.
2. Déterminer dans quel sens a lieu une réaction d'oxydoréduction (*comparer les potentiels standard*) et trouver  $K^\circ$  (*formule  $10^{\frac{N}{0,06}} \dots$* ).
3. Déterminer l'état final.

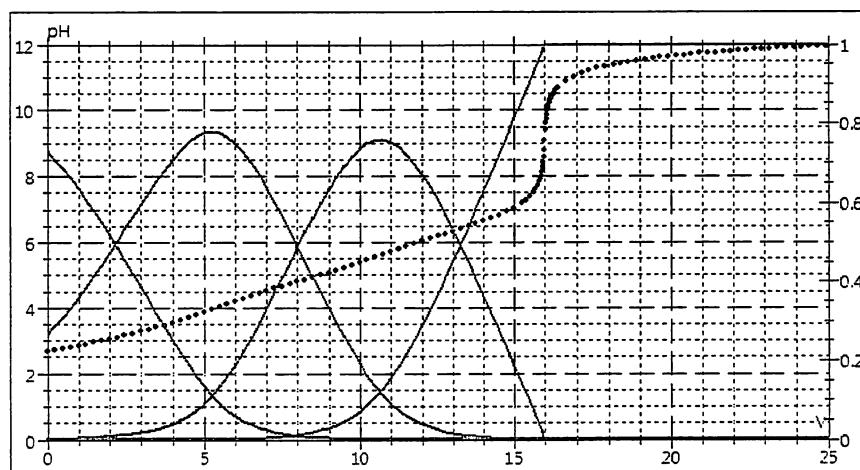
## XC10 Samuel Rouquette

### XC10.I Titrage de l'acide citrique dans la limonade

On veut connaitre la concentration en acide citrique noté  $H_3A$  de la limonade. Pour cela, on prélève 80 mL de limonade qu'on dégaze puis on prélève 50 mL de cette solution qu'on titre avec de la soude de concentration  $0,075 \text{ mol L}^{-1}$ .

1. Pourquoi effectue-t-on le dégazage ?
2. Quel matériel doit-on utiliser pour prélever les 50 mL ?
3. On donne la courbe du  $pH$  et des proportion des différentes espèces contenant A en fonction du volume de soude versé.
  - (a) Quelles réactions ont lieu ? (question consubstantielle mais non écrite : associer chaque courbe à l'espèce qui lui correspond).
  - (b) Pourquoi n'y a-t-il qu'un saut de  $pH$  ?
4. (a) Quelle relation peut-on écrire à l'équivalence ?  
(b) Calculer la concentration en acide citrique.

*Pour la question 1, j'avais d'abord parlé des problèmes pratiques entre les bulles et la réaction de titrage, l'examinatrice m'a amené à écrire la réaction qui a lieu entre  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau et la soude. J'ai eu un trou pour la 3(b), sinon tout s'est bien passé.*



### XC10.II La galène

La galène a pour formule  $\text{PbS}$ . Pb et S forment des mailles CFC décalées d'une demi maille.

$$\rho(\text{PbS}) = 7,5 \text{ g cm}^{-3} \quad M(\text{Pb}) = 207,2 \text{ g mol}^{-1} \quad M(\text{S}) = 32,1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$r(\text{Pb}^{2+}) = 119 \text{ pm} \quad r(\text{S}^{2-}) = 184 \text{ pm}$$

1. Représenter une maille.
2. Qu'est-ce que la coordinence ? La calculer.
3. Peut-on trouver le pas de la maille avec la masse volumique du cristal ? Écrire la relation et faire l'application numérique.
4. Une question sur les rayons ioniques, pertinence de l'analogie avec  $\text{NaCl}$  mais que je n'ai pas eu le temps de traiter.

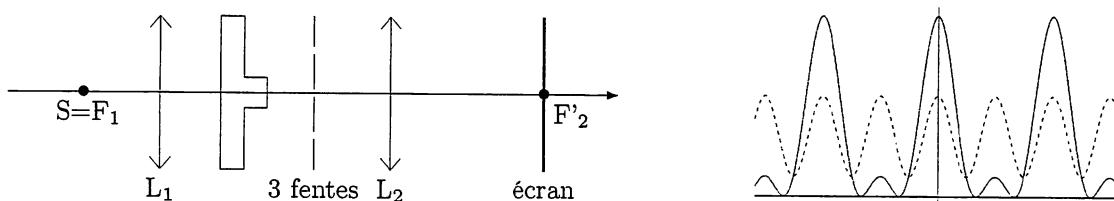
*L'application numérique donnait un résultat d'un mauvais ordre de grandeur, mais nous n'avons pas trouvé l'erreur.*

# Mines–Ponts

## MP1 Dan Berrebbi

*Grosse différence avec Polytechnique : les examinateurs (physique et mathématiques) ne nous disent absolument rien ; ils ne font que regarder et prendre des notes.*

### MP1.I Interférences



Les trois fentes sont identiques, de largeur  $a$ . On peut intercaler une lame de verre d'épaisseur  $E$ , d'indice  $n$ , présentant une excroissance, au centre, d'épaisseur  $e$ . On donne les deux courbes  $I(y)$  sur l'écran (avec et sans la lame).

1. Expliciter  $I(y)$  dans les deux cas.
2. Quelle épaisseur minimale  $e_{\min}$  faut-il utiliser pour obtenir la courbe expérimentale en tirets ?
3. Question non lue

*J'ai traité ça comme un réseau avec  $N = 3$ . L'examinateur ne parlant JAMAIS, je pense que c'était bon mais, si ça se trouve, j'avais tout faux ! Il m'a simplement dit que le terme « signal  $s(x, t)$  » que j'employais n'était pas très précis et que c'était soit « intensité » soit « amplitude », et il a voulu me faire tomber dans le piège de considérer que ce sont les intensités lumineuses qui se somment, mais je ne l'ai pas dit !*

### MP1.II Rails de Laplace

Une barre conductrice de résistance  $R$  repose sans frottement sur deux rails conducteurs parallèles contenus dans un plan horizontal. La barre peut se déplacer en translation en restant perpendiculaire aux rails. Les bornes d'un condensateur sont reliées aux rails. L'ensemble est soumis à un champ magnétique uniforme vertical. À l'instant initial, la barre est immobile, le condensateur est chargé (à l'aide d'un générateur et d'un interrupteur). Étudier.

*Je n'ai pas compris au début que lorsqu'on basculait l'interrupteur, on enlevait le générateur(stress surement). C'est dommage car je savais très bien comment faire rapidement l'étude des rails de Laplace. Là, j'ai juste eu le temps de mettre en équation.*

## MP2 Sasha Bontemps

### MP2.I Câble coaxial

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques de même axe  $Oz$ , de rayons  $R_1$  et  $R_2 > R_1$ . Un courant d'intensité  $I$  parcourt le cylindre intérieur dans le sens  $z$  croissant et le cylindre extérieur dans le sens  $z$  décroissant. L'ensemble constitue ainsi un circuit fermé « à l'infini ».

1. Calculer le champ magnétique.
2. Calculer l'inductance propre par unité de longueur  $L_\ell$ .
3. Calculer l'énergie électromagnétique par unité de longueur.
4. Retrouver la valeur de  $L_\ell$ .

### MP2.II Étude de glaçons

*L'examinateur a changé mon premier exercice car il avait oublié son ordinateur (ce qui m'a fait sortir de la salle). L'exercice initial portait sur le mouvement d'un skeleton (muni d'un cadre conducteur et soumis à un champ magnétique, voir Centrale Physique 1 PC 2011). Il a été posé au candidat suivant.*

## MP3 Katia Jodogne-del Litto

### MP3.I Bilans énergétiques et entropiques

On considère un gaz parfait diatomique auquel on rajoute 1 gramme d'eau liquide. On suppose la variation de volume liée à la présence d'eau liquide négligeable. Dans l'état A, la température est de 27°C, le volume de 100 L et la pression de  $10^5$  Pa. Données :

Masse molaire de l'eau  $M = 18 \text{ g mol}^{-1}$ .

Chaleur latente de vaporisation de l'eau  $2250 \text{ kJ kg}^{-1}$ .

Pression de vapeur saturante de l'eau à 27°C,  $P_{27} = 3,6 \text{ kPa}$  et à 100°C,  $P_{100} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

Capacité thermique molaire du gaz parfait diatomique  $C_{pm} = 29 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

*La masse molaire du gaz diatomique n'était pas donnée. J'ai dû la demander, ce qui a permis à l'examinateur de me questionner sur celle du dioxygène.*

On considère une transformation isotherme réversible vers un état B de volume 10 L.

1. Calculer la composition du mélange (quantités de matières et masses molaires) dans l'état A et dans l'état B.
2. Calculer le travail reçu par le système, la variation d'énergie interne, l'énergie thermique reçue par le système, la variation d'entropie.

Depuis l'état B on effectue une transformation à volume constant irréversible, pour amener la température à 100°C dans un état C.

3. Déterminer la composition du mélange en C.
4. Calculer la variation d'énergie interne, la variation d'entropie.

Questions non écrites posées : Tracer le diagramme ( $P, T$ ) de l'eau. Représenter un diagramme ( $P, h$ ). Est-il possible d'avoir dans A de l'eau en tant que vapeur sèche ?

### MP3.II Équilibre d'un dipôle électrique

On place un dipôle électrique sur l'axe de symétrie de révolution d'une spire de charge linéique uniforme (colinéairement à cet axe). Calculer le champ électrique créé par la spire et déterminer les positions d'équilibre du dipôle, discuter de leur stabilité.

*J'ai oublié le signe « moins » dans la formule de l'énergie potentielle... L'examinateur a essayé de me le faire retrouver avec l'exemple de la boussole.*

### MP3.III Cours court

Pour terminer, des petites questions de cours.

- Quelle est la masse d'un électron ?
- Représenter l'intensité en fonction de la fréquence dans un circuit ( $R ; L ; C$ ). Quelle est l'expression de la fréquence de résonance ? Qu'est ce que la bande passante à -3 dB. Quelle est l'expression du facteur de qualité, en quoi influe-t-il l'allure de la courbe d'intensité ?

*L'examinateur était très gentil, mais il ne se souvenait plus trop de l'exercice qu'il m'a donné à préparer. Beaucoup de petites questions de cours, et de dialogues qualitatifs.*

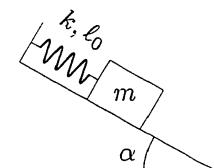
## MP4 Elsa Deville

### MP4.I Question de cours

Dans le cadre de l'électrostatique, que pouvez-vous dire sur le condensateur plan ?

### MP4.II Oscillations sur un plan incliné

Le coefficient de frottement entre le plan et le pavé est  $f$ . On lâche le pavé sans vitesse initiale depuis la longueur à vide du ressort. Trouver une condition sur  $f$  pour que le pavé fasse exactement une descente puis une montée.



## MP5 Mélitta Guihard

### MP5.I Cuisson des pâtes

Un tableau rempli de données est fourni en annexe (masse volumique, capacité thermique, conductivité... pour la casserole, l'eau et les pâtes).

On étudie la cuisson de pâtes dans une casserole en inox, posée sur une plaque chauffante de puissance 900W. On verse tout d'abord 1L d'eau dans la casserole et on la chauffe jusqu'à 100 °C, puis on y jette 250 g de pâtes (des pâtes « plates » d'épaisseur 1 mm, de capacité thermique  $2,5 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ , de masse volumique  $0,45 \text{ kg L}^{-1}$ ).

Casserole : surface latérale :  $40 \text{ cm}^2$ , surface base :  $20 \text{ cm}^2$ , épaisseur : 2 mm.

1. On impose une tension de 50 V. Calculer la résistance de la plaque. Calculer la différence de température entre les deux côtés de la paroi du fond de la casserole.

2. Quelle est l'amplitude de la variation de température au moment du versement des pâtes ? Quelle est l'énergie à fournir pour remonter l'ensemble à 100 °C ?

La cuisson des pâtes se fait en 2 temps : tout d'abord le cœur des pâtes atteint la même température que l'eau ; ensuite, une réaction chimique (mettant en jeu l'amidon) a lieu, nécessitant une énergie de 3 kJ pour 8 min de cuisson.

3. Quel est la durée caractéristique de la première étape ? Conclusion (*est-ce négligeable ?*).

Rappel sur la loi de Newton pour un transfert conducto-convectif.

4. Quel est l'ordre de grandeur de  $h$  ? Définir un rendement et le calculer.

5. Question improvisée : avec un biberon contenant du lait, chauffé au bain-marie, le rendement est-il plus élevé ? À quels autres moyens peut-on penser pour réchauffer ce biberon ?

### MP5.II Pour occuper les 5 dernières minutes

Une bassine d'eau est posée sur une balance. Un opérateur y plonge une masse accrochée au bout d'un fil.

1. L'objet ne touche pas le fond et le fil est tendu : qu'indique la balance si la densité de l'objet est supérieure à 1 ? égale à 1 ?
2. Et si l'objet touche le fond ?

### Déroulement ; commentaires

Examinateur très sympathique qui s'attachait beaucoup plus à mes idées qu'aux résultats numériques. Il essayait de me faire gagner du temps lorsque, par exemple, je me rendais compte qu'une application à la calculatrice était aberrante du fait d'un oubli de conversion ou d'une faute de frappe, et me donnait simplement le bon résultat pour que je puisse l'utiliser dans les calculs suivants. Quand j'hésitais sur une question ou sur la vraisemblance d'un résultat, il me posait des questions qualitatives pour me mener intuitivement vers la conclusion attendue.

Pour le second exercice, je n'ai quasiment rien écrit au tableau, il m'a simplement demandé quels étaient mes idées immédiates et je lui ai répondu oralement (à l'aide de schémas).

## MP6 Sibylle Marcotte

### MP6.I Diffusion thermique

Avec préparation : exercice classique ne demandant pas de raisonnements compliqués, un peu calculatoire.

### MP6.II Optique ondulatoire

Sans préparation : énoncé noyé dans beaucoup de texte ; il était question d'une source étendue et non monochromatique éclairant un interféromètre de Michelson ; on chariotait.

## MP7 Nataniel Marquis

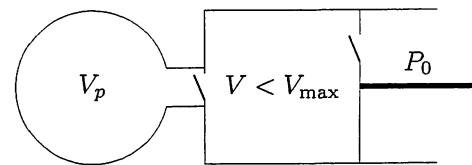
### MP7.I Question de cours

Interféromètre de Michelson en lame d'air et en coin d'air. Ordres d'interférence et figures d'interférence. Dans le cas de la lame d'air, que se passe-t-il lorsque l'on chariope ? Et lorsque l'on utilise une source étendue (pour les deux réglages) ? (*localisation des franges*) Et si l'on utilise un doublet de longueurs d'onde ? (*Calcul pour le doublet de la lampe à vapeur de sodium ; ne pas oublier que le capteur ne détecte pas les termes en  $\cos(\Delta\omega t)$* ).

### MP7.II Gonflage d'un pneu

On considère un pneu de volume constant  $V_p$ . Ce pneu est relié au corps d'une pompe via une valve qui s'ouvre lorsque la pression dans le pneu est plus faible que celle dans le corps de la pompe. Le corps de la pompe est fermé par un piston avec lui aussi une valve qui donne sur l'extérieur. On considère que tant que cette deuxième valve est ouverte, la pression dans la pompe est  $P_0$ , la pression extérieure.

Le piston peut se déplacer entre deux positions qui correspondent à des volumes  $V_{\min}$  et  $V_{\max}$  dans le corps de la pompe. Toutes les transformations sont isothermes.



1. Prouver que la pression dans le corps de la pompe est bornée et que la pression dans le pneu ne peut jamais excéder une certaine  $P_{\max}$ . La calculer.
2. On suppose le pneu à la pression initiale  $P_0$ . Calculer la pression dans le pneu après le premier aller-retour du piston. (*Considérer le moment où le volume du corps est maximal. Puis à partir de cet état déterminé, regarder l'évolution au fur et à mesure que l'on comprime*).
3. Trouver la pression  $P_{p,n}$  au bout de  $n$  allers-retours. (*Se placer au moment de l'aller-retour où les pressions dans le corps et dans le pneu sont égales. On a une situation semblable à la question précédente. D'où une relation de récurrence : suite arithmético-géométrique*).
4. Comment évolue la différence entre la pression du pneu et la pression maximale en fonction du nombre d'allers-retours ? (*suite géométrique*).
5. Une application numérique et des questions sur les performances lorsque l'on change les paramètres.
6. Question qualitative : quelle hypothèse avons-nous faite (*isotherme*) ? Est-elle correcte ? L'abandon de cette hypothèse améliore-t-il l'efficacité de la pompe ?

## MP8 Alexandre Azor

### MP8.I

*Énoncé très partiel.*

Un fluide en écoulement permanent traverse un thermostat de température  $T_s$ . En entrée il est à une température  $T_e$  et, en sortie, il est à la température  $T_s$ . On donne  $D_m$  : le débit massique d'écoulement du fluide,  $c_p$  : capacité thermique massique du fluide.

1. Déterminer la puissance thermique fournie par le thermostat au fluide.

2. Déterminer la variation d'enthalpie du fluide entre l'entrée et la sortie du thermostat.

On donne  $dh = Tds + v dP$  avec  $v$ ,  $s$  et  $h$  : grandeurs massiques.

### MP8.II

On considère un fil cylindrique, de rayon  $a$ , infini, parcouru par un courant d'intensité  $i(t)$ . On se place dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires. On admet que tout point de l'espace est de densité volumique de charge nulle.

1. Déterminer le champ magnétique dans le fil.
2. Déterminer le champ électrique en tout point de l'espace.
3. Expression du champ électrique quand  $i(t) = I_0 \cos(\omega t)$ .

## MP9 Akim Viennet

### MP9.I Question de cours

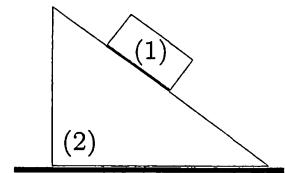
Les trous d'Young : interférences pour une source monochromatique ponctuelle, ordre d'interférence, puis cas d'une source étendue.

*J'ai présenté le paragraphe du cours correspondant, puis l'examinateur m'a posé de nombreuses petites questions d'optique, on a notamment discuté longuement des phénomènes de brouillage en faisant le calcul exact dans diverses situations, on a enfin un peu parlé de l'interféromètre de Michelson.*

### MP9.II Glissement de solides

Le solide (1) posé sur (2) peut glisser sur (2) avec un coefficient de frottement  $f$  tandis que (2) glisse sans frottement sur le sol.

1. Condition pour que (1) glisse ?
2. On exerce maintenant une force  $F$  sur (2), pour le pousser vers la droite.  
Que se passe-t-il ?
3. Donner les équations du mouvement des deux solides dans les différentes situations.



*Examinateur bienveillant qui m'a plusieurs fois posé des questions plus ou moins directes pour me faire prendre conscience d'une petite erreur. Exercice simple, mais avec les nombreuses discussions et une erreur de signe de ma part, j'ai à peine pu terminer la question 3.*

## MP10 Julien Zucchet

### MP10.I 3 trous d'Young

Soit  $S$  une source monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  que l'on place au foyer objet d'une lentille de distance focale  $f'_1$ . On place au-delà de la lentille 3 trous d'Young identiques, espacés d'une distance  $a$  (un sur l'axe reliant  $S$  et le centre de la lentille, les deux autres de part et d'autre). On projette sur un écran en mettant une lentille de distance focale  $f'$  après les trous et en plaçant l'écran dans le plan focal image de la lentille. On repère un point  $M$  par sa coordonnée  $x$ .

1. Donner l'expression de  $I(x)$ . La courbe normalisée était donnée ensuite. Définir l'interfrange (l'examinateur a aussi voulu que je donne une correspondance graphique) et l'exprimer en fonction de  $a, f'$  et  $\lambda$ .
2. On reproduit l'expérience mais en obstruant le trou du milieu. Quelle est la nouvelle expression de  $I(x)$ ? Quelle(s) conséquence(s) cela a-t-il sur l'interfrange? Une fois l'expression obtenue l'examinateur m'a aussi demandé si cette expression ne me rappelait pas d'autres expressions.
3. Même question en obstruant le trou du bas.
4. On reprend l'expérience initiale et on place maintenant une lame d'indice optique  $n$  d'épaisseur  $e$  devant le trou du milieu et d'épaisseur  $2e$  devant le trou du bas. Quelle est la nouvelle expression de  $I(x)$ ? Quelle conséquence sur la figure d'interférence ?

L'exercice était saupoudré de questions graphiques : la première intensité était donnée, mais il m'a fait reproduire la figure puis superposer les autres intensités, et discuter de la façon dont la courbe allait être modifiée par les différents changements.

### MP10.II Chauffer la piscine

On considère un moteur (M) fonctionnant par cycles quasistatiques réversibles entre une source  $S_1$  de température  $T_1$  et l'air de l'atmosphère  $S_2$  de température  $T_2$ , qui entraîne une pompe à chaleur (P) fonctionnant par cycles quasistatiques réversibles entre  $S_2$  et l'eau d'une piscine  $S_3$  à la température  $T_3$ . L'objectif est de garder la piscine à une température constante. On considérera que  $T_1, T_2$  et  $T_3$  sont constantes.

1. Classer par ordre croissant  $T_1, T_2$  et  $T_3$ .
2. Estimer l'efficacité en fonction de  $T_1, T_2$  et  $T_3$ .
3. Une autre question pour savoir si le dispositif était plus efficace en changeant les sources de (M).

## MP11 Samuel Lerbet

### MP11.I Mouvement d'une charge

On se donne un repère  $(O, x, y, z)$ . On place une charge  $q > 0$  en chacun des points  $(a, 0, 0)$ ,  $(0, a, 0)$ ,  $(-a, 0, 0)$ ,  $(0, -a, 0)$ . Au voisinage de  $O$ , dans le plan  $xOy$ , on pose :

$$V(x, y) \approx K_0 + K_1 x + K_2 x^2 + K_3 y + K_4 y^2 + K_5 xy$$

1. Rappeler les propriétés de symétrie de  $\vec{E}$ .
2. (a) Donner des relations entre les constantes  $K_i$ .  
(b) Calculer  $K_0$ ; donner le signe de  $K_2$ .
3. On place une particule de masse  $m$ , de charge  $q'$  en  $(x_0, 0)$  avec une vitesse initiale  $(0, v_0)$ .  
(a) Déterminer  $(x(t), y(t))$ . On fera apparaître une pulsation  $\omega$ .  
(b) Quelle est la trajectoire de la particule ?  
(c) Que doit valoir  $v_0$  pour que la trajectoire soit circulaire ?
4. En réalité, il y a une puissance rayonnée  $P = \frac{2}{3} \frac{\mu_0}{4\pi c} (q' a_{cc})^2$  où  $a_{cc}$  est l'accélération de la particule. Par un argument énergétique, donner  $r(t)$ , le rayon de la trajectoire à l'instant  $t$ . On suppose que  $v(t) \sim \omega r(t)$  et  $a_{cc} \sim \omega^2 r(t)$ .

### MP11.II Question ouverte

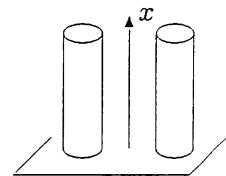
On modélise les murs d'une salle d'oral par deux couches de conductances données; de même pour les fenêtres. Le candidat produit 120 W et l'examinateur 80 W. La température extérieure est 30 °C et l'intérieure est 20 °C. Le climatiseur a  $\frac{1}{16}$  de l'efficacité de Carnot. Calculer le coût énergétique et l'entropie créée après une heure d'oral.

## MP12 Caroline Adamy

### MP12.I Expérience de Ingenhousz

Deux cylindres (l'un en cuivre, l'autre en étain), de longueur  $\ell$ , de rayon  $R$  sont soudés en  $x = 0$  à un support. Ils sont recouverts d'une fine couche de paraffine. Le support est maintenu à une température  $T$  (supérieure à la température  $T_f$  de fusion de la paraffine). L'air est à température  $T_a$  et caractérisé par un coefficient conducto-convectif  $h$ .

Une fois le régime permanent établi, on note  $x_1$  et  $x_2$  les cotes jusqu'auxquelles la paraffine a fondu :  $x_1 = 15,6$  cm (cuivre);  $x_2 = 6,4$  cm (étain).



On connaît  $\lambda_{Cu}$  mais pas  $\lambda_{Sn}$ .

1. À votre avis, quel métal a la plus grande conductivité ?
2. Sous quelle hypothèse peut-on considérer les cylindres comme infiniment longs ? (*Il faut comparer  $\ell$  à une longueur caractéristique en régime permanent.*)
3. Calculer  $\lambda_{Sn}$ .

### MP12.II Pression dans Mercure

La planète Mercure est assimilée à une sphère de rayon  $R = 2400$  km, de masse  $M = 3,3 \times 10^{23}$  kg répartie uniformément.

1. Calculer le champ gravitationnel à l'intérieur de Mercure.
2. On considère que la pression est nulle à la surface. À quelle distance du centre a-t-on  $P = 0,2$  Mbar ?  
*Il fallait utiliser la loi de l'hydrostatique.*

## MP13 Nathan Daix

### MP13.I Proche du cours (20 minutes de préparation, 20 minutes de passage)

Diffusion atmosphérique avec un texte d'introduction donnant les données numériques utiles.

On utilise le modèle de l'électron élastiquement lié : on considère un électron de charge  $-e$  et de masse  $m$ .  $\vec{r}$  désigne l'écart à sa position d'équilibre. On considère en plus des autres forces utiles :

- i) une force de rappel  $\vec{F}_r = -m\omega^2\vec{r}$ ;
- ii) une force de « frottement »  $\vec{F}_f = -\frac{m}{\tau} \frac{d\vec{r}}{dt}$  avec  $\tau = 10^{-6}$  s et  $\omega = 10^{16}$  rad s $^{-1}$ .

On considère que la vitesse est parallèle au champ électrique  $\vec{E} = E_0 e^{i(\omega t - kz)} \vec{u}_x$ .

1. Donner l'équation du mouvement de l'électron. On pourra faire une approximation que l'on justifiera. Donner physiquement l'interprétation de la force de frottement.
2. Donner l'expression du moment dipolaire, montrer qu'il peut s'écrire sous la forme  $\vec{p} = \vec{p}_0 e^{-i\omega t}$  et donner son expression à l'aide de l'équation précédente.
3. En utilisant les valeurs numériques de l'énoncé et en considérant l'onde électromagnétique comme lumineuse, en déduire une expression approchée de  $\vec{p}$ .
4. Calculer la puissance moyenne rayonnée  $\langle P_{\text{ray}} \rangle$ . On donne l'expression du champ électrique :

$$\vec{E} = \frac{\mu_0}{4\pi r} \vec{p} \left( t - \frac{r}{c} \right) \sin \theta \vec{u}_\theta$$

et l'intégrale  $\int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta = \frac{4}{3}$ .

5. En déduire une explication de la couleur bleue du ciel.
6. En réalité il y a une perte énergétique lors de la propagation. En effectuant un bilan d'énergie montrer que

$$\frac{dI}{dz} = -\frac{I}{\delta}$$

7. Résoudre cette équation et discuter physiquement du paramètre  $\delta$ .

## MP13.II Physique statistique (sans préparation)

Évaluer la probabilité relative (rapport des deux probabilités) que l'atome d'hydrogène soit dans son premier état excité par rapport à son état fondamental à la température de la salle. Qu'en est-il pour un atome d'hydrogène de l'étoile LGXMPX+4 de température de surface 9500 K ?

*Subtilité : Il fallait prendre en compte la dégénérescence pour les états excités de l'atome d'hydrogène. Cela revenait à multiplier le poids de Boltzmann par le nombre d'états quantiques disponibles. Après une discussion sur les nombres quantiques  $n, l, m, m_s$  j'ai dit qu'il y avait 2 état possibles pour l'hydrogène dans son état fondamental et 8 dans son premier état excité, l'examinateur m'a dit que c'était bon.*

## MP14 Simon Rouard

### MP14.I Question de cours (15 à 20 minutes de préparation)

Magnétostatique : flux, champs.

*J'ai déroulé le cours et traité 4 exemples : le fil infini sans épaisseur, le fil épais, le solénoïde infini et la spire.*

## MP14.II Traitement du signal

Soit la fonction de transfert  $H = -\frac{Z}{R}$  où  $Z$  est l'association en parallèle d'un résistor  $R'$  et d'un condensateur  $C$ .

1. On suppose que le signal d'entrée est  $e(t) = e_0 + e_1 \sin \omega t$  avec  $R'C\omega \gg 1$ . Donner le signal de sortie ; dessiner l'allure.
2. On utilise en entrée un créneau (le développement en série de Fourier est donné). Donner et dessiner la sortie.

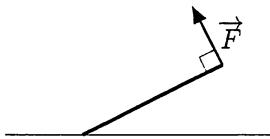
## MP15 Romain Phan

### MP15.I Question de cours

« Machines thermiques dithermes cycliques ». 15 minutes de préparation, 10 minutes d'exposé.  
*L'examinatrice n'a rien dit pendant mon exposé. Elle m'a repris sur une erreur de signe à la fin.*

### MP15.II Tige à soulever

Une tige homogène, de masse  $m$ , de longueur  $L$  est posée à plat sur une table. On soulève très doucement la tige en appliquant une force  $\vec{F}$  normale à la tige. Calculer la valeur minimale du coefficient de frottement  $f$  pour que la tige ne glisse pas quand on la remonte.



### MP15.III Interférométrie

Un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air est éclairé par une lampe à vapeur de sodium ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ). On dispose d'une lentille de distance focale  $f' = 50 \text{ mm}$  et on souhaite photographier les franges sur un écran placé à  $D = 80 \text{ cm}$ . Une fois le montage réglé, on trouve 400 traits par mm sur l'écran.

1. Faire un schéma du dispositif
2. De quel angle sont inclinés les miroirs ?

*Examinatrice souriante, parlant peu, acquiesçant de temps en temps, sans plus. Seules remarques faites : pour me rappeler que le poids s'applique sur la tige et que  $\sin^2 \theta = 1 - \cos^2 \theta$*

## MP16 Victorine Saliou

### MP16.I Relaxation d'un atome (20 min de préparation)

On considère un atome (proton-électron) ayant acquis un moment dipolaire  $\vec{p} = p(t)\vec{u}_r$  vérifiant :

$$\ddot{p} + 2\gamma\dot{p} + \omega_0^2 = 0$$

1. Interpréter physiquement l'équation et ses trois termes.
2. Calculer  $\omega_0$  pour  $\lambda_0 = 598 \text{ nm}$  et comparer avec  $\gamma = 2 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ . Que dire de l'amortissement ?
3. Résoudre l'équation avec  $p(0) = p_0$ .
4. Calculer les énergies cinétique et potentielle de l'électron ; en déduire son énergie mécanique.
5. Étude de l'amortissement dû à la puissance rayonnée  $P_r(t) = \frac{\mu_0}{6\pi c} \|\ddot{\vec{p}}\|^2$ .

### MP16.II Question de cours (sans préparation)

On utilise le dispositif des trous d'Young : expliquer ce que l'on voit sur l'écran dans le cas d'une source ponctuelle puis étendue.

## MP17 Julien Aubert

### MP17.I Premier exercice

Exercice classique sur le calcul de l'amplitude d'un champ électrique en utilisant le vecteur de Poynting.

### MP17.II Étude de documents

Les documents portaient sur la déviation d'un jet d'atomes de Césium par des photons.

Un jet atomique de Césium est issu d'un four maintenu à 400 K. On peut le faire rencontrer à angle droit un faisceau lumineux (« jet de photons »). On s'intéresse à la différence des trajectoires avec et sans photons. Les atomes sont reçus par un détecteur et on donne le signal du détecteur en fonction de sa position. Commenter et estimer le nombre moyen de photons absorbés par les atomes de Césium

## MP18 Nissim Maruani

### MP18.I Pouvoir séparateur d'un réseau

On prend un réseau de pas  $a$  comportant  $N$  fentes éclairé en incidence normale.

Quelle est l'intensité reçue à l'angle  $\theta$  ?

Quelle est la condition sur  $N$  pour que l'on puisse séparer à l'ordre 1 le doublet de sodium de longueurs d'onde  $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$  et  $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$  ?

L'examinateur m'a invité à évaluer la largeur des pics de la fonction  $\frac{\sin^2(\dots)}{\sin^2(\dots)}$  pour en déduire une condition de séparation. Il m'a demandé l'ordre de grandeur de  $1/a$ .

### MP18.II Électrostatique

On prend deux plaques métalliques planes parallèles d'aire  $S$  espacées de  $L$ , toutes les deux reliées à la masse (potentiel nul). On place sur la plaque inférieure un gel de hauteur  $h$  avec une densité volumique de charge  $\rho$ . On néglige les effets de bords. Quel est le potentiel  $V$ ? Déterminer les charges surfaciques portées par chacune des plaques. (On rappelle les relations de passage). L'examinateur m'a demandé pourquoi  $E$  et  $V$  étaient continus en différents points.

### MP18.III Barque

Deux personnes de masses  $m_1$  et  $m_2$  sont assises sur les deux extrémités d'une barque de longueur  $L$  et de masse  $M$ . Elles échangent alors leurs places. Quel est le déplacement de la barque ?

De mémoire on trouve  $\frac{(m_2-m_1)L}{m_1+m_2+M}$ .

## MP19 Myriam Levy

### MP19.I Question de cours

Mouvement unidimensionnel d'un point matériel soumis à une force conservative :

- positions d'équilibre, stabilité,
- petits mouvements autour d'une position d'équilibre stable.

### MP19.II Miroirs de Fresnel

Le schéma des miroirs de Fresnel était donné. Valeurs numériques : angle  $\alpha = 2,5 \times 10^{-4} \text{ rad}$  entre les miroirs, distance  $d = 2 \text{ m}$  entre la source ponctuelle et l'intersection des miroirs, distance  $D = 5 \text{ m}$  entre l'écran et l'intersection des miroirs, longueur d'onde  $\lambda = 539 \text{ nm}$ .

1. Dessiner les sources secondaires  $S'$  et  $S''$ .
2. L'écran est perpendiculaire à la médiatrice du segment reliant les deux sources secondaires. Calculer la différence de marche.  
*L'examinateur m'a conseillé de dessiner un schéma se réduisant à  $S'$ ,  $S''$  et l'écran.*
3. Décrire la figure d'interférences.
4. La figure est-elle observable à l'œil nu? Valeur de l'interfrange? C'est raisonnable. Exprimer et calculer la taille de la figure d'interférences. C'est beaucoup trop petit.
5. On place la source au niveau du foyer objet d'une lentille convergente. Question à peine abordée : l'examinateur a simplement cherché à me faire dire l'expression « ondes planes » et a fait remarquer que cela revenait à faire tendre  $d$  vers l'infini, ce qui faisait tendre la différence de marche vers une certaine valeur.

## MP20 Rémi Barritault

### MP20.I Tunnel souterrain

On s'intéresse au champ gravitationnel créé par la Terre. On donne son expression à l'intérieur de la Terre :  $\vec{g} = -g_0 \frac{r}{R_T} \vec{u}_r$  (coordonnées sphériques centrées sur le centre de la Terre).

1. Calculer l'énergie potentielle en tout point de l'espace.

On considère un puits rectiligne AB traversant la Terre en passant par son centre. (A est un point de la surface de la Terre, B son symétrique par rapport au centre O de la Terre et le puits est selon le segment AB).

2. On lâche sans vitesse initiale un objet ponctuel en A. En combien de temps arrive-t-il en B ? On néglige la rotation de la terre et il y a glissement sans frottement.
3. Même question mais A et B sont deux points quelconques de la surface de la Terre (le segment AB ne contient plus nécessairement O).

### MP20.II Température dans un fil électrique

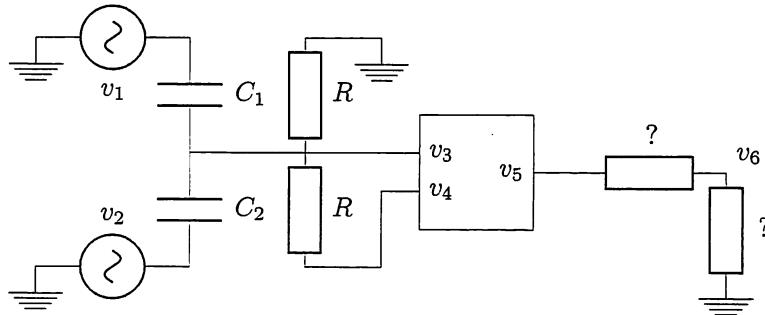
On considère un fil conducteur en cuivre de rayon  $R$  et de longueur  $L$  parcouru par un courant électrique. La puissance volumique électrique  $P_v$  est uniforme dans le fil.

1. Calculer la différence de température entre le centre du fil et l'air extérieur.
2. On ajoute une gaine en plastique.

*Je n'ai pas eu le temps d'aborder les questions suivantes et ne les ai donc pas mémorisées.*

# Centrale-Supélec

## ECP1 Physique-Chimie 2 Caroline Adamy



On admet (fonctionnement du multiplicateur) que  $v_5 = Kv_3v_4$  et que les intensités sur les bornes d'entrée (potentiels  $v_3$  et  $v_4$ ) sont nulles.

On suppose que  $v_1 = \frac{v_0}{2} - \delta v \sin \omega t$  et  $v_2 = \frac{v_0}{2} + \delta v \sin \omega t$ .

Mettre l'équation différentielle vérifiée par  $v_3$  sous la forme  $\tau \frac{dv_3}{dt} + v_3 = A + B\omega \tau \cos \omega t$  et déterminer  $\tau$ ,  $\omega$ ,  $A$  et  $B$ .

À l'aide d'un programme Python permettant de calculer  $v_3(t)$  pour différentes valeurs de  $\tau$ ,  $\omega$ ,  $A$  et  $B$  (on pouvait les modifier), interpréter l'action du circuit en terme de filtrage.

On suppose  $\omega \tau \gg 1$ . Calculer  $v_3$ .

On pose  $C_1 = C_0 - x$  et  $C_2 = C_0 + x$ . Comment est modulée l'amplitude de  $v_3$ ? Il fallait trouver qu'elle était multipliée par  $|x|$ .

Déterminer le spectre du signal  $v_5$ : fréquences, amplitudes.

On désire ne conserver que la composante continue du signal. Quel filtre faut-il réaliser? Avec quels composants?

Déterminer le gain pour que... Pas eu le temps

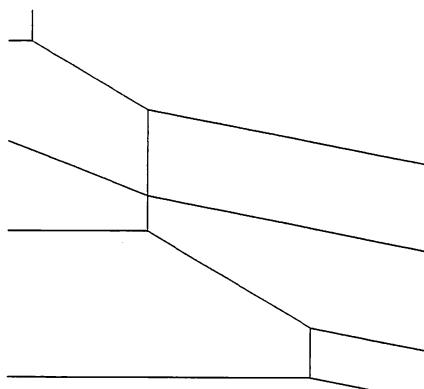
## ECP2 Physique-Chimie 1 Julien Zucchet

### Oxydoréduction ; le vanadium

En annexe : le diagramme d'oxydoréduction du vanadium. Les espèces solubles dans l'eau à considérer sont :  $V^{2+}$ ,  $V^{3+}$ ,  $VO^{2+}$  et  $VO_2^+$ , plus le vanadium solide  $V_{(s)}$ .

Couple	$V^{2+}/V$	$V^{3+}/V^{2+}$	$VO^{2+}/V^{3+}$	$VO_2^+/VO^{2+}$
$E^\circ(V)$	-1,18	-0,25	0,34	1,00

1. Donner les hydroxydes associés aux espèces solubles.
2. Associer à chaque domaine l'espèce correspondante.
3. Montrer que les 4 segments les plus à droite du diagramme sont parallèles (*ils sont de pente -0,06 V et frontières entre 2 solides*).
4. On remarque que l'hydroxyde associé à l'ion le plus oxydé du vanadium est de couleur rouge brique. On se place à  $pH = 2,0$  et on élève progressivement le potentiel d'une solution de  $V^{2+}$ . À partir de quel potentiel voit-on apparaître un précipité rouge brique? Je l'ai fait graphiquement avec l'intersection de  $pH = 2$  et d'une frontière, et l'examinateur a demandé s'il existait une autre méthode permettant de le déterminer plus précisément, le potentiel standard du couple de la frontière était donné.
5. Le vanadium est-il un métal noble?
6. Une dernière question dont je ne me souviens plus.



## ECP3 Physique-Chimie 2 Julien Zucchet

### Faire tourner les œufs

L'exercice était consacré à l'étude de la rotation d'un œuf dur ou cru. Le sujet commençait par une petite introduction sur le thème. Le script Python était basique, on rentrait les données, il y avait des expressions d'énergie mécanique à remplir dans une fonction, le script pour afficher les courbes était déjà fait, il ne manquait plus qu'à appuyer sur F5. Il y avait un formulaire complet (laplacien en coordonnées diverses, champ créé par un dipôle...) et deux schémas d'œuf.

On assimile l'œuf à un ellipsoïde de demi-axes de longueur  $b$  [axes (1) et (3)] et  $a > b$  [axe (2)], de révolution autour de (2). Posé sur une table (avec l'axe (2) horizontal), on peut faire pivoter l'œuf autour de (1) mais un œuf avec l'axe (2) vertical peut aussi pivoter autour de (2).

**Données :**

- Masse de l'œuf : 53 g
- $a = 3$  cm et  $b = 2$  cm
- $J_2 = \frac{2}{5}mb^2$  et  $J_1 = J_3 = \frac{m}{5}(a^2 + b^2)$

1. (a) Pour déterminer si un œuf est cru ou dur sans le casser, on le fait tourner sur lui-même. L'œuf dur tourne rapidement et régulièrement tandis que l'œuf cru tourne irrégulièrement. Expliquer le phénomène.  
(b) On fait tourner les 2 œufs autour de (1), on les touche très rapidement avec la main pour arrêter leur rotation. Que se passe-t-il ?
2. On fait tourner l'œuf dur avec une vitesse angulaire  $\omega$ .
  - (a) Déterminer l'énergie mécanique de l'œuf lorsqu'il tourne autour de (1) ( $E_{m1}$ ) et lorsqu'il tourne autour de (2) ( $E_{m2}$ ). On prendra l'énergie potentielle de pesanteur nulle à la hauteur de la table.
  - (b) Y a-t-il des positions préférentielles suivant les valeurs de  $\omega$ ? Déterminer la valeur critique  $\omega_c$  entre les deux positions. On pourra s'aider du script Python. **Attention!** Le script Python était mal fait car deux valeurs de moment d'inertie étaient inversées : les deux courbes d'énergie mécanique ne se coupaient plus... En modifiant le programme j'ai pu déterminer graphiquement la valeur de  $\omega_c$ , l'examinateur m'a ensuite (quand j'étais au tableau) demandé d'en déterminer la valeur exacte en  $\text{rad s}^{-1}$  puis en tours par seconde.
3. On fait maintenant tourner l'œuf dur autour de (1) avec une vitesse  $\omega_i = \omega_c + \delta\omega$  avec  $\delta\omega \ll \omega_c$ . On suppose qu'il n'y a pas de frottement entre l'œuf et la table.
  - (a) Que va-t-il se passer ?
  - (b) A la fin, l'œuf a une vitesse  $\omega_f = \omega_c + r\delta\omega$ . Déterminer  $r$  à l'ordre 1 en  $\delta\omega$ . Commenter. Que se passe-t-il si  $a \simeq b$  ?
  - (c) L'expérience se passe pendant  $\Delta t$ . Estimer  $\Gamma_z$  la composante verticale du couple exercé par la table sur l'œuf.
  - (d) Une dernière question dont je ne me souviens plus qui portait je crois sur comment déterminer  $\Delta t$ .

*L'examinateur était plutôt bienveillant et corrigeait les petites erreurs de calcul (oubli de distribuer un terme...). Au milieu de l'exercice il m'a demandé si j'avais déjà essayé de faire l'expérience avec un œuf, puis il m'a dit qu'au rugby certain(e)s s'amusent à faire l'expérience avec le ballon : on le fait tourner horizontalement (autour de l'axe (1)) avec une vitesse élevée, il se relève et on tape dedans. J'ai malheureusement perdu du temps inutilement à comprendre pourquoi le programme ne fonctionnait pas correctement et à le corriger...*

## ECP4 Physique-Chimie 1 Simon Rouard

### Exercice de chimie

- Un long texte sur des réactions chimiques. Il fallait faire des combinaisons linéaires de réactions et utiliser  $\Delta_r G^\circ = -N\mathcal{F}E^\circ$  plusieurs fois.
- Donner la configuration électronique d'un élément et d'un ion associé, énoncer la règle de Kleschkowski...
- Plusieurs questions ensuite, non traitées.

## ECP5 Physique-Chimie 2 Mélitta Guihard

### Formation des planètes telluriques

Les planètes telluriques telles que Mars ou la Terre se sont formées par la condensation de nuages de poussières sous l'effet de l'interaction gravitationnelle, au cours d'un processus dit d'accrétion.

1. Une planète, supposée ponctuelle et de masse  $M$ , est immobile dans le vide à l'origine O d'un référentiel galiléen. Un point matériel de masse  $m$  arrive de l'infini avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$ . On définit  $b = \frac{\|\vec{L}\|}{mv_0}$ , où  $\vec{L}$  est le moment cinétique en O de la masse  $m$ .

- (a) Faire un schéma de la situation. Quelle est la dimension de  $b$ ? En donner une interprétation géométrique.

Les deux masses interagissent sous l'effet de la gravitation. On note  $G$  la constante newtonienne de gravitation. On suppose  $m \ll M$ , de telle sorte que la masse  $M$  reste pratiquement immobile.

- (b) Quelle est la nature de la trajectoire de la masse  $m$ ? On note  $r_{\min}$  sa distance minimale d'approche à l'origine. Exprimer  $b$  en fonction de  $r_{\min}$ ,  $v_0$ ,  $G$  et  $M$ .

2. On considère maintenant le cas où la planète de masse  $M$  n'est plus ponctuelle mais est assimilée à une sphère homogène de rayon  $R$ . Exprimer la vitesse de libération  $v_l$  en fonction de  $G$ ,  $M$  et  $R$ . Montrer que la masse  $m$  arrivant de l'infini heurte la planète si  $b^2 < R^2(\frac{v_l^2}{v_0^2} + 1)$ .

3. On suppose que l'univers entourant la planète est constitué, à grande distance de celle-ci, d'un grand nombre de points matériels de masse  $m$ , répartis aléatoirement et ayant tous la même vitesse  $v_0$  (mais après discussion avec l'examinateur, il s'agissait en fait du vecteur  $\vec{v}_0$ ). On note  $n$  la densité volumique de points matériels (nombre par unité de volume).

- (a) Exprimer le nombre moyen de points matériels heurtant la surface de la planète par unité de temps en fonction de  $n$ ,  $v_0$ ,  $R$ ,  $G$  et  $M$ .

On suppose que les points matériels heurtant la planète s'y écrasent, augmentant ainsi sa masse  $M$ . On suppose également que la planète reste sphérique, de masse volumique  $\rho$  constante, de telle sorte que son rayon  $R$  augmente.

- (b) Donner l'expression de la vitesse d'accrétion  $\frac{dR}{dt}$  en fonction de  $n$ ,  $v_0$ ,  $G$ ,  $\rho$ ,  $m$  et  $R$ . Analyser l'évolution de  $R$  pour  $v_0 \gg v_l$  puis  $v_0 \ll v_l$ . Expliquer pourquoi on parle, pour ce processus, de focalisation gravitationnelle ainsi que d'accrétion galopante.

4. On considère maintenant deux planètes immobiles de masses  $M_1$  et  $M_2$ , à grande distance l'une de l'autre, de même masse volumique  $\rho$  et subissant toutes deux le processus d'accrétion décrit ci-dessus. On suppose  $M_1 > M_2$  initialement.

Montrer que dans le cas de l'accrétion galopante, le rapport  $M_1/M_2$  augmente au cours du temps. Commenter.

## ECP6 Physique-Chimie 2 Alexandre Azor

1. On considère 2 fils infinis, rectilignes, d'épaisseur nulle, parcourus par un courant d'intensité  $I = 1 \text{ A}$  et distants de 1 m. Déterminer la force linéaire qu'exerce un fil sur l'autre. Est-elle attractive? répulsive?

Question orale : Quelle est la différence entre la force de Lorentz et la forces de Laplace?

2. On considère une roue d'axe Oz comportant 1 rayon, parcourue par un courant d'intensité  $I$ . Elle est placée dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B} = B_0 \vec{u}_z$ .

- (a) Déterminer le moment des forces magnétiques subies par le rayon.

- (b) Même question avec  $N$  rayons.

- (c) Même question avec un disque plein.

- (d) Même question avec un disque plein et  $\vec{B}$  à symétrie de révolution, pas nécessairement uniforme.

Question orale : Peut-on déterminer un point d'application aux forces de Laplace appliquées sur un rayon?

## ECP7 Physique-Chimie 2 Romain Phan

### Condensateur avec fuites

On considère un diélectrique de permittivité  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ , de conductivité  $\gamma$  compris entre les armatures d'aire  $S$  d'un condensateur plan. Les armatures sont dans les plans  $z = 0$  et  $z = e$ . On néglige les effets de bord. Le plan  $z = 0$  porte une densité de charge  $\sigma(t)$ , le plan  $z = e$  porte  $-\sigma(t)$ . Dans le diélectrique circule un courant de densité volumique  $j_c \vec{u}_z$ . Hors du diélectrique, circule un courant de densité  $j_0 \vec{u}_z$ .

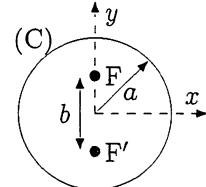
1. Exprimer le champ électrique dans le diélectrique. Calculer  $V$  en posant  $V(e) = 0$ .
2. Montrer que  $j_0 = \frac{d\sigma}{dt} + j_c$ .
3. Rappeler le lien entre  $j_c$ ,  $\gamma$  et  $E$ .
4. Trouver une équation différentielle sur  $V_s(t)$  où  $V_s(t) = V(z = 0, t)$ . On donne la courbe d'évolution de  $V_s(t)$  (avec valeurs numériques, courbe de relaxation exponentielle tendant vers 1,5 kV avec une constante de temps 700 s).  $S = 12 \text{ cm}^2$ ,  $I_0 = S j_0 = 3 \text{ nA}$ ,  $e = 1 \mu\text{m}$ . En déduire la valeur de  $\epsilon_r$ .
5. En fait, la tension atteinte au bout d'un temps long ne dépend que faiblement de  $j_0$ . Le modèle proposé est-il cohérent ?
6. On considère que  $\gamma$  dépend de la tension selon la loi  $\gamma = \gamma_0 \exp(\beta \sqrt{V_s})$  avec  $\beta > 0$ . On obtient alors une équation différentielle de la forme  $\alpha j_0 = \frac{dV_s}{dt} + f(V_s)$ . Trouver  $\alpha$  et  $f$ .  
Il fallait implémenter cette fonction  $f$  dans un programme Python qui résolvait l'équation différentielle. *Je n'ai pas eu le temps de le faire – je n'en ai pas eu besoin.*  
Expliquer pourquoi ce modèle est cohérent avec les observations de la question précédente.
7. Dernière question non faite mais l'examinateur a affirmé qu'on pouvait modéliser le système par un condensateur se capacité  $C$  sans fuites en parallèle avec une résistance  $R$ , l'ensemble étant alimenté par une source de courant  $I_0$ .
  - (a) Justifier (par l'intermédiaire d'une équation) que l'on peut bien affirmer que  $R$  et  $C$  sont en parallèle.
  - (b) À cause de la fonction  $f$ , on doit rajouter un dipôle (D) en parallèle. Lequel ? Avec quelle orientation ?  
*L'examinateur attendait comme réponse « une diode » : il l'a largement suggéré en écrivant  $V_{\text{seuil}}$  sur le graphe de  $f(x)$  que j'ai tracé et qui correspondait à la caractéristique du dipôle.*

## ECP8 Physique-Chimie 2 Samuel Lerbet

### Ligne bifilaire, étude électrostatique

Une ligne bifilaire est constituée de deux fils conducteurs  $F$  et  $F'$ , rectilignes, parallèles, de grande longueur. Leur rayon  $R$  est très petit devant leur distance  $b$ . Ils sont entourés par un cylindre (C) de rayon  $a$  maintenu à un potentiel nul. On connecte  $F$  à un générateur ce qui se traduit par une charge linéique permanente et uniforme  $\lambda$ .

1. Rappeler et redémontrer brièvement l'expression du potentiel  $V$  existant si on n'a que le fil  $F$ .
2. (a) Rappeler l'équation aux dérivées partielles que vérifie  $V(x, y, z)$  à l'intérieur du cylindre.  
(b) À quelle condition l'expression suivante est-elle solution du problème électrostatique (on déterminera  $h, V_1, V_2$ ) :



$$V(x, y, z) = V_1 + V_2 \ln \left( \frac{x^2 + (y - h)^2}{x^2 + (y - b)^2} \right)$$

- (c) En déduire la capacité par unité de longueur. AN  $R = 0,2 \text{ mm}$ ,  $a = 2b = 2 \text{ cm}$
3. On alimente aussi  $F'$ , ce qui se traduit par une charge linéique  $-\lambda$ .
  - (a) Quel rôle joue (C) ?
  - (b) Comment trouver le nouveau potentiel  $V(x, y, z)$  ?
  - (c) Tracer les lignes de champ, les équipotentielles.
  - (d) Peut-on définir une capacité linéique ?

## ECP9 Physique-Chimie 2 Elsa Deville

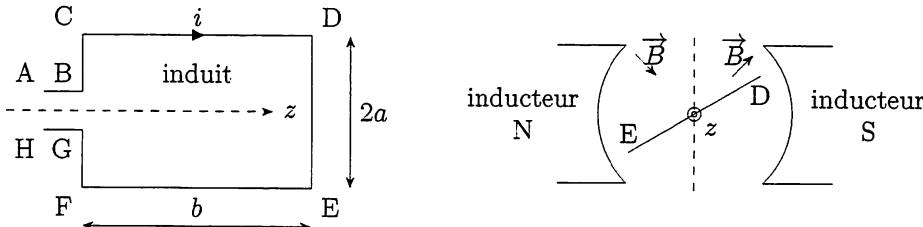
### Les moteurs d'ascenseurs

Un texte décrivait les moteurs à courant continu et les comparait aux moteurs à aimant permanent.

#### Analyse documentaire

- Que signifie « courant continu » ?
- Différences entre moteur à courant continu et à aimant permanent ? *La réponse attendue était « aucune ».*
- Pour l'ascenseur de la tour Eiffel : la vitesse est  $0,8 \text{ m s}^{-1}$ , la hauteur parcourue est 160 m et il peut emporter 75 personnes. Calculer la puissance mécanique fournie.

#### Description du moteur :



L'inducteur (fixe) crée un champ magnétique  $\vec{B}$  qui entraîne la rotation de l'induit (ABCDEFGH).

Le champ magnétique créé par l'inducteur est radial :  $\begin{cases} \vec{B} = +B_0 \vec{u}_r & \text{à droite} \\ \vec{B} = -B_0 \vec{u}_r & \text{à gauche} \end{cases}$

Les caractéristiques de l'induit sont : résistance  $R$ , autoinductance  $L$ , moment d'inertie par rapport à Oz  $J$ , nombre de tours  $N$ , vitesse angulaire de rotation  $\Omega$ .

1. La force électromotrice qui apparaît dans un circuit mobile (C) plongé dans un champ magnétique statique vaut  $e = \int_{(C)} (\vec{v} \wedge \vec{B}) \cdot d\vec{l}$ . Exprimer la force électromotrice dans l'induit sous la forme  $e = -K\Omega$ . Quelle est l'unité de  $K$  ?
2. L'induit est alimenté par une source de tension. Écrire l'équation électrique.
3. Exprimer le moment par rapport à Oz des forces électromagnétiques en faisant intervenir  $K$ .
4. Le couple utile pour soulever l'ascenseur est  $\vec{C} = C_u \vec{u}_z$ . Établir l'équation vérifiée par  $\Omega(t)$ . Quel est le temps d'arrêt ?
5. Exprimer  $\Omega(t)$  et comparer le temps caractéristique avec le temps d'arrêt.
6. ... Deux ou trois questions non abordées !

## ECP10 Physique-Chimie 2 Nissim Maruani

### Diamagnétisme, paramagnétisme

On disposait d'un long document sur les matériaux diamagnétiques ou paramagnétiques. Il était nécessaire de connaître les formules associées aux dipôles magnétiques (énergie, force, couple). Susceptibilité magnétique : définition et loi de Curie-Weiss  $\chi_m = \frac{C_m}{T - T_c}$ .

L'étude portait sur un matériau constitué de  $n$  dipôles par unité de volume, soumis à un champ magnétique suivant  $\vec{u}_z$ .

1. Utilisation de la loi de Boltzmann dans le cas où les dipôles n'ont que deux configurations : selon  $\pm \vec{u}_z$ .
2. Cas d'un dipôle engendré par un électron en mouvement circulaire autour d'un noyau fixe.
3. Nouvelle utilisation de la loi de Boltzmann pour un dipôle  $\mu = m\mu_1$  associé à un nombre quantique  $m$  tel que  $-\ell \leq m \leq \ell$

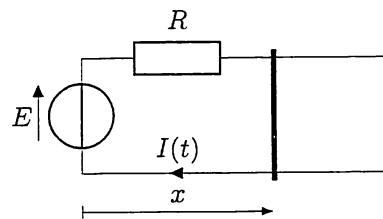
*L'examinateur était très sympathique.*

## ECP11 Physique-Chimie 1 Sasha Bontemps

### Propulseur électromagnétique

Un circuit électrique est caractérisé par sa résistance  $R$  et son inductance  $L$ . Il est alimenté par une source de tension de force électromotrice  $E$ . Soit  $I(t)$  l'intensité du courant qui le parcourt.

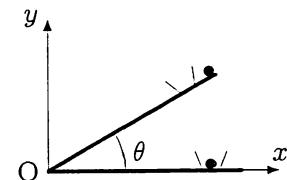
1. Le circuit est rigide.
  - (a) Exprimer le flux magnétique propre  $\phi$  à travers le circuit.  
En déduire la force électromotrice d'induction.
  - (b) Lors de l'établissement du courant de 0 à  $I(t)$ , le générateur doit fournir, en plus de l'énergie « dissipée » par effet Joule, une énergie supplémentaire  $E_m$  appelée énergie « magnétique ». Exprimer  $E_m$  en fonction de  $L$  et de  $I(t)$ .
2. Le circuit possède maintenant une partie mobile constituée d'un barreau pouvant glisser sans frottement le long de deux rails parallèles de direction  $Ox$  (voir la figure). On désignera par  $x$  son déplacement. L'inductance du circuit dépend alors de  $x$ , soit  $L(x)$ . On admet que l'expression de l'énergie magnétique reste la même que pour un circuit rigide.
  - (a) Lorsqu'un courant électrique parcourt le circuit, le barreau se met en mouvement. Expliquer brièvement pourquoi.
  - (b) Exprimer à l'instant  $t$  la puissance fournie par le générateur en sus de celle dissipée par effet Joule.
  - (c) Une partie de cette puissance correspond à la variation de l'énergie magnétique  $\frac{dE_m}{dt}$ ; l'autre partie est la puissance mécanique  $P_{\text{méca}}$  donnée au barreau. Exprimer  $P_{\text{méca}}$  en fonction de  $I(t)$ ,  $\frac{dL}{dx}$  et  $\dot{x}$ .
  - (d) En déduire que la force qui s'exerce sur la barreau a pour expression  $F = \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} I^2$ .
3. Application : Suivant le principe du dispositif étudié, il est possible d'éjecter une petite masse à une vitesse de plusieurs kilomètres par seconde.
  - (a) Comparer les dimensions de  $\frac{dL}{dx}$  et de  $\mu_0$ . En déduire un ordre de grandeur typique de  $\frac{dL}{dx}$ .
  - (b) On désire qu'en partant avec une vitesse nulle, une masse de 3 g atteigne une vitesse d'éjection de  $2 \text{ km s}^{-1}$  après un parcours de 3 m. Déterminer numériquement l'ordre de grandeur de l'intensité  $I$  nécessaire.



## ECP12 Physique-Chimie 1 Elsa Deville

### Plus rapide qu'en chute libre

Un verre très léger est collé près de l'extrémité d'une planche de longueur  $L$ , de masse  $M$ . La planche peut pivoter sans frottement autour de l'axe  $Oz$ . Son moment d'inertie par rapport à cet axe est  $J = \frac{1}{3}ML^2$ . Elle est inclinée d'un angle  $\theta_0 = 30^\circ$ , une bille est posée à son extrémité. On lâche l'ensemble sans vitesse initiale. La planche « tombe plus vite » que la bille donc il est possible qu'à l'arrivée, la bille soit dans le verre.



1. Calculer le temps de chute  $T_{\text{bille}}$  de la bille.
2. Établir une équation différentielle sur  $\theta$ .
3. Exprimer  $\dot{\theta}$  en fonction de  $\theta$ .
4. On donne  $\int_0^{\theta_0} \frac{1}{\sqrt{\sin \theta_0 - \sin \theta}} d\theta \approx 1,52$ . Calculer le temps de chute  $T_{\text{planche}}$  de la planche. Est-ce en accord avec les observations ?

Questions complémentaires :

- Calculer l'accélération verticale initiale du bout de la planche pour montrer qu'il tombe plus vite.
- Dire où doit se trouver le verre.

## ECP13 Physique-Chimie 2 Victorine Saliou

### Physique 2

En annexe était fourni un texte sur la sécurité et l'emballage des installations chimiques industrielles.

1. A l'aide du texte, expliquer l'importance des facteurs  $\ell = \frac{V}{S}$  (où  $V$  est le volume du réacteur et  $S$  sa surface) et  $E_a$ , énergie d'activation de la réaction, dans le contrôle d'une réaction chimique.
2. On se place dans le cas d'un réacteur sphérique, accueillant une réaction d'enthalpie standard  $\Delta_r H^\circ$ . Le réactif a pour masse volumique  $\rho$  pour capacité thermique massique  $c$ . La conductivité thermique est supposée uniforme à l'intérieur du réacteur, de valeur  $\lambda$ . On suppose que la température à l'intérieur du réacteur ne dépend que de la distance au centre  $r$  et du temps  $t$  : on la note  $T(r, t)$ .
  - (a) Effectuer un bilan thermique sur un élément infinitésimal du réacteur.
  - (b) On pose  $T(r, t) = T_0 + \frac{1}{\tau} f(r) e^{-\frac{t}{\tau}}$ . En déduire l'équation différentielle, pour  $T > T_0$  :

$$Df'' + \frac{1}{\tau}f = p(t) \quad (*)$$

Donner les expressions de  $D$  et  $p$ .

- (c) Trouver les solutions de (\*). Justifier qu'il n'existe de solution cohérente que pour  $m < m_c$ ,  $m_c$  étant une masse critique que l'on exprimera.
- (d) Expliquer ce qui se passe pour  $m > m_c$ . Analogie avec la masse critique lors d'une réaction nucléaire ?
3. On suppose maintenant que la température ne dépend plus que du temps (elle est uniforme au sein du réacteur) et que les échanges thermiques avec l'extérieur se font à la surface avec un coefficient (loi de Newton)  $h$ .
  - (a) Rappeler la loi d'Arrhénius.
  - (b) Justifier que la puissance thermique dans le réacteur vérifie :

$$\mathcal{P}(T) = a \exp\left(-\frac{T_1}{T}\right) = b(T - T_{\text{ext}}) + d \frac{dT}{dt}$$

Donner  $a$ ,  $b$ ,  $d$  et  $T_1$ .

- (c) ... Suivent d'autres questions non traitées, d'application numérique notamment.

## ECP14 Physique-Chimie 2 Simon Rouard

### Radiateur

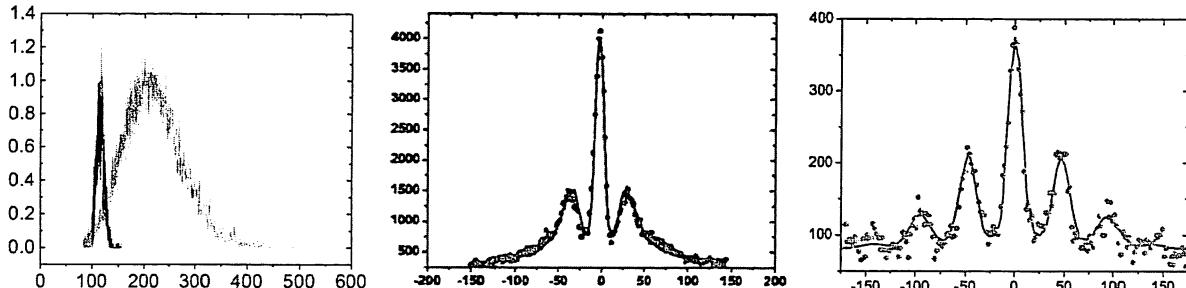
1. (a) Rappeler la loi de Newton.  
(b) On dispose des dimensions d'un radiateur (constitué par  $4 \times 6$  tuyaux parallèles où circule de l'eau chaude), de la puissance... Trouver le coefficient conducto-convectif  $h$ .  
(c) Commentaires, estimer la précision du calcul de  $h$ .
2. On considère un tube de section  $S$ , circonférence  $C$ , longueur  $L$  dans lequel circule un fluide à la vitesse  $v$ . Le fluide est de masse volumique  $\rho$ , de capacité thermique massique  $c$ . On connaît la température en  $x = 0$  et  $x = L$ .
  - (a) Faire un bilan énergétique pour une tranche comprise entre  $x$  et  $x + dx$  entre les dates  $t$  et  $t + dt$ .
  - (b) Établir l'équation différentielle vérifiée par  $T(x)$ .
  - (c) Résoudre l'équation.
  - (d) Exprimer la différence de température entre  $x = 0$  et  $x = L$  en fonction des paramètres.
3. Retrouver les estimations de la première question. Expliquer pourquoi on peut considérer la température uniforme tout au long d'un tuyau.

## ECP15 Physique-Chimie 1 Victorine Saliou

### Diffraction de molécules

Expérience de Nairz, Arndt et Zeilingerb (1999)

On étudie les interférences d'un faisceau de molécules de fullerène (60 atomes de carbone) à 900 K à travers un réseau de pas  $a = 100 \text{ nm}$ . La distribution des vitesses des atomes est donnée ainsi que la figure d'interférences observée à une distance  $D = 1,20 \text{ m}$ .



De gauche à droite : distribution des vitesses (gris pour A, noir pour B) ; expérience A ; expérience B. Les vitesses sont en  $\text{m s}^{-1}$ , les positions en  $\mu\text{m}$ .

1. Retrouver la formule des réseaux.
2. Aurait-on pu prévoir l'écartement des pics observés ?
3. Définir une longueur de cohérence du faisceau.
4. Commenter l'influence de la température sur l'expérience.

## ECP16 Physique-Chimie 1 Sibylle Marcotte

### Barreau aimanté en rotation

On considère un barreau aimanté tournant autour d'un axe fixe horizontal  $\Delta$  (liaison pivot parfaite). On connaît les caractéristiques du barreau (masse  $m$ , moment d'inertie par rapport à  $\Delta$  distance  $G\Delta = d$ , moment magnétique  $\mu$ ) ainsi que la direction d'un champ magnétique extérieur uniforme  $B_{\text{ext}}$ .

1. Déterminer le module de  $\vec{B}_{\text{ext}}$  pour que, à l'équilibre, le barreau soit horizontal.

On garde cette valeur de module pour la suite.

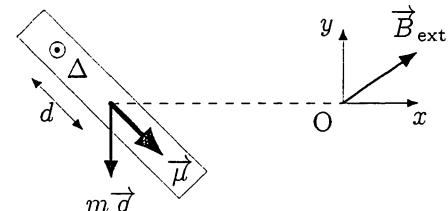
2. Obtenir une équation différentielle du mouvement.

On ajoute une petite spire d'axe  $Ox$ , centrée en O, de rayon  $r$ , de résistance  $R$ .

3. Expliquer ce qui va se passer.

4. Calculer l'intensité  $I$  dans la spire.

5. Mettre en équation le mouvement du barreau.



## ECP17 Physique-Chimie 1 Mélitta Guihard

### Diode à vide

On étudie une diode formée à partir de deux plaques planes parallèles, d'aire  $S$ , séparées d'une distance  $d$  dans le vide, l'une modélisant la cathode et l'autre, l'anode. Par effet thermoélectrique, la cathode émet, avec des vitesses très faibles, des électrons vers l'anode. On prend le potentiel nul à la cathode et on note  $V_0$  le potentiel de l'anode. On note  $I$  l'intensité du courant de l'anode vers la cathode.

1. Quel doit être le signe de  $V_0$ ? Que se passerait-il sinon?
2. Exprimer la vitesse à l'abscisse  $x$  en fonction du potentiel.
3. Écrire une équation différentielle liant  $I$  et  $V(x)$ .
4. On cherche une solution de la forme  $V(x) = Ax^\beta$ . Quelles sont les solutions possibles?

## ECP18 Physique-Chimie 1 Nissim Maruani

### Courants de Foucault

Un cylindre (plein), d'axe Oz, infini, de rayon  $R$  est soumis à un champ magnétique  $\vec{B} = B_0 \cos \omega t \vec{u}_z$ .

1. Rappeler les lois d'Ohm locale et de Faraday.
2. Il se crée dans le cylindre une densité de courant  $\vec{j}_1$ . La calculer (plus des questions sur les symétries, le sens etc).
3. Un champ induit apparaît. Le calculer.
4. Répéter le processus.

J'ai ensuite eu pas mal de questions physiques, notamment sur l'effet de peau : à quelle grandeur relier la distance caractéristique de pénétration de  $\vec{j}$ ? Que se passe-t-il pour  $\vec{j}$  quand la conductivité augmente? Et en thermique? (On obtient des résultats différents).

## ECP19 Physique-Chimie 1 Erwan Roverc'h

### Pavé sur un plan incliné (même exercice que ECP20)

1. Rappeler les lois de Coulomb du frottement solide
2. On considère un pavé posé sur un plan incliné. Condition de non glissement?
3. On fait glisser le pavé sur le plan avec une vitesse initiale orthogonale à la ligne de plus grande pente.
  - (a) Écrire les équations du mouvement dans le repère adapté à la pente.
  - (b) À l'aide du théorème de la puissance cinétique, trouver une relation entre  $\frac{dv}{dt}$  et  $\ddot{x}$ .
  - (c) Étudier asymptotiquement la trajectoire, en distinguant 2 cas.

## ECP20 Physique-chimie 1 Alexandre Azor

### Pavé sur un plan incliné (même exercice que ECP19)

Un pavé est placé sur un plan incliné (angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale). L'axe  $Ox$  est selon la ligne de plus grande pente. L'axe  $Oy$  est horizontal. L'axe  $Oz$  est perpendiculaire au plan incliné.

1. Énoncer les lois de Coulomb, définition de la vitesse de glissement.

2. Conditions pour être à l'équilibre ?

Dans la suite, on assimile les coefficients de frottement statique et dynamique.

Question orale : Comment pourrait-on déterminer le coefficient de frottement d'une surface?

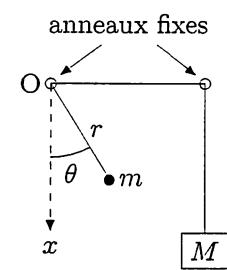
3. On lance le pavé à une vitesse initiale :  $\vec{V}_0 = V_0 \vec{u}_y$ . Établir les équations vérifiées par  $x$  et  $y$ .

## ECP21 Physique-Chimie 1 Romain Phan et Samuel Rouquette

### Pendule compliqué

On étudie le pendule ci-contre. Les référentiels d'étude sont  $\mathcal{R}$  ( $O, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_\Delta$ ) et  $\mathcal{R}_0$  (laboratoire, galiléen). Le champ de pesanteur est  $\vec{g} = g \vec{u}_x$ .

1. (a) Établir l'équation (1)  $r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} + g \sin \theta = 0$  en appliquant le théorème du moment cinétique dans  $\mathcal{R}_0$ .
  - (b) Retrouver l'équation en se plaçant dans  $\mathcal{R}$ .
2. (a) Établir l'équation (2)  $m\ddot{r} + M(\ddot{r} + g) = mg \cos \theta + mr\dot{\theta}^2$ .
  - (b) Interprétation du terme de Coriolis dans (1)? *Analogue à des frottements; petite discussion selon que les frottements sont « positifs » ou « négatifs ».*
  - (c) Interprétation du terme d'entraînement dans (2)?



## ECP22 Physique-Chimie 1 Samuel Lerbet

### Molécules polarisables

On considère deux molécules A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>. La première est immobile, placée en O, et possède un moment dipolaire électrique constant  $\vec{p}_1 = p_1 \vec{e}_z$ . Le champ  $\vec{E}_{1 \rightarrow 2}$  induit un moment dipolaire pour A<sub>2</sub>  $\vec{p}_2 = \alpha \varepsilon_0 \vec{E}_{1 \rightarrow 2}$  où  $\alpha$  est la polarisabilité de A<sub>2</sub>. On utilise les coordonnées sphériques ( $r, \theta, \varphi$ ) d'axe Oz.

1. Que traduit  $\alpha$ ? Quelle est sa dimension ?
2. On donne  $V(M) = \frac{\vec{p}_1 \cdot \vec{OM}}{4\pi\varepsilon_0 OM^3}$ . Expliciter  $\vec{E}_{1 \rightarrow 2}$ .
3. En déduire l'énergie d'interaction  $U$  entre les deux molécules. (On a utilisé  $E_p = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ .)
4. On pose  $\langle U \rangle = \int U dP$  où  $dP \propto \exp\left(-\frac{U}{k_B T}\right) d\Omega$  avec  $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ . Calculer  $\langle U \rangle$ . Commenter.
5. Si on descend dans la colonne des gaz nobles, la solubilité augmente. Expliquer.

## ECP23 Physique-Chimie 2 Erwan Roverc'h et Sibylle Marcotte

### Couplage inductif

On considère 2 circuits RLC série couplés par une inductance mutuelle  $M$ , de même pulsation propre  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$ . On alimente le premier circuit par un générateur de tension sinusoïdale  $U$ .

1. Déterminer, en notation complexe,  $i_2$  en fonction de  $U$ , pour  $\omega$  proche de  $\omega_0$ .

On utilisera les notations suivantes :  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$ ;  $Q_1 = \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ ;  $Q_2 = \frac{1}{R_2} \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}$ ;  $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ ;  $n = k \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}$ ;  $\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$  et  $x = 2k\delta$ . Le calcul est un peu long...

2. Calculer le module de  $i_2$  et le déphasage entre la tension  $u_2$  aux bornes de  $R_2$  et  $U$ .
3. On se place dans le cas  $Q_1 = Q_2$ . Commenter les courbes obtenues à partir d'un script Python.

## ECP24 Physique-Chimie 1 Julien Aubert

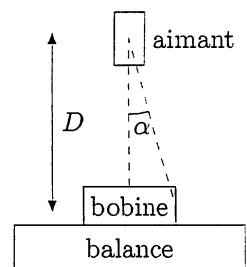
### Mesure d'un moment dipolaire

Soit  $\mu$  le moment magnétique d'un aimant. On considère une bobine de  $N = 200$  spires, de rayon  $R$ , et parcourue par un courant d'intensité  $I$ . On donne l'expression du champ magnétique  $B$  créé par une spire sur son axe :  $B = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha$ .

$$D = 25,0 \pm 0,4 \text{ cm}, R = 2,5 \pm 0,2 \text{ cm}.$$

$m_b$  est la masse de la bobine et  $m_b^*$  est la masse indiquée par la balance en présence de la force magnétique créée par l'aimant.

1. Donner l'expression de la force de l'aimant sur la bobine.
2. En déduire  $m_b^*$  en fonction de  $I$ .
3. On donne le graphe de  $m_b^* - m_b$  en fonction de  $I$ . En déduire la valeur de  $\mu$  et estimer l'incertitude relative.



## ECP25 Physique-Chimie 2 Sasha Bontemps

### Étude de la fonte d'un glaçon

# Travaux pratiques

## TP1 Romain Phan

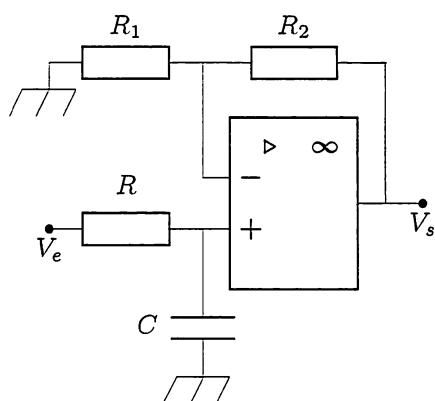
### Filtres actifs (SupOptique)

L'examinateur explique au début de la séance que l'épreuve est pratique et qu'il n'y a pas de calculs théoriques à faire (*ce qui change énormément par rapport aux TP d'électronique de MPSI par exemple*).

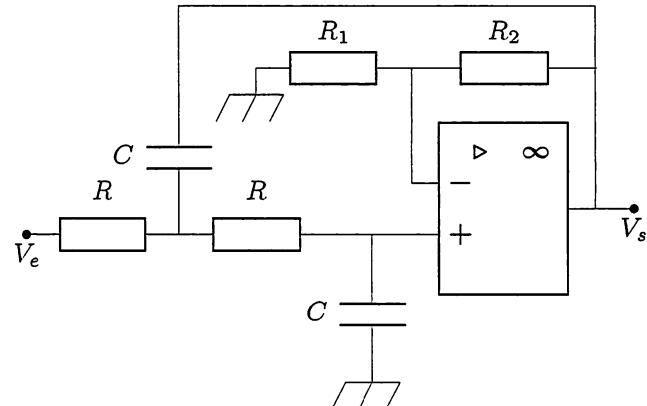
Le fonctionnement de l'amplificateur linéaire intégré n'est expliqué qu'en annexe (*il vaut mieux l'avoir déjà vu* !)

On dispose :

- d'une plaquette et de fils dénudés, de câbles coaxiaux et « bananes »,
- d'un générateur de tension/intensité (au choix) continue 0 – 20V à 3 sorties indépendantes,
- de deux générateurs BF similaires aux modèles marrons anciens du lycée,
- d'un multimètre digital permettant le calcul du gain par rapport à un signal de référence,
- d'un oscilloscope digital relié à un ordinateur (pour imprimer l'écran de l'oscilloscope).



FILTRE D'ORDRE 1



FILTRE D'ORDRE 2

### Alimentation

À l'aide des 2 générateurs de tension continue 0 – 20 V construire une alimentation stabilisée pour l'AO : –15/0/15 V. Vérifier avec un appareil de mesure.

*Appeler l'examinateur.*

### Filtre d'ordre 1

On considère le circuit de gauche avec  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 18\text{ k}\Omega$ ,  $R = 1,5\text{ k}\Omega$  et  $C = 100\text{ nF}$ .

1. Réaliser le montage.

*Appeler l'examinateur avant de brancher l'alimentation.*

*L'examinateur m'a demandé ce qu'était un diagramme de Bode, comment faire pour le mesurer, et la définition du gain.*

2. Mesurer et tracer le diagramme de Bode en amplitude du circuit (on se restreint à 6 points). (*c'est un filtre passe-bas*). À quelle fréquence le déphasage est-il égal à  $-45^\circ$ ? Quelles sont les valeurs limites du déphasage à hautes et basses fréquence?

*Ne pas oublier de faire un tableau de mesures avant de tracer le diagramme de Bode.*

3. Question : Que faire pour augmenter la bande passante d'un facteur 10 ?

4. Réaliser la modification et mesurer la nouvelle bande passante. Commenter.

### Filtre d'ordre 2

On considère maintenant le circuit de droite. Les résistances et capacités sont les mêmes que pour le premier circuit.

1. Réaliser le montage.
2. Mesurer et tracer le diagramme de Bode en amplitude du circuit (on se restreint à 6 points). Quelles sont les valeurs limites du déphasage à hautes et basses fréquences ?
3. Quel est le déphasage à la fréquence  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  ?
4. Question : Justifier l'appellation (« Filtre d'ordre 2 »).
5. On utilise maintenant pour  $V_e$  un signal en crêtes de fréquence inférieure à 100 Hz. Commenter l'allure de la courbe, l'imprimer et commenter.
6. Que se passe-t-il (expérience à faire) si on multiplie  $R$  par 10 ou si on divise  $C$  par 2 (il n'y avait en fait dans la salle que des condensateurs de 40 nF) ? Imprimer, commenter.
7. On admet qu'on peut écrire la fonction de transfert de ce filtre sous la forme  $H = \frac{H^0}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_c} - \frac{\omega^2}{\omega_c^2}}$ . D'après la manipulation 6, déterminer sur quel(s) paramètre(s) (parmi  $H^0$ ,  $Q$  et  $\omega_c$ )  $R$  a une influence. Même chose pour  $C$ .

*Examinateur sympathique, qui venait parfois nous voir spontanément, pour vérifier l'avancement, si tout allait bien... Il posait à l'occasion quelques questions sur ce que l'on avait fait entretemps.*

## TP2 Nathan Daix et Samuel Rouquette

### Étude d'une capacité inconnue

Utilisation de la borne VCF (modulation de fréquence) d'un GBF alimentée par une tension continue ou triangulaire afin d'obtenir la réponse fréquentielle d'un circuit  $RC$ .

## TP3 Victorine Saliou

### Lasers multimodes

On dispose de deux lasers He-Ne (deux pics séparés de  $\Delta\nu$ , à la longueur d'onde 632 nm) A et B, de deux polariseurs, de deux miroirs, d'une lame semi-réfléchissante et d'une photodiode reliée à un analyseur de spectre.

1. Déterminer la polarisation du laser A.
2. Vérifier expérimentalement la loi de Malus.
3. Que dire de la polarisation du laser B ?
4. L'analyseur peut détecter des fréquences allant jusqu'à 4 GHz, détecte-t-il la lumière des lasers ?
5. Montrer qu'une composante oscillante à  $\Delta\nu$  apparaît dans la décomposition spectrale du laser A, et en déduire un protocole expérimental pour déterminer  $\Delta\nu$ .
6. Ce protocole fonctionne-t-il pour le laser B (dans lequel les deux composantes sont polarisées orthogonalement l'une par rapport à l'autre) ?
7. Montrer que l'on peut quand même adapter le protocole au laser B et déterminer  $\Delta\nu$  pour celui-ci.
8. Sélectionner un des modes du laser B et commenter sa pureté.
9. Superposer le trajet des rayons issus des deux lasers et expliquer le spectre obtenu.
10. Expliquer ce qui se passe lorsque l'on souffle sur le tube d'un des lasers.

Synthèse, applications.

## TP4 Mélitta Guihard

### Optique

Étude du phénomène de diffraction ; construction d'un système optique à partir de deux lentilles (l'une convergente, l'autre divergente) permettant d'élargir un faisceau de rayons parallèles ; détermination de distance focale ; trous d'Young ; « réseau » à points.

## TP5 Sibylle Marcotte

### Étude d'un filtre actif

Matériel : On dispose d'un GBF, d'un filtre actif, d'un oscilloscope, de quatre câbles BNC (*câbles coaxiaux*), d'un dédoubleur de signal ainsi que de notices présentant plus ou moins succinctement ces différents outils.

Dans tout le TP, on travaille avec des fréquences allant de 1 kHz à 20 kHz.

Du papier millimétré et du papier semi-log étaient mis à disposition.

#### 1. Étude de la réponse en régime harmonique.

De quel type est le filtre étudié ? Déterminer son gain maximal et sa bande passante à  $-3\text{ dB}$ .

Tracer l'évolution du gain et du déphasage en fonction de la fréquence. *On nous demandait de les tracer en fonction de  $\log f$  malgré la gamme restreinte des fréquences à étudier.*

Évaluer les pentes dans les domaines linéaires.

*Appeler l'examinateur*

#### 2. Étude de la réponse temporelle

Étudier la réponse à un signal en crêneaux. Expliquer la forme de la réponse, notamment lorsque le signal de sortie est sinusoïdal.

Idem pour un signal triangulaire.

Expliquer les similitudes et les différences entre ces deux cas.

#### 3. Étude plus précise du cas harmonique

En première partie, on ne considérait que des réponses d'au moins 10 mV. Ici on s'intéresse aux réponses d'au moins 2 mV.

Que peut-on remarquer ? *À basse fréquence, la réponse n'est plus sinusoïdale.* Proposer une explication.

*Appeler l'examinateur*

Questions : À quel type d'analyse l'étude en partie 2 et 3 peut-elle se rapporter ? Dans quel domaine ce type d'analyse peut-il servir ? Proposer d'éventuelles applications à ce filtre.

#### 4. Rédiger une synthèse rappelant les principaux résultats et présentant des applications possibles.

*Commentaires, question par question, d'un candidat ayant fait ce TP en 2017 :*

##### 1. C'est un passe-bande, bande passante entre 8 et 10 kHz.

*Question orale : Quel est l'ordre du filtre ? (J'avais trouvé des pentes de l'ordre de 120 dB/décade et -140 dB/décade).*

##### 2. À basse fréquence on trouve un sinus oscillant. Entre 2 et 4 kHz on obtient un sinus de fréquence 3 fois plus élevée que le signal d'entrée. De 6 à 16 kHz on trouve un sinus de même fréquence. À haute fréquence la réponse est nulle. La seule différence que j'ai notée concerne la différence d'amplitude.

##### 3. Une application possible était la possibilité de déterminer une défaillance du générateur (discontinuité du signal). En l'occurrence, le générateur qu'on utilisait avait ce problème et les examinateurs attendaient qu'on s'en rende compte.

## TP6 Elsa Deville

### Thermistance

Étude d'une thermistance. Après avoir déterminé les paramètres de la relation entre la résistance  $R$  et la température  $T$ , il fallait étudier deux montages composés entre autre d'une résistance variable et d'un amplificateur opérationnel. On remplaçait ensuite la résistance variable par la thermistance afin de déterminer sa résistance et donc sa température.

Comparaison des deux méthodes.

## TP7 Sasha Bontemps

### Doubleur de tension (pompe à diodes)

Les diodes ont une tension de seuil  $U_S = 0,6 \text{ V}$ . La caractéristique est donnée (lorsque la diode est passante, la tension à ses bornes ne dépasse jamais  $0,6 \text{ V}$ ). Le générateur produit un signal rectangulaire valant :  $\begin{cases} \text{phase 1 } t \in [0, T/2[ & -E_0 \\ \text{phase 2 } t \in [T/2, T[ & +E_0 \end{cases}$  avec  $E_0 = 5,6 \text{ V}$ .

Les schémas utiles lors de chaque phase sont indiqués.

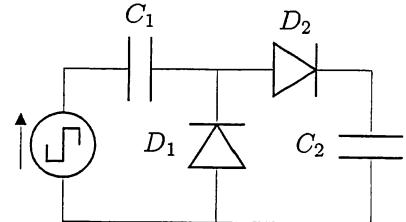
Initialement,  $C_2$  est déchargé et  $C_1$  est chargé ( $5 \text{ V}$  à ses bornes). Lors de la phase 2, la variation de charge aux bornes des deux condensateurs est la même en valeur absolue. Le tout est de déterminer sa valeur.

On demande de tracer les courbes représentant les tensions aux bornes de la diode et du condensateur lors de l'allumage du générateur. Le protocole et notamment la synchronisation du signal sont détaillés.

Il faut ensuite retrouver ces résultats par le calcul (établissement des équations du problème, relation de récurrence sur la tension à chaque période aux bornes de  $C_2$ ). Tracer les courbes théoriques et les confronter aux courbes expérimentales.

Le montage à étudier est déjà branché ( $C_1 = C_2$ ), avec le générateur intégré. On peut choisir de régler ce dernier en régime permanent ou transitoire. Dans ce dernier cas, le générateur est alternativement éteint et allumé (délivrant le signal en crête décrit plus haut) durant un temps suffisamment long à chaque fois (l'extinction et l'allumage durent à peu près  $0,05 \text{ s}$  chacun).

Une grande partie des calculs théoriques est fournie dans le document.



## TP8 Julien Drouhet (et Erwan Roverc'h ?)

### Circuit avec diode Zener

Les composants formant un gros circuit étaient montés sur un plaquette sur laquelle il fallait fermer/ouvrir certains interrupteurs afin de réaliser les montages de l'énoncé.

Le sujet était divisé en 4 parties indépendantes.

1. Tracé de la caractéristique d'une diode (profil exponentiel, commentaires, etc.)
2. On forme un circuit avec une diode reliée en série à un  $RC$  en parallèle. Étudier la réponse à une sinusoïde.  
*En dessous d'une certaine valeur de la tension, la réponse était nulle. Sinon, on avait un signal oscillant (en phase) avec une amplitude plus faible.*
3. Expérimentalement, on demandait de mesurer la valeur moyenne du signal, sa fréquence, etc.
4. Étude d'une diode Zener (*non traité*).

## TP9 Julien Zucchet

### Oscillateurs à ALI

Oscillateurs réalisés à partir d'Amplificateurs Linéaires Intégrés. Divers montages (comparateur à hystérésis, inverseur, intégrateur) déjà faits sont à connecter entre eux. Il faut tracer des caractéristiques théoriques et les vérifier à l'oscilloscope.

## TP10 Nissim Maruani

### Filtre

Filtre  $LC$  (en prenant en compte la résistance de la bobine donc  $RLC$  en fait) en parallèle. On étudie l'intensité en fonction de la fréquence, elle s'annule en  $f_0$  tel que  $2\pi f_0 = 1/\sqrt{LC}$ , déterminer  $C$ , étude de phase, déterminer  $R$ .

## **TP11 Alexandre Azor**

### **Objectif de microscope**

Détermination de la distance focale de l'objectif d'un microscope dont l'oculaire possède une graduation micrométrique de 2 manières différentes :

- en mesurant les grandsissements obtenus en faisant varier la hauteur de l'oculaire,
- en utilisant une lunette afocale graduée à régler soi-même.

## **TP12 Julien Aubert**

1. Réglage d'une lunette afocale.
2. Détermination de la distance focale d'une lentille à l'aide d'un micromètre.
3. Détermination d'un grandissement et quelques considérations sur la puissance définie comme le rapport de l'angle sous lequel l'image A'B' est vue à travers le dispositif et la taille de l'objet AB.

Il s'agit sans doute du même TP (ou d'un TP très proche) que pour Alexandre Azor (objectif de microscope).

## **TP13 Caroline Adamy**

### **Circuits avec diode**

Mise en place de différents circuits contenant une diode, détermination théorique et tracé de l'allure des différentes intensités et tensions pour chaque type de circuit.

Finalement, il fallait expliquer les intérêts des montages pour des applications domestiques ou industrielles (moteurs, lampes) et comparer leur efficacité.

## **TP14 Samuel Lerbet**

### **Électrocinétique**

Étude d'une chaîne d'amplification ; détermination des caractéristiques de quelques amplificateurs.

# Polytechnique ADS

## ADS1 Romain Phan, Elsa Deville et Julien Drouhet

### Dossier :

- « La fusée VASIMR », Franklin Chang Diaz, Pour la Science n°279 (janvier 2001) p.50-59  
<https://www.pourlascience.fr/sd/astrophysique/la-fusee-vasimr-4213.php>

Certains passages avaient été enlevés :

- page 51,
- encadré pages 54 et 55,
- seconde moitié de l'encadré page 56,
- fin de l'article pages 56 à 59 à partir du titre de paragraphe « Le plasma se détache ».

*Aucun auteur ni nom de revue n'était indiqué sur le texte, les examinateurs voulaient visiblement qu'on ne retrouve pas la source.*

- Un extrait du cours de physique de Fleury et Matthieu, tome Mécanique Physique, Eyrolles décrivant la physique de la propulsion des fusées. *Ici aussi, origine effacée.*

### Instructions :

Dans votre exposé, qui durera environ 15 minutes, vous expliquerez la physique mise en œuvre dans ce nouveau dispositif et préciserez ce qui fait son originalité.

### Questions après l'exposé :

L'examineur est revenu sur les températures d'ionisation, et il a passé la majeure partie du temps à me poser des questions sur le fonctionnement de la fusée, que je n'avais pas compris dans les détails. Globalement, il ne s'est pas penché sur les graphes et images qui figuraient dans l'article mais il restait tout de même proche de l'article. De manière générale, il était ultra précis dans les réponses qu'il attendait (il voulait que j'explique entièrement toutes les hypothèses de la non-dépendance d'une grandeur par rapport à une autre alors que je pensais cela évident). Les questions étaient parfois qualitatives. J'ai aussi eu besoin d'ordres de grandeur (énergie d'ionisation,  $k_B$ ). Je n'ai pas beaucoup écrit au tableau, il ne me laissait qu'un petit mètre de tableau pour écrire les calculs.

Pour ne citer que quelques-unes de ses questions, on trouve par exemple :

« Qu'est-ce qu'un atome ?

- Euh, c'est un ensemble de protons, de neutrons et d'électrons.
- Oui, on a donc un noyau et un cortège électronique. Et donc qu'est-ce qu'une réaction chimique, en fait ?
- Eh bien... Comme on a des liaisons entre les électrons et les noyaux, une réaction chimique serait une réaction entre les électrons de plusieurs atomes !
- Voilà, et alors qu'est-ce que la chimie finalement ? »

La réponse « Je ne vois pas de quoi vous parlez. » ne m'étant pas venue en tête, je lui réponds alors : « La chimie est alors l'étude des électrons dans les atomes et dans les molécules ! »

Il a ensuite enchaîné sur l'idée que dans un plasma, on ne peut pas retrouver la chimie habituelle, et j'ai retrouvé l'ordre de grandeur de la température d'ionisation.

*Bref, examinateur très pointilleux, peu souriant, qui était un poil cassant, qui persistait à prononcer le nom de la fusée « VASIRM » et qui mesurait ses températures en « kelvain ».*

### Questions après l'exposé (bis) :

- Retrouver la vitesse des particules dans un plasma avec la thermodynamique statistique, en prenant en compte 5 degrés de liberté.
- Calculer le module du champ magnétique dans le piège magnétique, en utilisant la conservation du flux.
- Questions portant directement sur ma présentation.

## ADS2 Akim Viennet

### Dossier : 3 textes

- 3 pages d'un livre de physique générale parlant de l'effet de la force de Coriolis sur la météo et sur la chute libre (déviation vers l'est), donnant surtout des ordres de grandeur.
- Le descriptif original de l'expérience Michelson-Gale-Pearson (1925) ou « pendule de Foucault optique », texte court et surtout factuel, donnant le résultat de leurs mesures.
- Le rapport de Foucault à l'académie des Sciences (1851) sur son pendule, donnant les dimensions de son expérience et expliquant qualitativement le phénomène.

### Instructions :

S'intéresser en particulier aux différents ordres de grandeur pour les justifier et les discuter, ainsi qu'à la comparaison entre les deux expériences sur la rotation de la Terre.

### Déroulement :

Après mon exposé, l'examinateur m'a d'abord demandé de rappeler la définition d'un référentiel galiléen pour me faire dire que ce concept était bien peu satisfaisant, me demandant alors si je savais comment les physiciens avaient réglé cette question. J'ai un peu parlé, dans les grandes lignes, de la relativité, sans trop savoir quel était le statut d'un référentiel galiléen en relativité. Il m'a alors demandé l'origine de la force de Coriolis, j'ai commencé la démonstration qu'on avait vue en cours en m'embrouillant plusieurs fois, l'examinateur m'a interrompu pour me demander si je connaissais une autre force ressemblant à celle de Coriolis, j'ai parlé de celle de Lorenz, il m'a fait comprendre que les deux venaient d'un même formalisme unifié lié aux changements de référentiel via les transformées de Lorentz (il était très enthousiaste, s'écriant que « La physique c'est vraiment bien », a fait des grands gestes et a déclaré « En MP on vous fait croire que les maths ont le monopole des beaux formalismes, mais pas du tout, loin de là ! »).

Après cette amusante parenthèse on est revenu sur les calculs que j'avais proposés pour traiter de manière analytique le pendule de Foucault (j'avais fait comme dans le cours pour obtenir l'ellipse qui tourne dans le plan, mais j'avais commis une petite erreur à la fin). En revanche, je n'avais que partiellement compris l'expérience de Michelson-Gale et l'examinateur l'a bien senti, il m'a demandé la différence fondamentale entre celle-ci et l'interféromètre à bras, et ce que ces deux expériences montraient, je me suis un peu embrouillé dans des explications peu convaincantes. Il m'a alors demandé de revenir sur des petits calculs de différence de marche pour décrire la figure d'interférence que je n'avais pas eu le temps de terminer pendant les 2h de préparation. Puis on discuté de l'effet Sagnac (que je connaissais vaguement mais dont je ne me suis rappelé qu'à la fin de l'oral) et de l'hypothèse de l'éther, le temps était alors écoulé.

*Bilan : quelques connaissances qualitatives sur la relativité et sur les discussions des physiciens au début du 20<sup>e</sup> siècle (notamment l'incompatibilité entre la mécanique classique et les équations de Maxwell, ainsi que cette histoire d'éther) étaient bienvenues (heureusement M. Logeais nous en avait parlé à plusieurs reprises) et souhaitables. D'autre part les deux heures de préparations passent très vite, surtout quand on tente de refaire plusieurs calculs un peu longs, il faut faire vite.*

## ADS3 Sibylle Marcotte

### Dossier :

« Les bactéries magnétotactiques »

Références non visibles.

### Questions après l'exposé :

1. Dessiner la carte de champ magnétique terrestre.
2. Question sur les bobines de Helmholtz dont il était question dans le texte.
3. Dessiner le champ magnétique d'un solénoïde fini.
4. Pourquoi faut-il utiliser des rayons X pour le fer ?

*Il était question dans le texte d'observer avec un microscope la bactérie et d'envoyer des rayons X pour déterminer la présence de fer dans le magnétosome.*

## ADS4 Erwan Roverc'h

### Dossier :

« La télémétrie laser-Lune ou quand les photons font l'aller-retour de la Terre à la Lune », Christian Veillet, Images de la physique 1992 (juillet 2014) p.98-103

Les encadrés 2, 3 et 4 avaient été supprimés ainsi que la figure 2.

### Instructions :

Le sujet demandait de s'intéresser en particulier aux différentes méthodes de mesure de la distance Terre-Lune et à leurs avantages respectifs.

### Questions après l'exposé :

Je commence l'oral avec appréhension, puisque le même examinateur avait donné dans la matinée des textes de relativité à d'autres élèves et s'était révélé cassant face à leur méconnaissance légitime du domaine...

Mais l'exposé se déroule sans interruption et l'examinateur commence par me demander la distance Terre-Lune pour se mettre en jambe (apparemment elle n'était pas mentionnée dans l'article et je ne l'avais pas rappelée dans l'exposé).

Ensuite il me demande pourquoi la rotation propre de la Lune est synchronisée avec sa révolution autour de la Terre (je pensais qu'il attendait une démonstration, mais il voulait juste entendre le mot « marées »), puis on discute du ralentissement de la rotation terrestre et de l'éloignement de la Lune.

Il revient ensuite sur les méthodes antiques de mesure de la distance Terre-Lune grâce aux éclipses (j'avais tenté une explication dans l'exposé, peu concluante). J'ai un peu de mal avec le raisonnement géométrique, mais on finit par y arriver.

Il me demande alors de justifier une autre construction géométrique utilisée dans l'exposé qui me paraissait pourtant évidente. Après s'être convaincu de sa validité, il me fait retrouver le rapport des puissances reçue et fournie en étudiant la diffraction.

Quelques autres questions qualitatives (et de culture générale sur les physiciens de l'antiquité), et l'oral s'achève.

## ADS5 Katia Jodogne-del Litto

### Dossier :

« Les univers Jungle : et si l'univers n'était pas destiné à mourir de froid ! », Jérôme Perez,  
<http://perso.ensta-paristech.fr/~perez/Textes/jungle.pdf>

Texte intégral, sans coupure, mais le titre et le nom du chercheur étaient effacés.

### Instructions :

Outre le blabla général commun à toutes les ADS (à peu près) :

Votre commentaire pourra s'appuyer sur plusieurs axes tels que

- la présentation générale de la structure du document,
- les différentes justifications de l'expansion de l'Univers,
- la présentation des systèmes de Lotka-Volterra,
- les spécificités des univers jungle.

### Questions après l'exposé :

- Pourquoi peut-on parler de fluide de radiation (j'ai parlé de la quantité de mouvement des photons et de la pression de radiation) ?
- Importance de  $\omega$  (partie 2.2), tracé de  $\ln(\rho)$  en fonction de  $\ln(a)$  pour différentes valeur de  $\omega$ , retrouver que  $\omega < -1$  est absurde.
- Estimer la taille d'une galaxie (en supposant qu'on a  $E_c = -\frac{1}{2}E_p$ ), avec des ordres de grandeurs très très approchés (vitesse moyenne des étoiles dans la galaxie approchée par celle de la Terre autour du Soleil).
- Retrouver la deuxième équation de Friedmann (sans la constante cosmologique) avec la conservation de l'énergie mécanique d'une étoile.

*À part expliciter l'effet Doppler et préciser des passages de démonstrations accessibles, je n'ai pas pu apporter grand-chose lors de ma présentation.*

*La partie questions était plus une discussion qu'un interrogatoire, l'examinateur n'allait pas forcément au bout de toutes les questions.*

## ADS6 Dan Berrebbi

### Dossier :

Extraits de « Le refroidissement des atomes par laser », C. Cohen-Tannoudji, « Université de Tous les Savoirs. Qu'est-ce que l'univers ? », Ed. Odile Jacob, sous la direction d'Yves Michaud , Paris, (2001)

<http://www.phys.ens.fr/~cct/articles/dans-livres/refroid-atomes-laser-2001.pdf>

p.630 le début de l'introduction (jusqu'à « pièges ») puis directement p.635 à 643 de « les mécanismes physiques » jusqu'à la partie « les horloges atomiques » incluse (les autres parties ayant été coupées).

### Commentaire :

Il faut faire attention à la consigne car on me demandait de parler uniquement du refroidissement des atomes et de son application à l'horloge atomique, mais on ne m'avait pas supprimé les 3 premières parties sur le ralentissement des atomes (qui introduisent quand même bien le refroidissement), et l'auteur ne fait la différence entre ces 2 phénomènes (qui sont en fait complètement différents) qu'à la fin des 3 paragraphes sur le ralentissement (et la partie de l'introduction où il donne son plan n'était pas donnée) donc il était impossible de deviner à l'avance qu'on aurait presque pu sauter tout le début (et il faut beaucoup de sang froid le jour j pour sauter la première moitié de l'ADS). Cela m'a un peu pénalisé car j'ai passé la majeure partie de ma préparation sur le ralentissement, où je rajoutais des ordres de grandeurs, calculs... et, en effet, il m'aurait fallu plus de temps pour traiter la 2<sup>e</sup> partie. Mais je m'en suis aperçu donc j'ai rééquilibré à l'oral en passant le plus de temps sur le refroidissement et l'horloge.

J'ai parlé 17 min 30 sans que l'examinateur ne m'arrête donc c'est a priori plutôt souple.

### Questions après l'exposé :

Examinateur extrêmement sympathique, gentil, bienveillant, à l'écoute et qui a posé des questions pour me faire préciser des points voire pour me faire comprendre des points que je n'avais pas compris dans le document (en l'occurrence il m'a demandé pourquoi 2 lasers plutôt que 1, et j'ai trouvé que c'était pour que l'atome ne reparte pas dans l'autre sens une fois freiné, ce que je n'avais pas compris lors de la préparation).

Les autres questions ont porté sur des ordres de grandeur pouvant influer sur la précision de l'horloge (notamment un  $\delta f$  ajouté par l'effet Doppler). J'ai eu un peu de chance car en apport personnel j'ai aussi pu faire (grâce à mon TIPE) une belle démonstration de l'effet Doppler et elle a été par la suite très utile comme l'examinateur me l'a signifié car on l'a utilisée pour le calcul de  $\delta f$  (formule non donnée dans le document).

*Akim m'a dit que vous aviez parlé de ce sujet à une séance d'ADS, mais je n'étais pas là. Le texte se comprenait bien donc ce n'était pas trop gênant.*

# TIPE ENS

## TIPE 1 Romain Phan : Le thérémine

### Déroulement :

Que des questions sur mon TIPE, pas de présentation. Les deux examinateurs m'ont demandé une démonstration assez simple qui figurait dans mon rapport (j'avais peu de contenu mathématique).

Premières questions (contexte) : « Pourquoi ce choix de TIPE ? » « L'avez-vous fait seul ? » « Êtes-vous musicien ? »...

Ensuite des questions suivant (à peu près) linéairement mon rapport. Il faut réexpliquer de manière synthétique ce qu'on a fait, ça reste assez qualitatif.

Puis des questions plus précises : démonstration de la résistance négative, ordre de grandeur de la variation de capacité, différence des fréquences. Les examinateurs m'ont fait retrouver une valeur numérique présente dans mon rapport que je n'avais pas justifiée (je n'y avais pas pensé) et ont posé des questions sur les graphes (échelles, incertitudes).

### Remarques :

On dispose d'un *immense* écran tactile accroché au mur pour présenter les documents supplémentaires ; il y a un tableau blanc et des feutres pour écrire.

Sur le document officiel des TIPE ÉNS, on demande uniquement des PDF mais un examinateur m'a demandé si j'avais une vidéo de mon thérémine. *N'hésitez pas à mettre plein de choses sur la clé USB !*

Chaque examinateur a sa tablette avec le rapport. Ils l'ont annoté (j'ai vu des parties entourées en rouge) et donc bien lu. Ils donnent pourtant l'impression de ne pas connaître le TIPE, à entendre leurs questions : ils veulent simplement vérifier si on sait de quoi on parle.

Bien connaître son rapport est utile. Retrouver les références rapidement (dans un ouvrage de 1000 pages...) est utile. Globalement peu de questions déstabilisantes. Les examinateurs restent dans le sujet du TIPE et ne s'en éloignent pas (ou peu : une question a élargi la correspondance linéaire note-espace à d'autres instruments).

## TIPE 2 Erwan Roverc'h : Mûrissement d'une mousse savonneuse

### Format de l'oral :

C'est un entretien avec les 2 examinateurs (j'étais assis en face d'eux). Ils ont mon rapport sur tablette, l'un des deux l'avait copieusement annoté. Il y a un tableau tactile pour projeter le rapport ou des documents complémentaires, et un tableau blanc à côté.

### Déroulement :

En premier lieu, le jury me demande la motivation de mon sujet et son lien avec le thème de l'année. Puis ils s'attaquent au commentaire de mon rapport : à partir de quelques lignes de mon préambule, ils me posent une série de questions sur des domaines de la physique assez déconnectés de mon sujet.

En effet, j'avais (à tort) écrit qu'une masse d'eau isolée prenait une forme sphérique, ce qui ne marche pas sur le plan thermodynamique : ils m'ont donc demandé quel était le potentiel thermodynamique de la goutte d'eau dans le vide (ce qui m'a laissé perplexe) puis on a discuté qualitativement sur l'entropie. (J'espère ne pas avoir dit trop de bêtises pendant cette partie qui m'avait plutôt déstabilisé). Puis, en répondant à leurs questions sur le modèle de Lennard-Jones, je me suis retrouvé à parler de fermions et de condensation de Bose dans un supraconducteur...

La suite de l'entretien a été plus classique : des approches différentes pour expliquer les phénomènes de mon TIPE (effet Marangoni pour la stabilité des films de savon) et des questions sur mon protocole expérimental et le traitement informatique des données. Ils m'ont fait remarquer quelques points que j'aurais pu approfondir (une régression linéaire pour trouver un équivalent d'une de mes courbes...)

### Bilan :

L'oral était un peu stressant car l'un des deux examinateurs était assez sec et parfois difficile à suivre (« Vous avez bien fait un peu de thermo. statistique cette année ? —Euh oui, alors on pourrait introduire un facteur de Boltzmann.... —Ah non, dans le vide surtout pas de thermo. statistique ! »), et son collègue à l'air plus amène est resté quasiment muet. Mais le fait d'avoir une discussion scientifique avec deux examinateurs manifestement très au fait du sujet de mon TIPE demeure très stimulant, et j'ai finalement trouvé l'oral trop court. Il m'a été salutaire de connaître des notions en marge du programme (en lien avec mon sujet ou pas...).