Épreuves orales de Physique, Filière PC

Ce rapport a pour vocation de donner quelques conseils aux futurs candidats, d'une part sur le déroulement de l'épreuve et sur la connaissance et la maîtrise du cours qui sont attendues par l'examinateur. Cette année, nous organisons le rapport en commentant quelques exercices proposés en commun par les trois examinateurs. Nous discutons ainsi des résultats proposés en général par les candidats et le cas échéant ce qui était attendu pour répondre plus complètement aux questions.

L'épreuve orale de physique dure 50 minutes. Les examinateurs cherchent à évaluer les connaissances et les capacités de raisonnement en physique des candidats. Les exercices proposés ont en général un énoncé très court, ce qui limite le temps d'exposition en engageant rapidement les élèves dans la réflexion. Notons que les notes supérieures à 18/20 sont attribuées exceptionnellement et cela nécessite d'aborder en général deux exercices, en ayant des idées pour le 2ème exercice, sachant que le 2ème exercice sera difficile et donc une résolution complète n'est pas attendue. Cette année, nous avons observé un niveau moyen tout à fait satisfaisant. Plus de précisions seront apportées avec la description des exercices qui suivent.

. La moyenne des 486 candidats français est de 11,51/20 avec un écart-type de 3,32.

Exercice 1 : Oscillations et résonances d'un pendule (point pivot vibrant).
Un pendule (L, m) a un point pivot qui suit un mouvement d'oscillations forcées verticales $y(t) = y_0 \cos(\omega t)$ avec $y_0 \ll L$. Décrire le mouvement du pendule et montrer qu'un phénomène de résonance est possible.

La majorité des candidats a bien établi l'équation du mouvement pour la masse m, soit en raisonnant dans le référentiel non galiléen lié au point pivot, soit dans le référentiel Terrestre :

$$\ddot{\theta} + \theta\left(\frac{g}{L} - \frac{\omega^2 y_0}{L}\cos(\omega t)\right) = 0.$$

Avec θ l'angle entre le pendule et l'axe vertical (à l'approximation des petits angles). Physiquement, on comprend bien que $\theta(t)$ ne peut pas avoir uniquement un mouvement oscillant de pulsation $\omega_0 = \frac{g}{L}$ car le mouvement vertical du point pivot modifie la valeur de $\theta(t)$.
Tout ceci, les candidats l'ont en général bien vu et cela garantissait des notes correctes, traduisant une bonne connaissance du cours et une appréciation de la situation physique.
Presque aucun élève n'a pu aller plus loin en proposant une solution de cette équation par lui-même. Alors, les examinateurs ont indiqué comment faire, ce qui permettait d'avancer ensuite assez loin dans la résolution. Ce qui était attendu ici, c'était de voir que le choix le plus naturel pour une solution possible est de la forme :

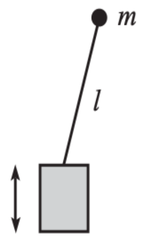
$$\theta(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi) + f(t).$$

En comprenant que la condition $y_0 << L$ implique que f(t) sera une petite correction par rapport au premier terme de la solution. Donc, on peut directement écrire que l'on cherche une solution de la forme :

$$\theta(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{y_0}{L} g(t).$$

La suite est immédiate. L'équation de départ se transforme en une équation différentielle pour g(t) en ne conservant que les termes d'ordre 1 en $\frac{y_0}{L}$. C'est la solution particulière de cette équation pour g(t) qui permet alors de conclure à un « possible » phénomène de résonance pour $\omega=2\omega_0$. Bien évidemment, dans cette limite, on doit s'interroger sur la résolution, par exemple l'approximation des petits angles n'est plus possible, mais en dehors de cette remarque, il n'est pas attendu d'aller plus loin dans cet exercice. Lorsque la résolution finale était bien conduite (en trouvant correctement la solution particulière), après l'aide sur la forme de la solution, cela a été apprécié favorablement pour l'évaluation de la performance.

<u>Exercice 2 :</u> Oscillations d'un pendule inversé (point pivot vibrant).
On reprend l'exercice 1, mais ici le pendule est inversé (voir figure).
Et le point pivot (en bas) se déplace verticalement avec $y(t) = y_0 \cos(\omega t)$ avec $y_0 << L$. Montrer qu'en choisissant ω suffisamment grand, on peut empêcher le pendule de tomber et donc d'avoir des oscillations avec m en haut.



Cet exercice est bien plus difficile que le précédent et donc ici, les examinateurs n'attendent pas une résolution par les candidats à partir d'un certain point, mais une bonne compréhension de ce qu'il se passe et quelques idées.
La plupart des candidats ont bien commencé l'exercice en aboutissant à l'équation du mouvement pour m :

$$\ddot{\theta} - \theta\left(\frac{g}{L} - \frac{\omega^2 y_0}{L}\cos(\omega t)\right) = 0.$$

C'est l'équation de l'exercice 1 avec un signe – devant le terme en θ. On réécrit un peu différemment :

$$\ddot{\theta} + \theta(a\omega^2\cos(\omega t) - \omega_0^2) = 0.$$

Avec $a=y_0/L<<1$. De plus, certains candidats ont bien décrit la situation physique : comment la variation du point en elle-même influence le comportement en $\theta(t)$.
Comme l'exercice était un peu différent du cas du pendule standard, cela a pris un temps parfois important pour arriver à l'équation du mouvement. Ceci étant, l'obtenir avec les bons signes et s'interroger sur cette équation représentait déjà une performance tout à fait correcte. D'autant plus que les signes étant *a priori* étonnant, il est normal de bien vérifier qu'il n'y a pas eu d'erreurs de calcul auparavant.
Ensuite, cette équation est difficile à appréhender et dans toutes les interrogations, les examinateurs ont indiqué comment continuer en proposant une solution sous la forme :

$$\theta(t) = C(t) + b\cos(\omega t).$$

Avec l'amplitude de C >> b et l'amplitude des variations de C(t) >> $1/\omega$.

En se souvenant aussi que l'on cherche ω suffisamment grand, ce qui va se traduire par :

$$a\omega^2 \gg \omega_0^2.$$

Avec ces indications, quelques candidats ont pu avancer dans la résolution, ce qui leur a permis d'obtenir de très bonnes notes. Le principe, c'est qu'il va être nécessaire de négliger des termes après injection dans l'équation du mouvement. Par exemple, la solution ci-dessus conduit à :

$$-b + aC(t) = 0.$$

Soit :

$$\theta(t) = C(t).[1 + a\cos(\omega t)].$$

Avec C(t) qui varie lentement (voir plus haut). On peut ensuite déduire C(t) assez facilement.

Exercice 3 : On considère la mise en rotation d'un tourniquet hydraulique permettant l'arrosage d'un jardin. Le tourniquet est composé de 2 bras identiques (de même axe) de longueur L reliés à une base fixe. L'extrémité de chaque bras est repliée et l'eau sort perpendiculairement à l'axe du bras. Mouvement du tourniquet ?

Pour cet exercice, les candidats ont bien compris qu'il était utile de faire un bilan sur un système fermé à définir mais nous n'avons pas vu d'équation du mouvement correcte sortir du raisonnement. En fait, nous observons en général que faire un bilan dans ce type d'exercice pose de grandes difficultés aux candidats. Ici, il est judicieux de faire un bilan de moment cinétique plutôt que de quantité de mouvement.
Il y a alors plusieurs manières de travailler qui vont nous permettre de préciser quelques erreurs observées.
Par exemple, nous pouvons choisir comme système : {l'eau qui rentre dans l'arrosoir pendant dt + l'eau dans les tuyaux}(t) qui devient {eau dans les tuyaux + l'eau qui sort pendant dt}(t+dt). C'est bien un système fermé et le moment qui s'exerce sur ce système, c'est celui du tuyau sur l'eau. On écrit le bilan de moment cinétique pour le système défini plus haut :

$$D\,\overrightarrow{OA} \wedge \overrightarrow{v_A} + D\,\overrightarrow{OB} \wedge \overrightarrow{v_B} = \overrightarrow{M}$$

Avec A et B les extrémités de l'arrosoir d'un côté et de l'autre. Il faut faire attention car les vitesses ici sont les vitesses dans le référentiel galiléen (terrestre). Si on note u>0 la vitesse de l'eau dans le tuyau, avec D=ρ s u, il faut écrire $\overrightarrow{v_{A,B}}$ en fonction de u et des paramètres du problème. C'est une erreur que l'on a observée systématiquement : confusion des vitesses dans le référentiel terrestre (dans lequel l'arrosoir tourne) et de la vitesse du fluide dans le tuyau (vu du tuyau). En notant ω la vitesse angulaire du tuyau (vue du référentiel terrestre), on a :

$$2DL(\omega L - u) = M.$$

On trouve alors facilement en prenant cette fois-ci comme système l'arrosoir tout seul que :

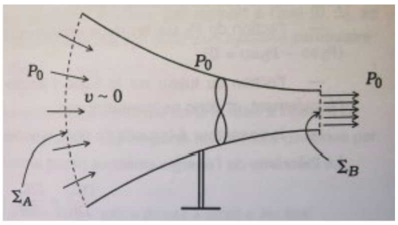
$$I\,\dot{\omega} = -2DL(\omega L - u).$$

Ce qui conclut.
On aurait pu écrire directement cette équation en prenant comme système : tuyau + eau (système comme défini plus haut).

Au final, cet exercice est intéressant : nous avons observé des raisonnements qui allaient dans la bonne direction mais avec beaucoup d'erreurs (dans la définition des vitesses, dans l'écriture des bilans…), témoignant d'une connaissance du cours mais sans bonne maîtrise.

Notons que certains élèves ont également cherché à trouver « directement » la force (couple) de l'eau sur le tourniquet, sans passer par un bilan. Cela ne leur a pas permis d'aboutir mais il y avait de bonnes idées ce qui a été apprécié dans l'évaluation. On conseille plutôt de faire un bilan, ce qui permet de suivre ce qui est fait en cours, mais pourquoi pas ? Donnons quelques idées pour aller dans cette direction : on comprend bien que quelque chose se passe lorsque l'eau change de direction au niveau des coudes du tourniquet. Un petit volume de fluide subit une accélération de vecteur dirigé vers l'intérieur du coude. Cela veut dire qu'il y a un gradient de pression dirigé vers l'extérieur de chaque coude (associé à ce mouvement de l'eau), d'un côté et de l'autre du tourniquet etc.

Exercice 4 : Dans une soufflerie (figure ci-contre avec les données), déterminer la puissance que l'on doit fournir à l'hélice.



C'est à nouveau un exercice sur les bilans de quantité de mouvement ou d'énergie cinétique. Mais ici, contrairement à l'exercice précédent, il n'y a pas eu de difficulté pour la majorité des candidats qui ont bien traité la question.
Le plus rapide est un bilan d'énergie cinétique au système : hélice + fluide dans la soufflerie.
On obtient alors directement :

$$P = D_m \frac{1}{2} v_B^2 = (\rho S_B v_B) \frac{1}{2} v_B^2.$$

Clairement, le fait qu'il n'y ait pas de changement de direction rend l'exercice beaucoup plus simple que le précédent. Évidemment, pour l'évaluation, nous tenons compte de la différence de niveau entre les 2 exercices. Par exemple, faire cet exercice assurait que le candidat connaissait son cours mais lors de l'interrogation, puis un autre exercice était proposé au candidat qui était déterminant pour apprécier ou non d'autres qualités dans un sujet plus complexe.

Exercice 5 : Une onde plane harmonique (ω) progressive (polarisée linéairement) se propage dans un cristal d'indice optique $n = n_0 + n_1 \cos(\Omega t - qz + \varphi)$ $(n_1 \ll n_0)$. Montrer que des ondes supplémentaires vont apparaitre dans le milieu que l'on déterminera le plus possible.
On donne : $\vec{j} = \frac{\partial}{\partial t}\left[\epsilon_0 \,(n^2 - 1)\vec{E}\right]$.
Application dans un cas particulier…

C'est le type d'exercice qui est en général bien abordé par les candidats, au moins pour poser les équations et engager la résolution. La connaissance du cours sur les équations de Maxwell est clairement systématiquement acquise. Ici, ce que l'on attend, c'est de comprendre ce qui passe et de l'habileté dans les calculs pour aboutir au résultat.

En utilisant les données de l'énoncé et les équations de Maxwell, il faut déjà arriver à une relation de la forme :

$$\left(k^2 - {n_0}^2 \frac{\omega^2}{c^2}\right)\cos(\omega t - kz)$$
$$= n_0 n_1 \frac{(\omega+\Omega)^2}{c^2}\cos\big((\omega+\Omega)t \ldots\big) - n_0 n_1 \frac{(\omega-\Omega)^2}{c^2}\cos\big((\omega-\Omega)t \ldots\big).$$

Plusieurs candidats sont arrivés à cette forme. Mais aucun n'a pu en déduire qu'alors il existe des ondes supplémentaires de telle et telle pulsation. Les examinateurs ont indiqué le raisonnement et la plupart des candidats ont bien continué l'exercice. Il faut comprendre que des ondes de pulsations $|\omega \pm \Omega|$ apparaissent avec une amplitude plus faible… Et l'existence de ces ondes implique l'apparition de nouvelles ondes etc.

Au final, sur ce genre d'exercice, la connaissance du cours ne pose pas de difficulté mais ce sont les idées qui manquent et souvent de la rigueur dans les calculs.

Exemple : il ne faut pas garder un produit de cosinus quand on dérive 2 fois par rapport au temps, mais il faut transformer ce produit comme une somme et tout devient beaucoup plus simple.

Exercice 6 : On souhaite modéliser le dégonflage d'un ballon de baudruche à cause de la porosité du caoutchouc. Pour cela on suppose qu'il existe des trous de rayons très petits, devant l'épaisseur du caoutchouc, elle-même petite devant le rayon de courbure de la sphère (on modélise le ballon par une sphère). Proposer plusieurs niveaux de modélisation pour rendre compte du dégonflage.

L'exercice n'est pas simple mais sur ce type d'exercice, nous pourrons évaluer tout à la fois la connaissance du cours, les idées, la compréhension de la physique sur un seul exercice. Nous n'allons pas corriger complètement l'exercice mais donner les idées qui permettent de bien démarrer.

Le principe est de considérer que les petits trous correspondent à des petits cylindres avec une pression différente aux 2 bouts. C'est-à-dire qu'on est dans la situation d'un écoulement de Poiseuille. Par exemple, si on connait le débit D d'air dans les trous, alors on a :

$$D \propto \Delta P.$$

Avec le coefficient de proportionnalité connu. Le débit est directement lié à la perte de quantité de matière dans le ballon lors du dégonflage. Puis avec la loi des GP on peut relier cette perte à une variation de pression pour obtenir une équation différentielle sur la pression. Il reste à relier la pression au rayon du ballon.

Il y a ainsi plusieurs étapes dans l'exercice… Avec des indications, les candidats ont au moins pu aborder les 2 premières étapes, ce qui permettait de démontrer une connaissance du cours avec l'écoulement de Poiseuille et les GP. Nous avons également vu quelques belles idées pour aborder le problème, ce qui a donné quelques bonnes évaluations.

Exercice 7 : On considère une pièce de monnaie (conductivité σ) qui peut tourner sans frottements autour d'un axe passant par l'un de ses diamètres. Le tout est plongé dans un champ magnétique uniforme. On imprime une rotation Ω_0 initialement. Quelle est la suite du mouvement ?

C’est un exercice sur l’induction électromagnétique. Cette année, nous avons constaté que les candidats avaient en général une bonne compréhension de ce type de problème. C’est-à-dire que les notions fondamentales du cours sur l’induction sont comprises. Ceci étant, il était très rare d’obtenir des calculs réalisés correctement et au final des résultats corrects. Ceci vaut pour cet exercice et toutes les variantes possibles de ce dernier. Ici, le seul cas intéressant est quand le champ magnétique est perpendiculaire à l’axe de rotation (un diamètre) de la pièce. Il va donc être nécessaire de calculer la variation d’un flux coupé ou bien d’intégrer quelque chose du type $\vec{v} \wedge \vec{B}$ le long d’une boucle de courant. Sur le principe, les candidats ont bien compris ces points mais la plupart ont calculé le flux du champ magnétique sur la surface de pièce (et comme elle tourne, il va bien avoir une variation du flux). C’est déjà bien mais il y a une petite lacune dans la compréhension de ce qu’est un flux coupé : lorsqu’un circuit se déplace dans un champ magnétique, c’est une boucle de circuit qui se déplace, il n’y a pas de matière à l’intérieur de cette boucle. Donc, ici, en appliquant cette notion du cours, il faut identifier quelles sont les boucles de circuit/courant. Ce sont évidemment des cercles de rayon r, d’extension dr. Et ce sont bien sur ces boucles qu’il faut calculer un flux. Plus loin, il faudra intégrer sur r. Donc, en prenant uniquement R=r, on ne considère qu’un circuit parmi d’autres. C’est une erreur fréquente que l’on a corrigée lors des interrogations, mais c’est dommage car c’est juste un petit élément de cours à mieux comprendre et qui peut contribuer à une bien meilleure évaluation.
Une fois ceci compris, la suite est simple : en notant α l’angle qui décrit la rotation de la pièce autour de son axe, on obtient :

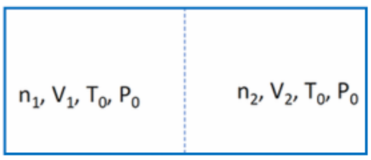
$$\Phi = \pi r^2 \sin(\alpha)\, B.$$

D’où $e = -\frac{d\Phi}{dt}$. Il reste alors à calculer la conductance dans le petit anneau de de rayon r (de largeur dr) et d’épaisseur e (épaisseur de la pièce), soit :

$$dG = \frac{\sigma e dr}{2\pi r}.$$

La suite est immédiate, nous n’allons pas la décrire. On calcule le courant, puis les forces de Laplace, puis le couple et enfin on intègre sur r pour obtenir le moment total qui s’exerce sur la pièce.
Avec des indications, quelques candidats ont pu obtenir le courant dans le petit anneau (plus haut) mais très rarement ensuite les calculs ont été menés correctement.

<u>Exercice 8 :</u> On considère un récipient à parois adiabatiques, divisé en 2 compartiments contenant n_1 et n_2 moles de GP (figure). On suppose dans un premier temps que les 2 gaz parfaits sont différents mais ont même rapport c_p/c_v.



1) On enlève la séparation entre les 2 compartiments. Calculer la température finale et la variation d'entropie de l'ensemble, signe de la variation d’entropie ?

2) Cas de 2 GP identiques. Montrer qu'il y a un problème. Monter que si la constante dans la définition de l'entropie est prise comme $C = \alpha\, n \log(n)$ on peut résoudre le problème avec un choix convenable de α.

De temps en temps, nous posons des exercices de thermodynamique. Cela peut porter sur des connaissances de cours de 1ère année et il est donc normal que les candidats prennent un peu de temps pour rentrer dans le problème. Pour ce dernier, la plupart des candidats se sont bien débrouillés, au moins pour la 1ère question, ce qui montre une bonne compréhension des notions importantes vues en cours.
Donnons quelques éléments de réponse. La température finale est T_0 car l'énergie interne ne varie pas et nous avons à faire à des GP. Pour calculer l'entropie d'un GP, il faut se rappeler que l'on a :

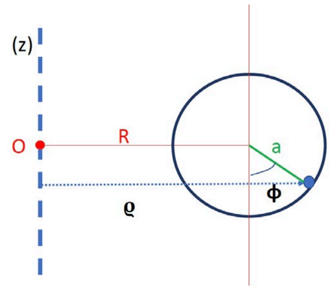
$$dU = TdS - PdV.$$

Nous avons apprécié que les candidats écrivent cette relation puis se posent des questions : par exemple, est-ce qu'elle est vraie uniquement pour des transformations réversibles et donc fausse ici ? Ensuite, il faut réfléchir en retournant aux notions du cours. Et les meilleures évaluations ont été obtenues avec des candidats qui ont alors produit de bons raisonnements. Il y a plusieurs manières de faire mais le plus simple est de raisonner pas à pas comme l'ont fait les candidats qui ont bien réussi cet exercice : on considère une petite transformation entre A et B (avec une variation de volume dV). On choisit un chemin réversible pour écrire dU comme ci-dessus. Mais U et S sont des fonctions d'état avec les variations dU et dS indépendantes du chemin suivi (de même que dV). Cette expression est donc vraie tout le temps et l'entropie qui apparaît dans cette équation est l'entropie totale, qui comprend éventuellement l'entropie échangée plus créée. On en déduit alors facilement l'entropie du GP, puis la variation d'entropie pour la transformation considérée.
La question 2) est simple lorsque l'on a compris les principes du 1). On trouve α=-R pour garantir que la variation d'entropie est nulle dans le cas du 2).

Exercice 9 : Une particule de masse m se déplace sans frottement sur la surface intérieure d'un tore d'axe de révolution vertical (axe par rapport auquel on mesure le grand rayon). Le champ de gravité est également vertical. Trouver à quelles conditions la particule peut se déplacer en orbite circulaire autour de l'axe de révolution vertical du tore. Étudier la stabilité de ce mouvement.

Cet exercice est caractéristique des exercices que nous posons autour du thème : petites oscillations et stabilité autour d'un mouvement principal. Les résultats des candidats sont très variés suivant leur capacité à bien réaliser 2 points essentiels : a) paramétrer le système b) comprendre la géométrie du système. Ceux qui sont à l'aise avec ces 2 points réalisent de belles évaluations.

Ici, par exemple, en coupe, on peut décrire la situation (et donc les variables) comme suit :



Avec $\rho = R + a\sin(\phi)$ et $z = -a\cos(\phi)$, ce qui donne les relations géométriques entre les variables. Écrire ensuite les équations du mouvement puis les combiner est simple, on obtient :

$$a\ddot{\phi} - \cos(\phi)\frac{C^2}{\rho^3} + g\sin(\phi) = 0.$$

Avec C une constante du mouvement ($C = \rho^2\dot{\theta}$). Le mouvement circulaire autour de l'axe de révolution correspond donc à la solution de cette équation pour ϕ constant (bien vérifier qu'il existe) puis on peut étudier les petites variations autour de cette solution.
Une approche énergétique est également possible et nous avons vu de belles évaluations en utilisant cette approche, mais attention les points a) et b) plus haut restent essentiels.

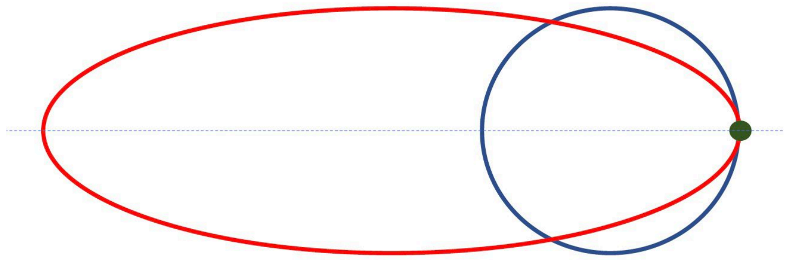
Exercice 10 : On considère deux milieux de conductivité, capacité thermique massique et masse volumique différentes (λ_1, c_1, ρ_1 et λ_2, c_2, ρ_2). Le milieu 1 occupe les $z < 0$ et le milieu 2 les $z > 0$. Trouver une forme permettant de décrire une onde thermique se propageant vers la droite et la gauche dans chacun des milieux. Déterminer un coefficient de réflexion et de transmission d'une onde thermique à l'interface.

Cet exercice a en général été très bien réussi par les candidats, leur permettant de se mesurer à un 2ème problème plus difficile.
Rappelons juste les éléments de réponse qui permettent de bien commencer. En suivant l'énoncé, on cherche champ de température de la forme (pour une onde se propageant de gauche à droite) :

$$T(z,t) = f(z)\cos(\omega t - kz).$$

Puis l'équation de la chaleur va permettre d'aboutir à une relation en ω et k. Ensuite, pour la 2ème partie de la question, il y a continuité de la température et du flux de chaleur à l'interface.

Exercice 11 : On considère un corps de masse m_1 (sonde spatiale) en orbite circulaire de rayon R autour du soleil et un autre corps de masse m_2 (une comète) en orbite elliptique de demi-grand axe a et de périhélie R (cela veut dire que le soleil est un foyer de l'ellipse). On a aussi $m_2 >> m_1$. On suppose que les 2 objets se rencontrent lorsque le corps 2 est au périhélie (point vert sur la figure) et qu'ils s'arriment l'un à l'autre.



Quel est le mouvement de l'ensemble après arrimage. Montrer que le système a perdu de l'énergie lors de l'arrimage, pourquoi ?

Cet exercice a été en général très bien réussi. Il repose en partie sur la connaissance de l'énergie totale d'une masse m en mouvement elliptique autour du foyer d'une masse M (avec une ellipse de demi grand axe a) : $E = -\frac{\text{GmM}}{2\text{a}}$. Il est nécessaire aussi de supposer que l'arrimage est suffisamment rapide pour avoir conservation de la quantité de mouvement lors de ce processus.

Rappelons également qu'il y a de nombreux exercices posés qui sont proches du cours (donc très classiques) : par exemple, (1) mouvements de 3 masses reliées par 2 ressorts (sur un axe horizontal), (2) une succession de masses m reliées par des ressorts avec une masse M différente à un endroit donné (le tout sur un axe horizontal), trouver les coefficients de réflexion et transmission de ce dispositif au niveau de M, (3) jet d'un fluide sur une plaque etc.
Lorsque ce type de questions n'est pas correctement traitée au moins en partie, cela se traduira toujours par une mauvaise note. En particulier, il est important de retrouver sans erreur l'expression du ressort équivalent lorsque plusieurs ressorts sont en série ou en parallèle.
Nous avons mentionné plus haut que nous posons des exercices plus difficiles en seconde intention, lorsqu'un exercice plus proche du cours a été résolu. Les meilleurs oraux, ceux au-dessus de 18/20 jusqu'à 20/20 supposent d'aborder ce type de question, sans nécessairement les résoudre. Donnons pour illustration quelques questions de ce type :

- Montrer que lorsqu'on observe un arc-en-ciel, l'angle (rayons du soleil vers l'arc en ciel / arc en ciel / rayons provenant de l'arc en ciel vers nous) est toujours d'environ 42^0.
- On réalise un cube avec 6 plaques métalliques, cinq au potentiel nul, une au potentiel V_0. Quel est le potentiel au centre du cube ? (Les arrêtes du cube sont isolantes).
- Une substance de volume V et de masse volumique ρ est malléable. Montrer qu'il existe une forme de cette substance et qu'il existe un point P dans l'espace qui maximise l'amplitude du champ gravitationnel en ce point.
etc.

Pour conclure, nous avons observé cette année un bon niveau en moyenne avec quelques performances excellentes, témoignant de la bonne préparation des élèves.