

Banque PC inter-ENS – Session 2021

Rapport du jury relatif à l'épreuve d'oral de physique (U)

- **Ecoles partageant cette épreuve** : ENS Paris

- **Coefficients** (en pourcentage du total d'admission de chaque concours) :

– ENS: 22 % (option physique) ou 17 % (option chimie)

- **Membres du jury** :

Yanko Todorov, Christophe Voisin

L'épreuve, d'une durée de 55 minutes, est destinée à tester la capacité des candidats à construire un modèle pour décrire au mieux un phénomène physique qui est présenté sous forme assez ouverte (description brève d'une observation expérimentale, courte séquence vidéo, graphe de données expérimentales)... Il est rappelé en début d'épreuve que la prise d'initiative est indispensable ; c'est au candidat de préciser ses hypothèses de travail, le sujet étant volontairement ouvert. La démarche est proche de celle des « résolutions de problèmes ». Cette démarche est au cœur du quotidien du métier de chercheur qui est un des débouchés naturels de l'ENS.

L'ensemble de l'épreuve se déroule sous la forme d'un dialogue entre le candidat et le jury. Le jury est toujours bienveillant : par ses remarques ou, le plus souvent, ses questions, il aidera un candidat à progresser s'il est dans la bonne direction ou au contraire lui fera part de ses doutes si le candidat s'engage dans ce qui semble être une impasse. Il ne faut pas hésiter à solliciter le jury pour faire avancer la discussion. Même si un temps de réflexion peut être nécessaire pour rassembler ses idées en début d'épreuve, un écueil à éviter à tout prix est de rester silencieux pendant de trop longues périodes sans expliquer au jury le cours de sa réflexion.

Une première approche du problème consiste généralement en une discussion qualitative du phénomène avec le jury, qui peut apporter à cette occasion des précisions supplémentaires sur les contours du sujet. A ce stade, les raisonnements par analogie avec des situations connues, par ordres de grandeur voire par analyse dimensionnelle sont bienvenues pour « entrer dans le sujet ».

Passée cette première étape, le jury attend que le candidat soit capable de proposer un chemin vers une description plus formalisée du phénomène. Dans la plupart des cas, les sujets ne

nécessitent pas de longs développements calculatoires. L'essentiel du travail consiste à formuler correctement la question, à identifier les variables pertinentes et surtout à identifier les quantités négligeables et simplifications possibles. Un sujet donné peut donner lieu à plusieurs directions de réponses ou de développements que le jury est prêt à accepter pour peu qu'ils soient correctement argumentés et modélisés. Il est souvent judicieux de prendre le temps nécessaire pour préciser par un schéma la géométrie et les notations retenues. Rappelons que la vérification de l'homogénéité des expressions et des ordres de grandeur en fin d'analyse est indispensable.

Pour cette session 2021, le jury note avec satisfaction que le niveau général des candidats semble peu affecté par la crise sanitaire qui a perturbé les conditions d'enseignements au cours des deux années scolaires précédentes.

Les problèmes de la session 2021 ont couvert les domaines suivants (liste non exhaustive) :

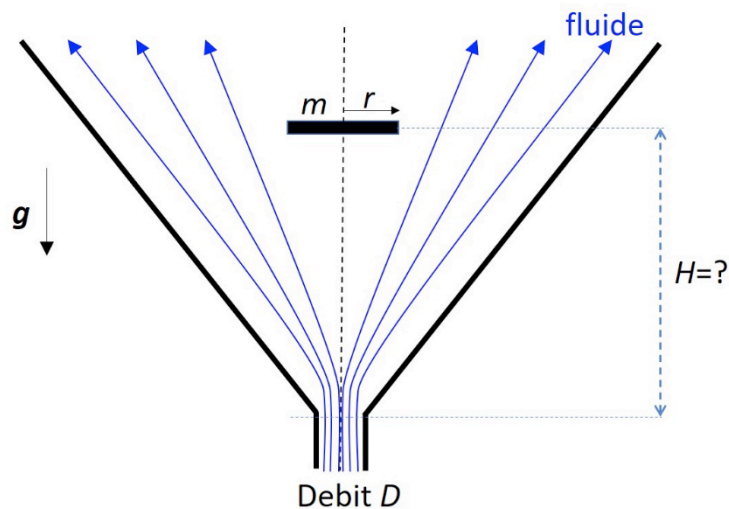
- Équilibre des corps en flottaison, oscillateur harmonique, bilan de quantité de mouvement et d'énergie...
- Gravitation, loi de Newton.
- Hydrostatique, équilibre de l'atmosphère
- Hydrodynamique, équation d'Euler, bilan des systèmes ouverts, forces de réaction d'un fluide en mouvement sur un corps immergé
- Approximation acoustique, ondes stationnaires
- Électromagnétisme : électrostatique, ondes électromagnétiques, modèle de Drude, force de Coulomb, pression de radiation, notions élémentaires de l'interaction lumière-matière
- Électrocinétique, inductance, résonance
- Thermodynamique, 1^{er} et 2^{ème} principes, transferts thermiques, rayonnement du corps noir
- Mécanique quantique, relations d'Heisenberg, modèle de Bohr, puits de potentiel

La quasi-totalité des exercices proposés faisaient appel à plusieurs domaines de la physique. La connaissance des valeurs numériques des constantes fondamentales (au moins en ordre de grandeur) et d'autres grandeurs physique est appréciée.

Dans la suite nous donnons quelques exemples de sujets qui ont été posés cette année avec quelques éléments de réponse.

Exemple 1 : Lévitaiton d'une pièce dans une conduite

On considère une conduite conique verticale alimentée par un débit D d'un fluide incompressible. Un petit disque de rayon r et de masse m est placé dans la conduite sur l'axe de révolution du cône (voir la Figure ci-dessous). Donner sa hauteur H par rapport à l'entrée de la conduite. Discuter la stabilité de sa position et la fréquence des petites oscillations autour de cette position. Dans un second temps, on envisage une séquence où le débit est une fonction du temps constante par morceaux. Donner la séquence de nombre d'étapes minimal pour transférer le disque dans une nouvelle position qui est 1) supérieure 2) inférieure à la position de départ H .



Éléments de réponse:

On utilise la conservation du débit pour exprimer le champ de vitesse en tout point sans le disque. On fait un raisonnement qualitatif pour dessiner l'allure des lignes de champ au voisinage du disque. En faisant un bilan de quantité de mouvement pour un système ouvert bien choisi on exprime la force appliquée sur le disque de la part du fluide. En utilisant l'expression de la force en fonction de H et D , on peut proposer une énergie potentielle effective. On peut ensuite se servir de la conservation de l'énergie mécanique afin de traiter la deuxième partie de l'exercice.

Exemple 2 : Fond diffus cosmologique

Ce problème débute avec une question de culture générale : Avez-vous déjà entendu parler du fond diffus cosmologique ? Que pouvez-vous en dire ? On donne ensuite aux candidat une description de ce phénomène en utilisant des notions du programme : il s'agit d'un rayonnement électromagnétique qui baigne l'Univers, très isotrope, et qui a des caractéristiques d'un rayonnement de corps noir à 3K. Ce rayonnement donne des informations sur les premiers instants de l'Univers, plus exactement, c'est le témoin du découplage entre la matière et les photons. Ceci c'est produit lorsque, en se refroidissant, le plasma électrons-protons a commencé à se recombiner en atomes d'hydrogène qui interagissent beaucoup moins avec les photons. A partir de cet instant, l'Univers est devenu à peu près transparent aux photons qui ont juste subi une détente au fur et à mesure de l'expansion de l'Univers. On se propose d'estimer l'âge de cet événement « découplage lumière-matière ».

Éléments de réponse:

-On peut établir une relation entre le rayon de l'Univers et la température du rayonnement fossile en modélisant le rayonnement de corps noir comme un gaz parfait des photons subissant une détente adiabatique.

-On considère la réaction $e+p = H$. On peut exprimer la variation de l'entropie de la réaction en modélisant les électrons non liés comme un gaz parfait. On en déduit la variation de l'enthalpie libre et par conséquent le taux d'avancement ; ceci permet d'obtenir la température typique de l'Univers pour laquelle le plasma électron-proton se recombine en atomes d'hydrogène. Avec le résultat de la première partie, on détermine le rapport entre le rayon de l'Univers actuel et celui lors du découplage lumière-matière. A partir de là, on fournit au candidat la formule de Hubble qui permet de déterminer l'âge de l'Univers lors du découplage.

Exemple 3 : Effet photo-acoustique.

Dans un laboratoire de spectroscopie, un faisceau laser est focalisé sur une tache de taille $10 \times 10 \mu\text{m}^2$. La puissance de faisceau est 1 mW et la longueur d'onde du laser $4.5 \mu\text{m}$. Lorsque l'intensité du laser est modulée à une fréquence $\omega \sim 1 \text{ kHz}$, on entend un son. Expliquer le phénomène, en sachant que la longueur d'onde $4.5 \mu\text{m}$ correspond à la fréquence de vibration en élongation antisymétrique des molécules de CO_2 .

Éléments de réponse:

Tout d'abord on identifie le phénomène physique en jeu : l'absorption du rayonnement par les molécules de CO_2 génère de la chaleur. On pourra estimer la chaleur générée par unité de temps et de volume en considérant que la molécule de CO_2 est un oscillateur amorti excité par le champ électrique du laser et proposer des hypothèses sur le taux d'amortissement. On pourrait aussi proposer directement une estimation de la section efficace d'absorption par molécule. Comme l'intensité du laser est modulée à une fréquence ω , une modulation de la température de l'air au point focal apparaît. Ceci entraîne une dilatation périodique de l'air au

point focal et apparition d'une onde sonore. On peut estimer l'intensité de l'onde en utilisant l'équation de la chaleur en régime périodique, l'équation du gaz parfait, l'équation des ondes sonores dans un gaz, ou décrire le système comme une machine thermique...