

Banque PC inter-ENS – Session 2022

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

- **Ecoles partageant cette épreuve** : ENS

- **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 succinct. 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 le 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 2022, le jury a remarqué qu'un trop grand nombre des candidats ont eu tendance à se lancer dans la résolution des problèmes en privilégiant une approche formelle et mathématique, plutôt que de démarrer avec une analyse qualitative du problème. Ce type d'approche formelle peut être efficace avec des exercices standards, néanmoins les exercices de l'oral sont conçus de telle manière qu'une analyse qualitative préliminaire est indispensable pour appréhender le sujet et en définir les contours. Par conséquent, les candidats qui ont su s'appuyer sur une telle analyse, même après avoir éventuellement exploré plusieurs fausses pistes ont mieux réussi les épreuves.

Les problèmes de la session 2022 ont couvert les domaines suivants (liste non exhaustive) :

- Oscillateur harmonique, bilan de quantité de mouvement et d'énergie...
- Gravitation, loi de Newton, mécanique céleste
- Hydrodynamique, équation d'Euler, bilan des systèmes ouverts, forces de réaction d'un fluide en mouvement sur un corps immergé
- Approximation acoustique, ondes stationnaires, vitesse du son dans les milieux.
- Électromagnétisme : électrostatique, ondes électromagnétiques, force de Coulomb, circuits inductance-capacité, résonance, loi de Faraday...
- Thermodynamique, 1^{er} et 2^{ème} principes, transferts thermiques, rayonnement du corps noir, transformations thermodynamiques...
- Mécanique quantique, niveaux d'énergie dans un 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 physiques est appréciée.

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

Exemple 1 : Bouteille de champagne

On considère une bouteille de champagne de 75cL. On sait qu'elle contient 9g de CO₂. Estimer la vitesse du bouchon à l'ouverture. On donne la loi de Henry qui lie la concentration du CO₂ dissout et sa pression partielle : $k_H \cdot P(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2)$ avec $k_H = 2\text{g/L.bar}$. Le schéma d'une bouteille de champagne avec des dimensions caractéristiques est fourni aux candidats.

Éléments de réponse:

On commence par une estimation de la pression du gaz carbonique présent en haut de la bouteille avant l'ouverture. Après avoir constaté que la pression est largement supérieure à la pression atmosphérique, on peut modéliser la transformation du gaz CO₂ après l'ouverture comme une détente adiabatique jusqu'à la pression ambiante ; un bilan d'énergie permet alors d'estimer l'énergie cinétique du bouchon à partir de la variation de l'énergie interne du gaz carbonique. Ce bilan peut être raffiné par une évaluation de l'énergie acoustique due au « bang » qui accompagne l'ouverture.

Il s'agit en apparence d'un exercice relativement simple, cependant tous les candidats ont eu le mauvaise réflexe de chercher à appliquer le principe fondamental de la dynamique sur le bouchon. Cette approche est très difficile à mettre en oeuvre car les forces de frottement entre le bouchon et les parois de la bouteilles sont difficiles à modéliser ; de plus la phase d'arrachement du bouchon n'a en réalité qu'une influence négligeable sur sa vitesse finale. Seuls quelques candidats ont eu l'idée de réfléchir à une transformation thermodynamique du gaz dans un deuxième temps ; peu d'entre eux ont pensé à une transformation adiabatique (plutôt qu'isotherme, par exemple). Il s'agit d'un exemple où les candidats cherchent à appliquer des approches standards, avec une vision restreinte sur le système, plutôt qu'une approche globale. Le jury a eu l'impression que peu des candidats ont l'habitude travailler sur des bilans globaux (ici d'énergie), approche particulièrement adaptée aux systèmes dont on ne connaît pas bien les interactions internes.

Exemple 2 : Capacité quantique

On s'interroge sur la modélisation d'un condensateur plan lorsque ses dimensions deviennent comparables aux dimensions atomiques, en particulier lorsque l'épaisseur des armatures et du diélectrique est de l'ordre d'une couche atomique (situation rencontrée en pratique dans les laboratoires avec les matériaux bidimensionnels comme le graphène ou le nitrure de bore). On propose aux candidat d'examiner par exemple combien d'électrons sont amenés sur chaque armature lors d'une charge sous une tension typique et d'en déduire comment il faut modifier le modèle de condensateur plan à cette échelle.

Éléments de réponse:

En utilisant la modélisation habituelle d'un condensateur plan, on constate que lors de la charge (sous 5V par exemple) d'un condensateur plan macroscopique, le nombre d'électrons supplémentaires apportés sur les armatures est très faible devant le nombre d'électrons initial. En revanche, pour un condensateur « nanoscopique », on peut rapidement être dans le cas où le nombre d'électrons apporté est du même ordre que celui des électrons initialement présents sur l'armature, ce qui implique de devoir reconsidérer leur distribution au sein des niveaux microscopiques. Il apparaît donc que l'énergie de charge du condensateur comprendra une contribution électrostatique comme dans le cas macroscopique et une contribution quantique lié au remplissage des niveaux électroniques selon le principe de Pauli. L'énergie de ces niveaux peut s'estimer dans le modèle le plus simple du puits quantique infini bidimensionnel. Une petite analyse thermodynamique permet de déduire la capacité du système comme dérivée seconde de l'énergie en fonction de la tension appliquée. La capacité peut se décomposer comme la mise en série de deux capacités l'une géométrique et l'autre quantique.

Exemple 3 : Propagation du son dans un liquide avec des bulles.

On montre aux candidats une vidéo où on excite des ondes sonores dans un verre rempli de divers liquides, en tapant au fond du verre avec une cuillère. Le liquide est soit de l'eau plate, soit une boisson gazeuse, soit du chocolat chaud. On constate que la fréquence du son émis change en fonction du liquide ; l'exercice consiste à trouver une explication de ce phénomène.

Éléments de réponse:

L'effet principale consiste dans la modification de la célérité du son due à la présence des bulles dans le liquide. En effet, on peut voir une boisson gazeuse comme un milieu effectif constitué d'un mélange de liquide et d'air. Même si la fraction de l'air à un volume très faible, son effet sur la propagation du son est significative car la compressibilité de l'air est beaucoup plus importante que celle du liquide. Le candidat est amené progressivement vers cette vision ; l'effet peut être quantifié par la connaissance des grandeurs physiques telles la célérité du son dans l'eau et dans l'air, les masses volumiques de ce milieu, le modèle du gaz parfait... Cette exercice permet aussi de discuter les ondes stationnaires acoustiques, les résonances d'oscillations des bulles (résonances des Minaret) et plus généralement la physique des oscillateurs harmoniques, de poser des ordres de grandeurs...