

Banque MP inter ENS - Session 2022

Rapport sur l'épreuve orale de Physique Ulm

- **Coefficient** (en pourcentage du total des points) : 23,1 % (option physique)
- **Membres du jury** :
J. Neveu, C. Sayrin
- **Durée de l'épreuve** : 1h

Présentation générale de l'épreuve

L'épreuve dure 1h sans temps de préparation. Le ou la candidate présente ses raisonnements et effectue ses calculs au tableau devant l'examineur. L'énoncé, en général succinct, est présenté par l'examineur. Les questions de l'énoncé sont données au fur et à mesure de l'épreuve.

L'épreuve prend essentiellement la forme d'un échange continu entre l'examineur et le ou la candidate. L'examineur s'attend à ce que les différentes étapes du raisonnement soient clairement exposées et à ce que les résultats soient précisément analysés. Le candidat est invité à systématiquement expliquer ce qu'il est en train de faire. Le jury ne s'attend pas à ce que le candidat sache résoudre le problème aussitôt la question reçue. Un temps de réflexion est bien sûr permis, mais se questionner, douter et réfléchir à voix haute permet de démarrer une discussion avec le candidat. À tout moment, le candidat peut poser un calcul « au brouillon » sur le tableau afin de répondre à la question posée.

Énoncés

Les énoncés portent sur l'ensemble du programme de physique des classes de MPSI et MP. Un même sujet peut nécessiter de recourir à plusieurs parties du programme.

Tous les sujets proposés par le jury sont originaux et n'ont, à sa connaissance, jamais été posés aux concours. Une expérience de pensée ou un fait expérimental, récent ou ancien, forme souvent le point de départ de l'énoncé. Ce dernier est rédigé de façon succincte et laisse au candidat le soin d'introduire le formalisme adéquat et d'en réaliser la modélisation mathématique et physique. Une importance toute particulière est accordée à cette étape de modélisation : discuter des lois physiques en jeu, réaliser un schéma du système étudié, choisir des notations pour paramétrer le problème.

La plupart des sujets commence par une question moins difficile. Dans le cas contraire l'examineur encourage le candidat à commencer par une description simplifiée du problème avant de répondre à la question. Dans tous les cas, l'examineur guide le candidat s'il reste bloqué trop longtemps, le plus souvent par le biais de questions.

Certaines situations physiques font intervenir des concepts en dehors du cadre du programme de MPSI/MP. L'examineur présente alors clairement ce que le candidat doit savoir pour

répondre au problème. Le jury insiste toutefois sur le fait qu'aucune connaissance hors programme n'est nécessaire pour la compréhension et la résolution des problèmes donnés.

Dans certains cas, l'énoncé est complété par des tables, des schémas ou des formulaires. Ces documents sont le plus souvent introduits au moment où le candidat en a besoin pour ne pas interférer dans sa réflexion préalable. Aucune étude de documents n'est demandée au cours des épreuves.

Des exemples de sujets donnés lors de la session 2022 sont fournis à la fin de ce rapport.

Évaluation

L'objectif de l'épreuve est d'évaluer la compréhension des concepts physiques sous-jacents par le ou la candidate, son inventivité et sa prise d'initiative face à un problème a priori nouveau, sa capacité à mobiliser ses connaissances dans des situations originales. Les principales compétences évaluées sont les suivantes :

- maîtriser le programme,
- savoir analyser et décrire une situation physique nouvelle avant tout calcul,
- savoir formaliser une situation physique et proposer un modèle pertinent,
- avoir un regard critique sur le modèle proposé et sur les résultats obtenus,
- savoir présenter de façon claire ses raisonnements et résultats,
- savoir mener des calculs de façon rigoureuse tout en sachant introduire et utiliser des approximations physiques pertinentes,
- entretenir une discussion physique avec l'examineur et savoir s'adapter aux indications données en cours d'épreuve.

Certains aspects de l'épreuve, dans sa forme ou au sujet de l'évaluation, sont détaillés par la suite.

- **Maîtrise du cours :** L'oral est axé sur la résolution d'un problème et, en ce sens, les questions de cours ne sont pas au cœur de l'épreuve. Une connaissance parfaite du cours est toutefois attendue. En particulier, le ou la candidate doit être capable de préciser pour les résultats de cours qu'il invoque les conditions d'application, les hypothèses sous-jacentes et leurs domaines de validité. Une courte démonstration ou le principe de la démonstration peuvent être demandés au candidat quand ils figurent au programme.
- **Analyse et modélisation du problème :** Les énoncés sont le plus souvent très concis. Qu'une question lui soit spécifiquement dédiée ou non, le début de l'épreuve doit donc commencer par une analyse du problème. Dans cette première phase exploratoire où l'examineur intervient peu, idéalement, il est attendu du candidat qu'il décrive soigneusement la situation physique en identifiant les paramètres pertinents du problème. Un dessin clair et soigné est valorisé. Il est également du ressort du candidat qu'il fasse un choix pertinent de notations pour les grandeurs introduites, et que ces notations restent cohérentes tout au long de l'épreuve (une alternance entre r , R ou d pour une même distance est par exemple à proscrire).

Une analyse qualitative du problème est très appréciée : l'analyse de cas limites simples, l'évaluation d'ordres de grandeur estimant l'importance relative de différents phénomènes permettent le plus souvent une compréhension globale du problème et une simplification préalable à toute mise en équation. Ce temps d'analyse permet ainsi au candidat de faire preuve de son recul sur la physique du problème mais aussi de mettre toutes les chances de son côté pour résoudre ensuite le problème. Les candidats qui ont bien su mener cette première phase, sans calculs, ont été valorisés.

Le jury attend ensuite du candidat qu'il propose une méthode de résolution du problème avec une mise en équation rigoureuse. À cette étape comme aux précédentes, le jury attend une certaine autonomie du ou de la candidate. En particulier, il ou elle doit être capable d'avancer dans sa réflexion et dans la résolution du problème sans attendre la validation de chaque étape par l'examineur. Toutefois l'examineur ne laisse pas le candidat s'avancer trop avant dans des raisonnements ou calculs sans issue. Il n'intervient pas immédiatement pour laisser le temps au candidat de s'auto-corriger. Se rendre compte des faiblesses de son raisonnement initial puis se corriger est tout à fait valorisé.

- **Discussions avec l'examineur :** Les sujets, tels qu'ils sont écrits, ne peuvent en général pas être résolus sans l'intervention de l'examineur. Idéalement, ce dernier n'intervient que pour aiguiller le raisonnement du ou de la candidate, ou pour introduire des hypothèses ou des précisions nécessaires à la résolution du problème.

Dans tous les cas, les interventions de l'examineur sont bienveillantes. Le plus souvent, il intervient pour demander au candidat de préciser un résultat ou une affirmation qu'il a faite (quelle que soit sa véracité) ou pour donner des indications pour aider le ou la candidate à avancer s'il ou elle reste bloquée trop longtemps.

Le jury insiste donc sur l'importance pour les candidats de rester attentifs à ses interventions tout au long de l'épreuve. Les candidats qui n'ont pas su écouter les indications du jury et se sont enfermés dans une voie trop simpliste ou trop complexe ont été pénalisés.

- **Présentation des raisonnements et résultats :** Une importance toute particulière est donnée à la façon dont le ou la candidate présente la situation physique, ses raisonnements, approximations et résultats. De façon générale, cela passe par un dessin soigné représentant la situation physique et introduisant les grandeurs pertinentes. Des calculs menés sans justification claire ou avec des commentaires lapidaires sont sanctionnés, même si le résultat final est correct. Le fait qu'un calcul semble « classique » au candidat ne justifie pas un manque de rigueur scientifique ou de brûler des étapes : le candidat doit être capable de convaincre par un argumentaire scientifique / physique rigoureux qu'il maîtrise les calculs qu'il mène. En l'absence de justification suffisante, l'examineur l'interroge pour obtenir des précisions. Des réponses laconiques traduisant un refus de la discussion physique ont été lourdement pénalisées.

Plusieurs candidats ont ainsi voulu avancer trop vite dans l'énoncé au détriment

de la clarté de leur présentation. Le jury insiste sur le fait que cette stratégie n'est jamais gagnante. De façon générale, la note finale n'est pas directement corrélée à l'avancée dans le sujet par le candidat. La précision de ses réponses et les interventions ou aides de l'examineur sont également prises en compte dans l'évaluation.

- **Calculs :** Tous les problèmes aboutissent à un moment à une étape de formalisation suivie de la résolution des équations. Si les compétences techniques des candidats, déjà largement testées lors des épreuves écrites, ne sont pas au cœur de l'évaluation lors de cet oral, il est attendu que le ou la candidate sache mener rigoureusement un calcul. Les calculs demandés sont habituellement relativement courts et peuvent être effectués sur un seul tableau. Pour les calculs les plus complexes, l'examineur peut en donner le résultat une fois le calcul bien posé. Le jury tient à rappeler qu'il ne s'agit pas d'une épreuve de mathématiques ou de calculs, mais bien de physique. Néanmoins ne pas savoir mener un calcul simple ou une résolution d'équation « classique » (solutions d'un oscillateur harmonique par exemple) est lourdement sanctionné. Dans tous les cas, la clarté de la présentation, une bonne tenue du tableau avec des calculs clairs, des approximations bien posées et physiquement justifiées, et des notations cohérentes et bien choisies, autrement dit un souci de la pédagogie, sont fortement valorisés.
- **Analyse des résultats :** La réponse à un problème physique s'arrête rarement à la donnée d'une formule. Il est attendu du candidat qu'il analyse et interprète ses résultats. Cela peut notamment passer par un test de l'homogénéité de la solution, l'évaluation d'ordres de grandeur ou le test de cas limites connus. Les candidats qui ont su mener ces analyses de façon autonome sont valorisés.

Le jury tient toutefois à insister sur le fait que, si l'outil mathématique est indispensable à la résolution des problèmes physiques, l'interprétation des résultats ne peut se limiter à une étude purement mathématique. Le ou la candidate doit être capable de donner un sens physique aux solutions données ou aux équations posées. Par exemple, expliquer pourquoi les solutions d'un oscillateur harmonique sont oscillantes à haut facteur de qualité doit pouvoir s'expliquer par des arguments physiques, sans passer par le calcul d'un déterminant. Comme écrit précédemment, le sens physique du ou de la candidate est l'élément central de l'évaluation, plus que son analyse mathématique du problème.

Rapport sur la session 2022

119 candidats ont passé l'épreuve de physique, pour une moyenne de 12,05 et un écart-type de 3,57. Le jury tient à insister sur le très bon niveau des candidats auditionnés, avec quelques candidats excellents. En conséquence, la note reçue ne doit pas être interprétée de façon absolue, elle ne reflète que le classement du candidat et l'interclassement de l'épreuve orale de physique par rapport aux autres épreuves. Sauf exceptions, la performance des candidats en fin de classement reste tout à fait honorable malgré la faiblesse des notes indiquées.

Le jury insiste sur le fait que le programme de première année de classe préparatoire figure bien au programme du concours. Certains candidats se sont laissés piégés à chercher des solutions trop compliquées avec de l'électromagnétisme alors que le jury attendait simplement de l'optique géométrique. Trop de candidats ont par ailleurs montré des lacunes de connaissances en mécanique du point (notion de référentiel, notion d'orbite circulaire, etc).

Le jury tient également à rappeler que les solutions aux problèmes posés ne correspondent jamais à l'emploi de techniques ou astuces classiques hors programme qui auraient pu être abordées en classe préparatoire. Les candidats qui ont cru reconnaître un problème précédemment traité, sans prêter attention à la façon dont les questions étaient posées ou aux spécificités du problème, se sont le plus souvent auto-pénalisés.

Il faut pouvoir justifier pourquoi un référentiel peut être considéré comme galiléen, s'il peut l'être. Il n'est par exemple pas évident que, dans un modèle semi-classique de l'atome d'hydrogène, le référentiel du proton puisse être choisi comme galiléen, notamment quand le proton est soumis aux mêmes forces (électrostatique par exemple) que l'électron.

Exemples de sujets

Nous donnons ici des exemples de sujets posés lors de cette session du concours. Le jury tient à rappeler qu'une grande importance est accordée à la discussion du candidat avec l'examineur. Ces exemples ne doivent pas être interprétés comme s'il s'agissait d'une épreuve écrite tant l'intervention de l'examineur est indissociable de l'énoncé.

1^{er} exemple

On s'intéresse à un atome d'hydrogène isolé. On considère des états de l'électron de valence tels que l'électron est maintenu sur une orbite circulaire plane. La dépendance angulaire de la fonction d'onde s'écrit

$$\psi(\varphi) = \frac{1}{N} e^{i k \varphi}.$$

1. Décrire le comportement de l'électron.
2. Comment se comporte l'atome soumis à un champ magnétique ?
3. Soit un gaz d'atomes d'hydrogène à la température ambiante, soumis à un champ magnétique statique. Quelle est la capacité calorifique du gaz ?

2^{ème} exemple

Peut-on mesurer la pression de l'air avec un pendule ?

3^{ème} exemple

Peut-on mesurer l'épaisseur et l'indice d'une lame de verre avec un Michelson ?

4^{ème} exemple

On s'intéresse à une lampe spectrale, comme certains lampadaires dans la rue.

1. Est-il possible de connaître la température des atomes dans la lampe en reconstruisant son spectre ?

On souhaite mesurer l'élargissement de la raie Doppler par une méthode interférométrique.

2. Expliquer comment procéder avec un Michelson.
3. (Interférogramme montré au candidat) Estimer la largeur de raie et la température de la lampe.
4. Une lampe spectrale au sodium émet deux raies à 589,0 nm et 589,6 nm. À quoi ressemble s l'interférogramme ?

5^{ème} exemple

Le 25 décembre 2021, le James Webb Telescope quitte enfin la Terre à bord d'une fusée Ariane 5. Les instruments scientifiques à l'intérieur ayant besoin d'être refroidis à 40K, il est préférable de positionner les satellites dans le cône d'ombre de la Terre. Il ne peut donc pas être en orbite autour de la Terre comme la plupart des satellites.

1. Existe-t-il un lieu derrière la Terre où positionner le satellite de façon stable ?

Autour du point d'équilibre, la force totale s'appliquant dans le voisinage de ce point est

$$\vec{F}(\vec{r}) \approx \vec{F}_{eq} + \delta\vec{f} = \delta\vec{f} \quad \text{avec} \quad \delta\vec{f} = \begin{cases} 9m\Omega^2\delta x \\ -3m\Omega^2\delta y \\ -4m\Omega^2\delta z \end{cases}$$

où m est la masse du satellite et Ω la pulsation orbitale de la Terre autour du Soleil.

2. Le point d'équilibre est-il stable ? Quelle est la trajectoire du satellite au voisinage de ce point ?

6^{ème} exemple

Exemple 6a

On modélise une fibre optique par un cœur transparent entourée d'une gaine transparente. Un rayon lumineux est injecté dans le cœur.

1. Donnez une condition sur le rayon d'entrée pour que celui-ci se propage jusqu'à l'autre bout de la fibre.

On utilise une source lumineuse en entrée de fibre. Elle émet régulièrement des impulsions lumineuses qui font office de bit d'information.

2. Quel est le taux d'information maximal qu'on peut envoyer dans la fibre ?
3. Si la fibre est courbée, que se passe-t-il ?

Exemple 6b

On reconsidère le cas d'une fibre optique non courbée. On veut maintenant faire un traitement ondulatoire de la lumière.

4. Comment peut-on décrire de façon générale un rayon lumineux dans l'espace libre sous forme d'une onde ?
5. On suppose que la source n'est pas exactement monochromatique. Quel est l'impact sur le débit maximum de la fibre ?