

## Épreuves orales de Physique, Filière MP

Lors de la session 2021, l'épreuve orale de physique a été passée par 453 candidates et candidats, dont 388 de nationalité française. Les notes moyennes obtenues par les candidats français avec leur écarts-type sont les suivants (par commission) :

- 1<sup>ère</sup> com. : 130 candidats pour une moyenne de 11,77/20 avec un écart-type de 3,48
- 2<sup>ème</sup> com. : 130 candidats pour une moyenne de 11,99/20 avec un écart-type de 2,92
- 3<sup>ème</sup> com. : 128 candidats pour une moyenne de 11,99/20 avec un écart-type de 3,25

L'épreuve orale de physique a retrouvé cette année son format habituel, décrit dans les rapports années 2019 et antérieures. Néanmoins, conscients du caractère particulier des deux dernières années de préparation, les examinateurs se sont efforcés de poser des exercices relevant des parties les plus typiques du programme, et n'ont pas hésité à proposer un second exercice, sans nécessairement avoir achevé la résolution du premier. Ces deux aspects ont toujours été présents dans l'esprit de l'épreuve orale de physique et le resteront (nous renvoyons à ce titre au rapport de 2019 par exemple) mais une attention toute particulière leur a été portée cette année.

L'épreuve orale de physique, d'une durée de 50 minutes, commence par l'énoncé d'un exercice le plus souvent au tableau. Cet énoncé est parfois accompagné d'un document présentant des résultats de mesures ou décrivant un montage expérimental, voire d'une présentation d'une expérience de laboratoire ou même d'une petite expérience de « coin de table » qu'il est proposé au candidat de réaliser et d'interpréter. Lorsque de tels résultats expérimentaux sont présentés, il est attendu que le candidat les prenne en compte et les valorise. Une brève question préliminaire est parfois posée afin d'évaluer la connaissance du cours et la culture scientifique du candidat sur les thèmes du programme. Les exercices sont ainsi variés, allant de la proximité du cours à la modélisation d'une expérience. Souvent, un second exercice est proposé pour permettre à l'examineur d'affiner son évaluation : cela ne présume absolument pas de la résolution complète ni correcte du premier exercice, qui a pu être interrompu sans que toutes les questions aient été posées. Les candidats doivent donc être préparés à tout type d'exercice, allant d'un classique et proche du cours à la résolution de problèmes plus complexes et inattendus.

Les problèmes classiques au centre du programme sont posés car il est nécessaire de s'assurer régulièrement de la pleine maîtrise des notions de base du programme : cela reste un écueil inattendu pour bien trop de candidats, aussi tout postulant doit se tenir prêt à répondre avec facilité à un tel exercice. S'il s'avère que le candidat maîtrise les notions essentielles de son cours, un exercice plus original est rapidement proposé, afin qu'aucun candidat ne puisse se sentir "pénalisé" d'avoir eu un premier exercice typique et proche du cours. A l'inverse, certains exercices sont de résolution complexe et une bonne note peut être obtenue sans avoir nécessairement traité l'intégralité des questions. Dans tous les cas, les exercices proposés permettent aux examinateurs d'évaluer aussi bien la maîtrise du programme que la construction de raisonnements élaborés. La notation prend toujours ces aspects en compte : connaissance du cours, pertinence de la démarche, construction d'un raisonnement, maîtrise des concepts physiques utilisés. Ces aspects sont évalués en détail quelle que soit la difficulté apparente du premier exercice posé.

Les candidats se sont généralement montrés plus attentifs aux interventions de l'examineur que les années passées. Nous rappelons toutefois pour certains que de telles interventions ne sont pas synonymes de réduction de la note finale, ne se limitent pas à fournir des « indices », et ne font pas « perdre de temps » au candidat. Il peut s'agir, face à un candidat sachant visiblement aborder la question posée, de sonder plus à fond ses connaissances et son sens physique en discutant les principes physiques utilisés, les hypothèses faites ou les analogies avec d'autres systèmes physiques. L'examineur peut aussi faire réagir le candidat face à une éventuelle erreur ou étourderie, et évaluer si cette réaction est positive. A l'inverse, ce dialogue avec l'examineur ne doit pas servir au candidat de prétexte pour tenter d'obtenir des éléments de réponse : bien que l'examineur puisse se montrer plus aidant dans le cas d'exercices complexes ou atypiques, le candidat ne peut en aucun cas attendre de lui la solution du problème posé.

A l'inverse, malgré les rapports des années passées, nous constatons à nouveau que certains candidats ne répondent pas directement aux questions posées mais les détournent ou n'y répondent que partiellement ou en ne terminant pas les calculs. Cette technique d'évitement, qui est malheureusement assez fréquente, est sanctionnée : « Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée » est une compétence générale du programme de physique de MP. Nous ne pouvons qu'encourager les candidats à plus de spontanéité, de fraîcheur et de communication avec l'examineur. Rien n'est plus troublant qu'un candidat annonçant que le calcul va être « compliqué » voire « assez pénible » (sic). Les calculs doivent être menés jusqu'à la solution explicite. D'un autre côté, les calculs ne doivent pas être menés de manière muette. A l'oral, le candidat doit aussi exposer le cheminement suivi et les raisons des choix qu'il fait, des hypothèses introduites, le repère et les paramètres choisis, etc. Il est aussi bienvenu de vérifier la pertinence des résultats intermédiaires (dimensions, signes, orientations des vecteurs, etc.).

### **Mécanique quantique –**

Ce sujet continue à être de mieux en mieux maîtrisé et les techniques de calcul associées sont généralement bien connues. Mais la signification de la stationnarité d'une solution de l'équation de Schrödinger est souvent mal appréhendée, l'ensemble des états possibles physiquement ne se limitant généralement pas aux états stationnaires. Les ordres de grandeur de la pertinence de la mécanique quantique, comparée à la mécanique classique, mériteraient également d'être mieux connus. Si les techniques de résolution des équations sont de mieux en mieux maîtrisées, l'originalité des problèmes proposées repose souvent sur des considérations géométriques. Dans ce cadre, il est attendu des candidats qu'ils sachent distinguer la notion de fonction d'onde de celle de densité de probabilité de présence.

### **Mécanique –**

Comme chaque année, trop de candidats foncent tête baissée, écrivent des équations redondantes, posent trop de variables dégénérées entre elles et/ou cherchent à résoudre avant d'avoir le bon nombre d'équations indépendantes. Une analyse qualitative initiale est souvent d'une grande aide. Encore une fois, réfléchir à la démarche adoptée avant de débiter les calculs (par exemple : choix d'une démarche énergétique ou non, nombre d'inconnues, indépendance des équations proposées, etc.) ne peut que faciliter les calculs à venir et leur interprétation. Les candidats devraient bien anticiper les étapes de la résolution avant de poser le détail des calculs au tableau.

Le système de coordonnées choisi n'est pas toujours le plus judicieux. Parfois, plusieurs systèmes (cartésien et polaire, par exemple) sont mélangés, ce qui rend les calculs compliqués, voire redondants sans que le candidat ne le réalise. Là aussi, une réflexion sur le choix du système de coordonnées (en

exploitant notamment les symétries du système) avant de poser les équations associées à chaque choix serait souvent bienvenue.

De même une fois les équations posées il est bon de réfléchir à la technique de résolution adaptée. L'introduction d'une variable complexe pour un système d'équations couplées permet généralement d'atteindre le résultat, mais souvent au prix de calculs laborieux (qui génèrent des erreurs), alors que d'autres méthodes peuvent parfois grandement faciliter la résolution.

Trop souvent les calculs menés établissent l'intégralité de l'équation de la trajectoire alors que seul un élément de réponse est demandé (par exemple : la durée d'un mouvement, sans demander le détail de l'orbite).

A nouveau, la construction du raisonnement pour répondre à la question demandée, sans répondre nécessairement à une étude plus large, fait défaut.

Les orientations des forces ou des accélérations sont souvent aléatoires, parfois vérifiées a posteriori uniquement, voire pas du tout.

Un nombre heureusement limité de candidats rencontre des difficultés sérieuses sur la signification des grandeurs énergétiques et de leurs dérivées. Les positions d'équilibre ne sont pas données par l'annulation de la dérivée *temporelle* de l'énergie mécanique ; la force d'inertie de Coriolis n'intervient pas à l'équilibre dans un référentiel non-Galiléen. Il s'agit parfois d'étourderies, mais pas toujours, des erreurs répétées ayant en effet été constatées sur la notion de position d'équilibre, qui est pourtant une notion centrale du programme.

Certains exercices proposés débutent par une question simple et classique, par exemple, le calcul d'une orbite circulaire dans un champ de force centrale, de la vitesse ou de la période associée. De telles questions très simples devraient être traitées en quelques minutes, et il n'est aucunement demandé aux candidats de réciter l'intégralité du cours en détail. Des questions plus complexes suivront généralement (par exemple dans le cas cité, la stabilité de l'orbite, ou la forme de l'orbite en cas de perturbation), l'examinateur sera alors plus aidant et patient face à ces questions moins classiques et plus complexes.

Le tracé et l'utilisation des portraits de phase sont mieux maîtrisés que les années précédentes.

## **Électromagnétisme et électrocinétique –**

Cette partie du cours est plutôt bien assimilée par la majorité des candidats. Les équations de Maxwell sont en général appliquées à bon escient, même si l'on pourrait ici encore conseiller aux candidats de réfléchir aux équations qui seront les plus utiles pour le problème posé plutôt que de chercher précipitamment à résoudre l'ensemble du système d'équations. Trop souvent les candidats résolvent formellement des équations redondantes entre elles si bien que certains calculs, parfois longs, aboutissent à «  $0=0$  ». Les problèmes d'induction sont qualitativement bien abordés, mais une partie des candidats peine à orienter le système et les flux rigoureusement, et peine tout autant à vérifier a posteriori le résultat obtenu par exemple à l'aide de la loi de Lenz. Trop souvent cette loi est utilisée pour aborder la résolution du problème alors qu'elle ne mène qu'à paraphraser l'énoncé sans pouvoir réellement décrire et orienter les courants induits et les actions mécaniques, alors qu'elle devrait surtout être utilisée pour valider les résultats établis. Des confusions entre loi de Lenz et de Faraday sont régulièrement notées, il s'agit parfois de simples confusions terminologiques mais elles révèlent trop souvent de profondes incompréhensions de la distinction entre les phénomènes d'induction eux-mêmes, et les actions mécaniques qui résultent de la présence de courants induits. Comme pour les sujets de mécanique, les examinateurs attendent que les candidats analysent bien le nombre d'inconnues, les équations dont ils disposent, celles qui sont utiles ou redondantes, avant de se lancer tête baissée dans des calculs trop longs.

Le maniement des densités volumiques ou surfaciques de courant ou de charge est bien souvent laborieux, et l'orientation de courants ou densités associées est trop souvent hasardeuse. Ces notions sont utiles dans divers types de problèmes d'électromagnétisme et d'électrocinétique et méritent d'être mieux maîtrisées. Leur simple définition pose parfois problème. La maîtrise de ces notions permet souvent de relier des considérations d'électromagnétisme et d'électrocinétique.

En électrocinétique, une analyse qualitative du circuit est souvent possible sans pour autant recourir à l'analyse mathématique d'une impédance complexe, en particulier dans les régimes limites de basses et hautes fréquences. Beaucoup de candidats gagneraient à identifier des « blocs connus » et utiliser le théorème de superposition avant d'écrire le maximum de lois de mailles et de nœuds sans se demander (comme en mécanique) si ces équations seront utiles, nécessaires, et/ou redondantes. L'utilisation systématique et immédiate des impédances complexes se révèle inefficace dans nombre d'exercice posés qui peuvent être traités plus efficacement par d'autres méthodes.

**Thermodynamique et physique statistique** – Dans les problèmes d'échange de chaleur et d'énergie, le signe des flux est trop souvent fixé de manière aléatoire. Cela ne correspond évidemment pas à la démarche rigoureuse attendue. Cette année encore, les examinateurs ont relevé nombre de confusions entre continuité du flux et continuité du profil de température, la première n'impliquant absolument pas la seconde – plus généralement, des candidats évoquent une quantité continue mais écrivent formellement qu'elle est constante sans le réaliser.

Les problèmes d'hydrostatique ont été abordés de manière très hétérogène. Rappelons qu'ils peuvent généralement être résolus par des bilans de forces sur un volume élémentaire de fluide, sans nécessairement recourir à l'expression d'une densité volumique des forces. Cette dernière expression, formellement hors programme, est connue par la majorité des candidats pour les forces de pression, mais est utilisée à leurs risques et périls, car trop souvent comparée à des expressions non volumiques pour d'autres forces.

Les cycles thermodynamiques posent désormais moins de difficultés, mais trop peu de candidats semblent avoir déjà réfléchi à la signification physique des transformations en cours de cycle et des grandeurs (travail et chaleur) associées. L'établissement d'un rendement (positif) pour une machine thermique est souvent laborieux. Il semble nécessaire de rappeler que le travail élémentaire implique la pression extérieure, celle-ci ne pouvant être prise égale à la pression du système que dans le cas d'une transformation réversible. Lorsque le système est soumis à des forces extérieures découlant d'une énergie potentielle, ou que son énergie cinétique est susceptible de varier, ces énergies entrent en jeu dans le premier principe. Il a été entendu de nombreuses fois que si les échanges thermiques étaient nuls ou pouvaient être négligés lors de la transformation, alors la température du système pouvait être considérée constante, autrement dit une transformation adiabatique serait nécessairement isotherme, et vice-versa.

Les hypothèses conduisant au modèle du gaz parfait devraient être parfaitement comprises. Le modèle cinétique des gaz parfaits, et ses divers analogues rencontrés dans des exercices pourtant classiques, n'est pas maîtrisé par bon nombre de candidats.

**Optique** – Les calculs d'interférences à ondes multiples sont mieux maîtrisés que lors des sessions précédentes même si certaines difficultés subsistent dans l'appréciation de la cohérence de sources secondaires. Des confusions fondamentales en sommation des amplitudes et des intensités, heureusement en nombre limité, ont été constatées. En optique géométrique, les constructions trigonométriques usuelles sont mieux maîtrisées par la majorité des candidats, même si l'orientation des angles reste parfois un écueil. Néanmoins, certains candidats négligent toujours cette partie du cours au point de ne pas savoir placer les angles mis en jeu dans la loi de Snell-Descartes sur un schéma fourni par l'examinateur.

**Outils mathématiques** – La manipulation de quantités infinitésimales reste un écueil pour trop de candidats, qui les mélangent avec des quantités non-infinitésimales, ou peinent à évaluer leurs dimensions. De même la manipulation de grandeurs volumiques et surfaciques mène à de trop nombreuses erreurs. Le flux d'une quantité volumique s'exprime à travers une surface, le flux d'une quantité surfacique à travers un contours uni-dimensionnel. La signification d'un gradient, voire même son orientation, pose trop souvent problème et il n'est pas exceptionnel de voir un gradient représenté parallèle à une iso-surface.

Le fait qu'une équation différentielle soit linéaire est une propriété importante qu'il convient de souligner et d'exploiter. Pour les équations différentielles linéaires d'ordre 2 à coefficients constants, certains candidats oublient qu'il y a deux solutions linéairement indépendantes, ou ne s'en souviennent que lorsqu'ils bloquent sur une incompatibilité entre leur unique solution et les deux conditions initiales. Pour les équations différentielles d'ordre 1, certains candidats n'osent pas utiliser la méthode de séparation des variables dès qu'ils aperçoivent l'ombre d'une non-linéarité. Dans un calcul intégral, les bornes d'intégration doivent être précisées et les variables d'intégration ne doivent pas être oubliées : des erreurs sont relevées régulièrement lorsque les variables d'intégrations sont oubliées et que l'examinateur les demande. Les constantes d'intégration ne doivent pas être oubliées, mais ne doivent pas non plus être ajoutées à tort lorsque les deux bornes d'intégration sont déterminées.

La trigonométrie et l'orientation des angles posent beaucoup de problèmes, ce qui semble indiquer un manque d'entraînement des candidats sur les constructions géométriques et trigonométriques usuelles, en particulier lors de la projection de vecteurs (forces). Les flux et les courants ne sont pas toujours orientés de manière cohérente avec les angles et plus généralement l'orientation des angles est souvent traitée de manière hasardeuse, voire incohérente au sein d'un même exercice.

Concernant l'analyse dimensionnelle : l'utiliser est bien ; en abuser l'est moins (surtout si c'est pour gagner du temps sur des questions classiques ou faciles). Il n'est pas nécessaire de vérifier explicitement et laborieusement l'homogénéité toutes les deux ou trois lignes de calcul. Pour quelques résultats intermédiaires, cette étape de vérification peut être faite rapidement par le candidat sans rentrer oralement dans les détails. La mise sous forme adimensionnée d'un intégrant peut permettre de conclure une planche par une discussion physique sur l'influence des différents paramètres du problème sur le résultat demandé, plutôt que sur un résultat plus tout à fait juste après une tentative de calcul complet de l'intégrale.

Enfin, la discussion d'un résultat mathématique formel se résume souvent à une paraphrase de la formule obtenue, sans explication ni mise en perspective du résultat dans un contexte physique plus général. Nous encourageons les candidats à commenter et justifier les signes, les exposants, la dépendance aux paramètres du problème. On attend des candidats qu'ils exposent s'il leur paraît logique que tel paramètre apparaisse au numérateur plutôt qu'au dénominateur, avec tel signe et tel exposant, ou que tel autre paramètre du problème n'apparaisse pas dans le résultat final. Cela permet également souvent de vérifier la pertinence du résultat et de détecter d'éventuelles erreurs.