

Épreuve orale de Physique, Filière MP

Lors de la session 2018, l'épreuve orale de physique a été passée par 473 candidates et candidats, dont 420 de nationalité française. La note moyenne obtenue par les candidats français est 11,89 avec un écart-type égal à 3,25.

$0 \leq N < 4$	4	0,95%
$4 \leq N < 8$	38	9,05%
$8 \leq N < 12$	140	33,33%
$12 \leq N < 16$	190	45,24%
$16 \leq N \leq 20$	48	11,43%
Total :	420	100%
Nombre de candidats :	420	
Note moyenne :	11,89	
Ecart-type :	3,25	

L'épreuve orale de physique, d'une durée de 50 minutes, commence par l'énoncé d'un exercice au tableau, parfois accompagné d'un document présentant des résultats de mesures ou décrivant un montage expérimental. 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. Un second exercice peut être proposé pour permettre à l'examineur d'affiner son évaluation, ce qui ne présume en rien de la résolution complète et correcte du premier exercice, qui peut être interrompu sans que toutes les questions aient été posées. Certains exercices sont au contraire de résolution complexe et longue et une bonne note peut être obtenue sans avoir nécessairement traité l'intégralité des questions.

Les examinateurs ne posent pas d'exercice fermé que seule la connaissance d'une astuce peut débloquer. Les exercices proposés peuvent être aussi bien qualitatifs que techniques. Il ne faut pas négliger les capacités à mener un raisonnement qualitatif, à justifier des approximations ou à établir des ordres de grandeur. Ces facultés sont valorisées par les examinateurs au même titre que la capacité à poser et résoudre efficacement des équations. La calculatrice peut être utilisée pour des tracés de courbes ou des résolutions graphiques complexes. Néanmoins, ceci n'est nullement un encouragement à baisser les bras face à un calcul, ni à recourir à la calculatrice pour des représentations graphiques de fonctions très simples, pour trouver les extrema ou montrer la monotonie. Pour conclure un exercice, le calcul de l'ordre de grandeur du résultat fait directement au tableau en utilisant les valeurs approchées des constantes fondamentales est apprécié.

Les examinateurs évaluent essentiellement la capacité du candidat à construire un raisonnement physique rigoureux et précis à partir de ses connaissances et d'éventuelles indications fournies, puis à mettre en œuvre ce raisonnement pour aboutir à une solution. La résolution de l'exercice doit être menée par le candidat de manière propice à l'établissement d'un dialogue avec l'examineur, en exposant la démarche adoptée et en justifiant les étapes du raisonnement et

les hypothèses sous-jacentes. Ainsi, cette épreuve orale ne saurait se limiter à la résolution écrite au tableau de l'exercice posé. Le candidat ne doit pas hésiter à demander à l'examineur de clarifier tout point de l'énoncé qui lui paraîtrait confus. Construire avec rigueur et exposer de manière claire un raisonnement physique cohérent, même si celui-ci aboutit dans un premier temps à une impasse, est plus valorisant pour le candidat que de résoudre de manière « taupinale » un exercice, en posant sans explication et le plus rapidement possible les équations correspondant à des méthodes connues. Ce dernier point constitue un écueil pour de nombreux candidats, leur donnant par ailleurs la fausse impression de réussir leur planche. Trop de précipitation au début de la résolution de l'exercice mène nombre de candidats à écrire et résoudre des équations qui n'aident pas à s'approcher de la solution, ou s'avèrent redondantes entre elles.

L'examineur peut aider à l'établissement d'un dialogue, en posant diverses questions au cours de la résolution du problème, au-delà des questions de l'énoncé. Néanmoins, trop de candidats adoptent une attitude qui limite les interventions de l'examineur en reprenant au plus vite leurs calculs au tableau – cette année encore, trop de candidats regardent leur montre lorsque l'examineur demande une précision sur une hypothèse posée ou sur l'interprétation physique d'un résultat analytique. Ce type de réaction est peu apprécié.

Les interventions de l'examineur ne sont pas synonymes de réduction de la note finale et ne se limitent pas à fournir des « indices ». Il peut tout aussi bien 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 entreprenant face à des exercices complexes ou atypiques, le candidat ne peut en aucun cas attendre de lui la solution du problème posé. Certains candidats ayant exploité une première indication de l'examineur attendent passivement l'indication suivante. On ne peut reprocher à un candidat de ne pas forcément trouver du premier coup le bon raisonnement face à un problème difficile, en revanche ne pas tenter au moins d'élaborer des pistes viables et d'analyser si elles rapprochent de la solution du problème est une attitude des plus négatives.

Lorsqu'un candidat aboutit à un résultat intermédiaire, il est de bon ton qu'il vérifie de lui-même son homogénéité. L'analyse dimensionnelle permet la plupart du temps de retrouver rapidement la ligne où une masse ou un \hbar^2 ont été oubliés. Il est malvenu de demander directement à l'examineur si ce résultat est correct ou en l'invectivant : « on est d'accord (sic) ? » De même, il est attendu que les candidats commentent autant que possible leurs résultats : homogénéité donc, mais aussi ordres de grandeur, réalisme des résultats numériques.

De manière générale, le jury recommande à tous les candidats de consacrer quelques minutes pour analyser le problème posé et définir une stratégie de résolution, avant de se lancer dans la résolution analytique. Il n'est pas attendu que les candidats réfléchissent nécessairement à haute voix dès le début de leur planche, et encore moins qu'ils écrivent immédiatement des équations au tableau, fussent-elles correctes, sans même avoir analysé leur utilité dans le raisonnement adopté. Le fait de prendre quelques brèves minutes de réflexion silencieuse, une fois l'énoncé

donné, n'est absolument pas malvenu. Quelques planches de très haut niveau ont été remarquées par les examinateurs : la plupart ont débuté par une analyse fine du raisonnement à construire, avant d'élaborer les seuls calculs nécessaires. L'épreuve n'est pas une course contre la montre où il s'agirait de reproduire une résolution déjà vue en classe. D'autres se complaisent au contraire dans des digressions justes mais inutiles sur les questions simples qu'ils maîtrisent le mieux, ralentissant de fait la progression dans la difficulté de l'exercice, ce qui s'avère préjudiciable dans l'évaluation. Une recrudescence de ce type de comportement a été constatée cette année. A noter enfin que certains 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 muet cherchant silencieusement un résultat pour l'écrire, l'encadrer et annoncer « je trouve cela » : ces compétences sont évaluées lors des épreuves écrites, à 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.

Si la résolution calculatoire n'est pas un aspect essentiel de l'épreuve, la mise en équation des principes physiques utilisés en est un. La maîtrise *conjointe* des lois fondamentales de la physique et de leur expression mathématique est un prérequis incontournable à cette épreuve. Trop souvent, après une analyse physique correcte du problème et des principes à mettre en œuvre pour sa résolution, des candidates et des candidats se retrouvent en grande difficulté dans la mise en forme analytique de ces mêmes principes : surfaces, flux, angles, vecteurs unitaires d'un repère mal ou pas orientés, confusions entre inégalités et égalités, entre quantités infinitésimales ou non infinitésimales, entre grandeurs volumiques ou totales, entre expression d'une force et d'une énergie, entre les formes analytiques d'onde stationnaires ou progressives, etc. Une analyse graphique permet d'obtenir des informations qualitatives sur les solutions d'une équation lorsqu'une résolution analytique s'avère compliquée voire impossible. Les candidats pensent généralement à mener une telle résolution lorsque cela est nécessaire mais la mise en œuvre s'avère souvent très laborieuse. Notons qu'un calcul lourd peut être sauté ou allégé à l'initiative de l'examineur, mais qu'il n'appartient pas au candidat d'expliquer que le calcul « risque d'être long » ou que l'expression obtenue est « moche » (sic) et qu'on ne va peut-être pas le faire. « Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique » est une compétence figurant explicitement au programme de physique de MP-PSI et de MPI. En général les candidats qui rechignent à se lancer dans un calcul s'avèrent bien mal à l'aise dans les calculs pourtant simples qu'ils ont cherché à esquiver. A l'inverse, d'autres candidats bénéficient d'initiatives judicieuses telles que l'introduction de quantités pertinentes pour simplifier un calcul. Ou bien en choisissant spontanément d'étudier le régime permanent qui découle des équations qu'ils ont obtenues en mécanique ou en électrocinétique/électromagnétisme : cela suffit (souvent ou parfois) à caractériser la physique du système étudié, en complétant éventuellement par une approche plus qualitative pour le régime transitoire. D'autre part, souligner, lorsque c'est le cas, que l'équation régissant un système est linéaire, montre que le candidat a conscience de l'importance de cette propriété, soit pour l'exploitation du résultat qu'il vient d'établir ou comme découlant d'une hypothèse qu'il a faite au préalable.

La résolution des exercices posés ne repose en aucun cas sur la connaissance par le candidat d'un résultat hors programme. Quelques questions établissent parfois des résultats ne faisant pas partie explicitement du programme, mais ces questions peuvent toujours être traités avec les notions figurant au programme : dans ce cas, la notion introduite est définie par l'examineur, les éventuelles équations associées sont données, et l'analogie utilisée est explicitée. A l'inverse, il est courant que des candidats utilisent ou mentionnent des éléments hors programme, le plus souvent en connaissance de cause. Un tel recours à des éléments hors programme à l'initiative du candidat n'est pas pénalisant tant qu'il ne constitue pas une technique plus complexe que l'utilisation des seuls outils du programme, mais le candidat doit savoir qu'il peut lui être demandé d'expliquer, de justifier, voire de redémontrer le résultat utilisé. Nous rappelons enfin, une fois de plus, que l'épreuve porte sur l'intégralité du programme de Physique des deux années de Classes Préparatoires aux Grandes Écoles. Certaines parties du programme de première année ne sont pas ré-abordées par le programme de seconde année, et posent régulièrement un problème aux candidats : optique géométrique, électrocinétique ou mécanique du point par exemple.

Mécanique quantique – Cette discipline est de mieux en mieux maîtrisée. Il est regrettable que certaines situations de base, puits ou barrières de potentiels constants par morceaux par exemple, fassent l'objet de traitements laborieux et/ou approximatifs. La résolution graphique des niveaux d'énergie d'une particule dans un puits de potentiel pose souvent des problèmes insurmontables, que le candidat tente de masquer en redémontrant l'équation de Schrödinger indépendante du temps.

Mécanique – Une majorité de candidats se lance tête baissée dans les calculs avant même de mener une analyse qualitative du problème, d'avoir identifié un nombre suffisant d'équations indépendantes, d'avoir choisi une démarche judicieuse (énergétique ou autre), voire même avant d'avoir choisi un système de coordonnées adéquat ou défini le système étudié. A ce titre, nous voudrions souligner qu'il est parfois judicieux de traiter un problème à force centrale dans un système de coordonnées cartésiennes ; les coordonnées polaires ne sont pas obligatoires. De la même manière, l'introduction d'une variable complexe $z=x+iy$ pour réduire la dimension d'un système d'équations différentielles n'est pas obligatoire ; cette technique est par ailleurs source de nombreuses erreurs de calcul dans des situations qui se résoudraient aisément sans variables complexes – il est de bon ton de prendre quelques instants pour choisir la technique de résolution adaptée plutôt que de se précipiter sur l'emploi d'une technique complexe. Des lacunes parfois importantes en trigonométrie ou sur les propriétés élémentaires des coniques ont été relevées.

Le jury a été surpris de constater que beaucoup de candidats perdent (ou tentent de gagner) un temps considérable sur des questions simples. La vitesse d'un mouvement circulaire dans un champ de force centrale devrait être trouvée presque immédiatement. Lorsque la question introductive d'un exercice met en jeu la force électrostatique ou gravitationnelle entre deux particules chargées ou deux masses ponctuelles, il n'est pas nécessaire de ré-établir la valeur de telles forces avec le théorème de Gauss, voire de réciter scolairement un chapitre du cours. Nous renvoyons aux commentaires généraux sur les techniques de gain de temps et d'évitement des questions difficiles.

Bien que la composition de Physique à l'écrit traitât d'un système ouvert dès la première question, certains candidats semblaient découvrir lors de l'épreuve orale que la deuxième loi de Newton portait sur la dérivée première de la quantité de mouvement et non uniquement de la vitesse. Le théorème du moment cinétique et les considérations énergétiques aboutissent souvent à la même équation. Lorsque les considérations énergétiques ne suffisent pas à étudier les positions d'équilibre d'un système, les bilans de forces sont souvent effectués de manière trop peu rigoureuse. Il n'est pas acceptable de voir des candidats orienter des flux ou des forces « au hasard » (et le dire) pour « vérifier à la fin si c'est bon » (et souvent oublier de le faire). Trop de candidats oublient de s'assurer que le résultat est physique : si on calcule le profil de pression d'une atmosphère, il est bon de vérifier qu'on ne trouve pas une pression qui diverge avec l'altitude avant de poursuivre le calcul.

Les notions de potentiels effectifs sont très bien comprises par certains candidats, mais en déroutent d'autres. Les forces d'inertie sont trop souvent oubliées même par des candidats ayant noté que le référentiel d'étude n'était pas Galiléen. Il y a parfois confusion entre le référentiel d'étude, dans lequel on applique les théorèmes de mécanique, et le référentiel de projection dans lequel on exprime les équations vectorielles qui en découlent.

Certains candidats décrivent correctement le comportement d'un système en utilisant son portrait de phase. Mais d'autres n'hésitent pas à faire intersecter des trajectoires dans l'espace des phases. Ou ont du mal à représenter un mouvement révolutif, soit parce qu'ils ne voient pas que c'est aussi un mouvement périodique, soit parce qu'ils ne raccordent pas de manière continue la vitesse angulaire au point d'équilibre instable lors du passage d'une période à la suivante. Une fraction minoritaire mais trop élevée de candidats ignore jusqu'à la notion de « portrait de phase », alors que le programme de première année met pourtant explicitement l'accent sur ce point.

Électromagnétisme – 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. 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-Faraday. Le maniement des densités volumiques ou surfaciques de courant est bien souvent laborieux.

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. Les problèmes d'hydrostatique ont été abordés de manière très hétérogène. Les cycles thermodynamiques (type cycle de Carnot) posent un problème dès que l'on s'éloigne des cas très standards. 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. Nous avons constaté que la notion d'extensivité en thermodynamique n'était pas bien assimilée. Enfin, 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. En physique statistique, les facteurs de Boltzmann sont souvent utilisés comme des outils mathématiques sans recul quant à leur signification physique, ce qui cause de nombreuses erreurs de raisonnement, quand ils sont appliqués à des systèmes non isothermes. Ainsi, la résolution de problèmes originaux nécessitant une analyse physique préalable a souvent été mal traitée. Les hypothèses conduisant au modèle du gaz parfait devraient être parfaitement comprises. Le modèle cinétique des gaz parfait, et ses divers analogues rencontrés dans des exercices pourtant classiques, n'est pas maîtrisé par bon nombre de candidats. Rappelons une nouvelle fois que parler du régime de température « T petit » ou « T grand » n'a pas de sens physique si n'a pas été définie au préalable une température de référence caractéristique du système étudié. D'autre part, lorsque l'exercice porte sur l'étude d'un système microscopique avec une énergie potentielle donnée (potentiel harmonique, moment magnétique dans un champ extérieur), les candidats ont tendance à vouloir utiliser l'équation de Schrödinger même si l'énergie potentielle n'est pas constante par morceaux. La forme du potentiel et l'indication dans la question d'une température devrait pourtant les mettre sur la piste d'une étude statistique utilisant les poids de Boltzmann.

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.

Électrocinétique – En électricité, 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.