

## Épreuves orales de Physique, Filière MP

Lors de la session 2022, l'épreuve orale de physique a été passée par 428 candidates et candidats. Les moyennes obtenues par les candidats français et internationaux et leur écarts-type sont les suivants :

- . 355 candidats français est de 11,89/20 avec un écart-type de 3,17
- . 73 candidats internationaux est de 11,72/20 avec un écart-type de 3,40.

L'épreuve de physique a retrouvé depuis 2021 son format habituel. Conscients du caractère particulier des deux dernières années de préparation, les examinateurs se sont efforcés d'éviter les sujets relevant des parties les plus atypiques du programme, et notamment du programme de première année. Ils rappellent néanmoins pour l'avenir que l'intégralité du programme des deux années de préparation figure au programme de l'épreuve et incitent donc les futurs candidats à consulter également les rapports des années 2019 et précédentes.

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 petite expérience 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. 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 aura pu être interrompu sans que toutes les questions aient été posées. Les candidats doivent donc être préparés à tout type d'exercice, l'évaluation s'efforçant de prendre en compte un large champ de compétences allant de la maîtrise du cours à la mise en place de raisonnements permettant la résolution de problèmes complexes, et la maîtrise des concepts physiques invoqués.

La pleine maîtrise des notions de base du programme est régulièrement testée par le biais d'exercices « classiques » : cela reste un écueil inattendu pour bien trop de candidats. S'il s'avère que le candidat maîtrise les notions essentielles de son cours, un exercice plus original est rapidement proposé. Aucun candidat doit se sentir « défavorisé » d'avoir eu un premier exercice proche du cours : la capacité à construire des raisonnements plus complexes sera évaluée en détail quelle que soit la difficulté apparente du premier exercice posé, et la notation est pondérée selon le type d'exercice(s) posé(s) : la méconnaissance du cours et des techniques essentielles est systématiquement pénalisée, mais à l'inverse certains exercices sont de résolution complexe et une bonne note peut être obtenue sans avoir nécessairement traité l'intégralité des questions.

Dans l'ensemble, les recommandations formulées dans les rapports des années antérieures semblent porter leurs fruits. En particulier, une majorité de candidats se montrent réceptifs aux interventions de l'examineur, sans chercher à les esquiver. Nous rappelons 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 jamais perdre de temps au candidat : il peut également s'agir de sonder plus à fond les connaissances et le sens physique en discutant les principes physiques utilisés ou les hypothèses faites. L'examineur peut aussi faire réagir le candidat face à une éventuelle erreur ou étourderie, et évaluer si cette réaction est positive. Les échanges avec l'examineur ne doivent toutefois pas conduire le candidat à tenter d'obtenir, voire à demander explicitement, des éléments de réponse : l'examineur se montrera plus aidant si l'exercice est complexe ou atypique ou si le candidat a visiblement besoin d'une indication, mais il le fera de lui-même.

Un aspect général que certains candidats ne prennent pas en compte, malgré l'insistance de nos précédents rapports, est le fait que les calculs permettant de répondre explicitement à une question doivent être menés entièrement à leur terme (sauf intervention contraire de l'examineur). Encore trop de candidats se détournent de la question posée ou n'y répondent que partiellement ou en ne terminant pas les calculs. Nous rappelons à nouveau que « mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée » est une compétence figurant explicitement au 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 » et semblant refuser de le conduire à son terme. Le résultat final d'un calcul se prête souvent à une interprétation physique et/ou une discussion critique, et il est également bienvenu de vérifier la pertinence des résultats obtenus : dimensions, signes, orientations, exposants, etc.

### **Mécanique quantique –**

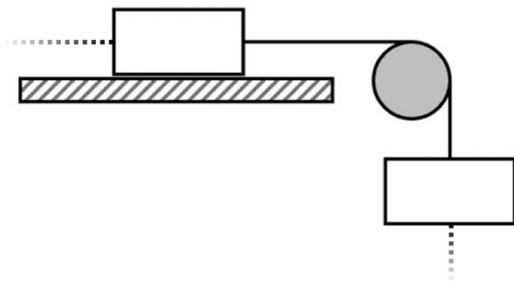
Ce sujet continue à être de mieux en mieux maîtrisé et les techniques de calcul associées sont généralement bien connues. Les résolutions graphiques sont également mieux mises en œuvre. Nous incitons les candidats à bien approfondir la signification physique d'une fonction d'onde par rapport à la densité de probabilité associée et la géométrie de chacune : trop souvent, les solutions stationnaires à fonction d'onde impaire dans un puits de potentiel pair sont oubliées, et les conditions aux limites associées à ces solutions mal exprimées ; une représentation graphique est ici une aide souvent utile, à condition d'être effectuée correctement.

La différence entre l'état général, quelconque, d'un système, et ses états stationnaires, mérite d'être mieux comprise. Les ordres de grandeurs de la mécanique quantique devraient être connus et sont souvent utiles pour les comparaisons à la mécanique classique. Enfin, des confusions quant à la nécessité d'avoir une masse nulle pour appliquer les relations usuelles  $E=hc/\lambda$  et  $p=h/\lambda$  sont apparues.

### **Mécanique –**

Nous voyons moins de candidats que par le passé écrire des équations redondantes parfois sans même le réaliser, ou chercher plus d'équations qu'il n'y a d'inconnues. Nous en voyons toutefois encore trop. Rappelons notamment qu'après avoir exprimé le principe fondamental de la dynamique il n'est guère utile de dériver le principe de la conservation de l'énergie ; ou qu'après avoir exprimé un principe dans un référentiel, l'exprimer dans un second référentiel

est redondant (bien que certes parfois plus simple). Ainsi, trop de candidats foncent tête baissée et utilisent ces principes généraux avant d'avoir analysé le système et identifié, par exemple, le nombre de variables indépendantes dans le problème. Considérons par exemple le problème illustré ci-contre, dans lequel les deux masses sont reliées par un fil inextensible soumise à diverses forces extérieures ou reliées à d'autres systèmes) : on attend du candidat qu'il identifie que le mouvement est pseudo-unidimensionnel car la position des deux masses n'est pas



indépendante. Partant de ce constat le candidat pourra invoquer les principes physiques et énoncer les lois (du frottement solide, par exemple ici) lui semblant les plus adaptés, puis les mettre en équation avec un nombre minimal d'inconnues. Ce constat s'applique bien entendu à des systèmes plus complexes, et globalement les candidats sont incités à prendre le temps de bien justifier le choix

des principes généraux utilisés avant de les exprimer mathématiquement – ce temps ne sera jamais perdu quand bien même le raisonnement semblerait inutile au candidat.

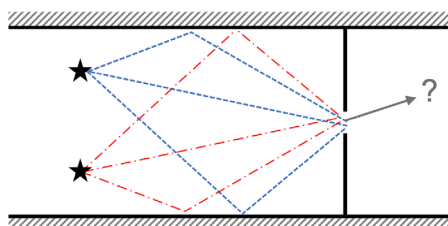
Le système de coordonnées choisi n'est pas toujours le plus judicieux. Là encore, prendre le temps de la réflexion n'est jamais une perte, justifier brièvement le choix fait est bienvenu (même si le candidat trouve ce choix évident) et participe de la démarche attendue. Mélanger plusieurs systèmes, par exemple utiliser un axe d'un repère cartésien et un axe d'un repère polaire, conduit généralement à des calculs complexes ou redondants, sauf rares exceptions qui apparaîtront justement en prenant le temps de la réflexion en lien avec les symétries du système. A nouveau, la construction du raisonnement pour répondre à la question demandée, sans répondre nécessairement à une étude plus large, fait souvent défaut : certains candidats font l'effort d'exposer une telle construction de raisonnement, mais d'autres encore trop nombreux écrivent dans une démarche hasardeuse tous les principes du cours sans se questionner sur leur utilité. Les orientations des forces ou des accélérations sont souvent aléatoires, parfois vérifiées a posteriori uniquement, voire pas du tout : les candidats devraient travailler rigoureusement, en utilisant des quantités algébriques et une orientation claire, plutôt que des choix périlleux et arbitraires qui sont généralement mal justifiés au final. Concernant ce dernier point, nous avons constaté de manière répétée des difficultés à orienter la force de frottement solide.

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. Nous conseillons aux candidats de réfléchir qualitativement ou graphiquement à la stabilité des positions d'équilibres d'un système, cela étant souvent plus rapide que le calcul de la dérivée seconde de l'énergie potentielle si celle-ci n'est pas nécessaire par ailleurs.

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

## Optique –

L'optique géométrique est désormais bien maîtrisée, même si quelques candidats semblent avoir fait l'« impasse » sur cette partie du cours au point de ne pas savoir exprimer correctement la loi de Snell-Descartes. En optique ondulatoire, les confusions assez fondamentales entre sommation des amplitudes et des intensités, sont au contraire croissantes. Des problèmes semblables à celui illustré ci-dessous ont posé des difficultés insurmontables à nombre de candidats : ici, les deux sources primaires sont indépendantes et placées entre deux miroirs plans. Chacune produit au travers d'un écran percé un triplet de sources cohérentes entre elles, mais non cohérent avec le triplet produit par l'autre source optique géométrique. On attendrait que les candidats fassent spontanément cette distinction et identifient les principes de sommations adaptés sans difficulté. Notons que des confusions entre amplitude, intensité, voire énergie, ont été remarquées globalement pour tous les types d'ondes (électromagnétiques, mécaniques, etc.).



## 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. Il convient aussi de réfléchir à la géométrie du problème et aux symétries présentes afin de simplifier les résolutions mathématiques : 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, les vérifiant a posteriori de manière parfois bien incertaine. La loi de Lenz est trop souvent 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 ; cette loi est en général plus utile pour valider les résultats établis. Des confusions entre loi de Faraday et forces de Laplace sont régulièrement notées, il ne s'agit pas uniquement de confusions terminologiques, mais parfois de profondes incompréhensions entre les phénomènes d'induction et les actions mécaniques résultant des 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.

Les densités volumiques ou surfaciques de courant ou de charge (ou d'autres quantités) interviennent dans de nombreux problèmes d'électromagnétisme et d'électrocinétique. Ces notions méritent d'être mieux maîtrisées et utilisées, car leur simple définition pose parfois problème. Les vérifications de l'homogénéité des équations proposées sont particulièrement

utiles dans ce cas mais ne permettent pas de combler des lacunes sur la définition même de ces grandeurs. Les orientations de flux en électromagnétismes doivent être établies de manière rigoureuse et non pas au hasard puis vérifiées à posteriori de manière généralement incertaine.

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. L'utilisation systématique et immédiate des impédances complexes se révèle inefficace dans nombre d'exercices posés qui peuvent être traités par d'autres méthodes. Il est souvent attendu que le candidat simplifie les équations obtenues en justifiant les ordres de grandeur des différents termes à partir des indications de l'énoncé.

### **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 fait écho à des soucis rencontrés en mécanique, et ne correspond pas à la démarche rigoureuse attendue dans cette épreuve. Nous rappelons à nouveau que la continuité du flux et continuité du profil de température sont deux notions différentes, la première n'impliquant absolument pas la seconde. Lors de la mise en équation des continuités, bien des candidats évoquent oralement 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 : la densité volumique de forces est trop souvent mélangée 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.

Les hypothèses conduisant au modèle du gaz parfait devraient être parfaitement comprises. Le modèle cinétique des gaz parfaits n'est pas maîtrisé par bon nombre de candidats, ce qui leur pose des difficultés dans des exercices proposant des variantes de ce type de modèle.

### **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 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 ne pensent pas à utiliser la méthode de séparation des variables dans le cas d'une équation non-linéaire. Des erreurs surprenantes ont été notées cette année dans le calcul de dérivées de fonctions pourtant simples, ou pour déterminer les solutions d'une équation du second degré. 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'examineur 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.

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.