

## Épreuve orale de Physique, Filière MP

Rapport de MM. Emmanuel LÉVÊQUE et Jacques MARTEAU, examinateurs.

Lors de la session 2014, l'épreuve orale de physique a été passée par 419 candidates et candidats, dont 366 de nationalité française. Cette épreuve de 50 minutes consiste à travailler à la résolution d'un exercice ou de plusieurs exercices, présentant plusieurs volets de difficulté croissante, sans préparation préalable.

Les notes des candidats français se répartissent selon le tableau ci-dessous :

$0 \leq N < 4$	1	0,27 %
$4 \leq N < 8$	40	10,93 %
$8 \leq N < 12$	141	38,52 %
$12 \leq N < 16$	139	37,98 %
$16 \leq N \leq 20$	45	12,30 %
Total	366	100 %
Nombre de candidats : 366		
Note moyenne 11,60		
Écart-type : 3,17		

## Remarques générales

De façon générale, les exercices proposés sont de résolution complète difficile et testent une compréhension fine des concepts physiques du cours. Cette dernière ne se résume pas à la découverte et l'exploitation d'une astuce qui permettrait de résoudre le problème sans développement supplémentaire. A cet égard les exercices peuvent proposer des situations qui ne sont pas strictement conformes à ce que les candidats rencontrent au cours de leur préparation, tout en restant évidemment dans le cadre et l'esprit du programme, cela afin de préserver l'égalité entre les candidats de divers lycées et de tester, outre leurs capacités de réflexion et de calcul, la faculté des candidats à s'adapter à un sujet original. Il est effectivement apprécié que le candidat fasse preuve d'initiatives pour formuler le problème et, bien entendu, en proposer une résolution élégante construite sur des arguments physiques. Une simple résolution d'équations, sans discussion préalable ni analyse critique ne constitue pas une bonne planche. L'analyse physique d'un problème, à la lumière des connaissances acquises pendant la préparation, démarre avec une présentation précise du cadre d'étude, des observables physiques – ou des paramètres qui permettent de les mesurer –, se poursuit par une mise en équations justifiée et se conclut par une interprétation physique des résultats dans laquelle le candidat pourra faire apprécier sa

culture scientifique générale, académique ou non, et discuter les ordres de grandeur des quantités déterminées. Cela inclut une réflexion critique sur le choix de la méthode et les approximations effectuées. Cette réflexion n'a pas vocation à demeurer muette et il est bienvenu que le candidat la soumette à l'examineur afin que le dialogue puisse se nouer préalablement à l'exposé des calculs.

La modélisation constitue véritablement le cœur de la démarche en physique et elle ne doit être en aucun cas bridée par l'appréhension de la difficulté anticipée de résolution. Les examinateurs peuvent suggérer dans certains cas, aux candidats qui le souhaitent, l'utilisation de calculatrices graphiques ou de calculs formels pour venir à bout d'une équation particulière. Cela ne valorise pas particulièrement la planche, étant donné qu'il s'agit de la partie purement technique de cette dernière.

Le dialogue qui s'instaure avec l'examineur peut conduire ce dernier à préciser une question ou à fournir des indications pour faire progresser la réflexion du candidat et tester ses connaissances. En particulier les parties les plus difficiles des exercices font l'objet d'un accompagnement spécifique par l'examineur qui évaluera alors les capacités d'analyse du candidat. En aucun cas il n'est demandé ou utilisé un résultat hors programme. L'utilisation d'un résultat hors programme par le candidat, souvent afin de court-circuiter la résolution de l'exercice, n'avantage que très rarement le candidat. En effet, dans cette situation le candidat doit s'attendre à devoir démontrer le résultat hors programme et surtout à justifier la nécessité de son utilisation dans le cadre de l'exercice. Les tentatives de démonstration, et la perte de temps qui en découle, se révèlent dans tous les cas pénalisantes.

Parmi les conseils généraux que le jury répète année après année, il convient de souligner qu'un calcul long et lourd n'est pas forcément le gage que la planche est bien engagée et ne place pas nécessairement les examinateurs dans les dispositions les plus favorables. Lorsque l'examineur demande de vérifier un résultat, cela ne signifie pas forcément que ce dernier n'est pas correct ; il attend avant tout une analyse critique du résultat. Cela peut être également l'occasion de justifier la pertinence ou la cohérence du résultat dans un contexte plus large. L'évolution des programmes dans l'enseignement supérieur faisant la part belle aux démarches d'investigation et portant moins sur la résolution et ses aspects techniques, il est naturel que le jury mette l'accent sur l'analyse physique et la discussion préalable à toute tentative de résolution. Des solutions simples et/ou des résultats obtenus après une première approximation permettent souvent de progresser plus rapidement vers la résolution finale de problème. L'étude de cas particuliers ou de cas limites est trop souvent négligée par les candidats qui perdent une possibilité appréciée des examinateurs de se mettre en valeur. Enfin il est vital de conserver un esprit critique à toutes les étapes de résolution de la planche et de ne pas laisser trop longtemps au tableau des aberrations flagrantes, des résultats non homogènes ou manifestement faux. Le jury constate que l'accent mis depuis plusieurs années sur l'homogénéité des résultats porte ses fruits et que les candidats font de plus en plus attention à spontanément vérifier la cohérence de leurs formules. Cependant la vérification de l'homogénéité d'une formule est souvent menée de manière alambiquée en passant par les unités (S.I.) de toutes les quantités impliquées.

Outre le risque d'erreur que cette démarche comporte, elle conduit souvent les candidats dans l'impasse, certaines unités n'étant pas particulièrement explicites. Il est préférable de chercher une équation, un théorème général impliquant cette quantité et de simplifier de manière dimensionnelle les diverses expressions ainsi mises en jeu.

Il est nécessaire de prendre un temps de réflexion avant de commencer l'exercice et de se précipiter sur les équations. Cette analyse préalable doit permettre de discerner les phénomènes physiques impliqués et de poser correctement le problème, en particulier de choisir et de définir de façon pertinente le système. Cette remarque est évidente dans la résolution des problèmes de mécanique mais est également valable dans les autres domaines de la physique. Il est ainsi surprenant de constater, lorsque le sujet ne mentionne pas volontairement le cadre d'étude, que le candidat peut se lancer indifféremment dans une problématique de transfert thermique par conduction ou par rayonnement. L'important n'est pas tant de montrer que le cours est su, mais surtout de montrer que l'on peut l'appliquer de manière pertinente. Toute référence du candidat à son cours doit pouvoir être justifiée. Elle ne peut constituer en aucun cas un recours en dernier ressort d'un candidat perdu dans son argumentation.

Lors de cette phase de réflexion, le candidat ne doit pas se sentir obligé de parler de façon continue, ni chercher une approbation de chaque point évoqué de la part de l'examineur. Un candidat doit faire preuve d'initiative et d'autonomie. Il ne lui est pas demandé de trouver immédiatement la démarche à suivre, pas nécessairement unique d'ailleurs, mais plutôt d'avancer dans l'analyse du problème de manière cohérente, c'est-à-dire sans contradiction. Il est fortement conseillé de ne pas se satisfaire d'une formulation incomplète ni d'assortir sa prestation de commentaires particulièrement malvenus : « à un signe près je suis presque sûr de ma formule [sic] », « la masse volumique de l'eau c'est 1 [sic] », « c'est un peu galère à écrire [sic] », « je sens venir une histoire de déphasages et d'interférences [sic] »... Le jury rappelle également qu'il s'agit d'une épreuve orale et que le mutisme total d'un candidat ne saurait le servir. La personnification des éléments du problème : « notre équation », « mon énergie », etc., n'est pas très heureuse.

A la suite de l'analyse, il est utile de compter le nombre d'inconnues et d'équations, afin de s'assurer que la formulation est complète, et, éventuellement, de faire des approximations justifiées. La démarche consistant à partir des théorèmes que l'on connaît – ou que l'on serait capable d'appliquer, ou enfin qui seraient susceptibles d'aboutir à des équations simplement intégrables – ne constitue pas une analyse préalable. Il est important de sélectionner parmi les théorèmes et principes généraux ceux qui paraissent les plus pertinents pour parvenir à un résultat convaincant. Le candidat doit pouvoir également anticiper si le système de résolution qu'il propose, incluant par exemple un choix de référentiel ou de coordonnées, va lui permettre d'extraire un résultat cohérent. Il est inutile de privilégier une méthode de résolution complexe quand une solution simple s'impose, notamment sur des arguments de physique, de symétries ou d'invariances.

Même si les esprits d'analyse et de modélisation sont appréciés en premier lieu, il convient toutefois de s'appliquer dans la mise en œuvre du calcul qui peut se révéler

catastrophique : mauvaise gestion du tableau, écriture illisible même pour le candidat, calculs intermédiaires négligés, notations inappropriées, signes aléatoires changeant d'une ligne à l'autre, partie complète d'équation oubliée. Un minimum de rigueur et l'adoption d'un système de notations sensé permet de gagner un temps considérable. Il est regrettable de constater cette année encore de grosses erreurs en analyse mathématique, sur le calcul d'une dérivée ou d'une primitive par exemple. Le jury a été surpris de constater que certains problèmes de géométrie de base (surface d'un quadrilatère, détermination d'un angle, de la longueur d'une arête, etc.) peuvent se révéler insurmontables pour certains candidats.

Enfin quand elles sont demandées, les applications numériques doivent être soignées pour pouvoir être intégrées proprement dans la discussion, notamment pour justifier une approximation. Il est inconcevable de continuer à traiter un problème après obtention d'un résultat numérique faux de plusieurs ordres de grandeur. Chaque fois que cela est possible, il est souhaitable de tracer des courbes correspondant au calcul et d'étudier les différents cas possibles, pour parvenir à une compréhension physique du problème posé. Pour être décrites et exploitées correctement, ces courbes doivent comporter un système d'axes clair.

Les difficultés et les erreurs les plus fréquentes rencontrées par les candidats sur les différents thèmes du programme de physique sont précisées ci-dessous :

### **Electrocinétique-Electromagnétisme**

En électrostatique il n'est pas tolérable que le champ électrique créé par deux charges ne soit pas déterminé correctement et rapidement. Trop de candidats se noient dans les méandres du formalisme de l'analyse vectorielle sans pouvoir donner une signification simple aux opérateurs (gradient, divergence, rotationnel). Le Laplacien vectoriel en coordonnées cartésiennes est très souvent mal interprété.

Les conditions d'utilisation et d'application des opérateurs vectoriels conduisent très fréquemment à des aberrations et à des calculs compliqués dans lesquels le candidat ne parvient pas à mettre en valeur sa compréhension du problème. Il est primordial de pouvoir sortir une analyse post-calculatoire en électromagnétisme.

La plupart des champs utilisés en électromagnétisme étant des vecteurs, il est important de s'en souvenir au moment de les noter et de les utiliser. Lors du passage des champs aux intensités lumineuses, l'approximation scalaire est souvent confuse. Comme rappelé dans le préambule, l'exploitation des symétries et des invariances prend tout son sens avec les théorèmes de Gauss ou d'Ampère. Il est surprenant de constater que l'application de ces théorèmes puisse être source de lacunes ou d'erreurs grossières.

Les examinateurs ont pu se rendre compte que la plupart des candidats sont capables de sortir la structure mathématique de l'onde rayonnée par un dipôle, mais qu'ils butent en général sur l'analyse qualitative du comportement d'un ensemble de dipôles rayonnants. Le tracé des lignes de champ pose souvent des problèmes. Le lien entre électromagnétisme

et optique ondulatoire n'est en général pas effectué. Il est important que les candidats dépassent le cloisonnement apparent entre les différentes disciplines et fassent les connexions entre leurs connaissances.

Nous avons constaté cette année une recrudescence d'équations de Maxwell ou de relations entre le champ et le potentiel mal formulées. L'approximation dipolaire est en général mieux maîtrisée dans le cas dynamique (dipôle oscillant) que statique (vu en première année).

En électrocinétique, l'application des théorèmes de Thévenin et de Norton s'avère souvent très laborieuse, en particulier pour établir les sources de tension ou courant équivalentes. De manière générale, les candidats ne pensent pas à utiliser le principe de superposition pour simplifier l'étude d'un circuit ; cette remarque s'applique également en mécanique pour les systèmes masse-ressort.

## **Optique**

Nous nous permettons de rappeler que l'optique géométrique figure au programme du concours. Malgré une faible amélioration, de grosses lacunes ont encore été constatées sur des notions élémentaires comme les lois de la réfraction (mauvais choix des angles, mauvaise interprétation du sens de la réfraction, etc.). En particulier il est navrant de constater que de nombreux candidats utilisent de manière mécanique les mêmes lois de Descartes indifféremment avec les angles que font les rayons lumineux par rapport à la normale au dioptre ou leurs complémentaires.

Les théorèmes généraux de l'optique (principe de Huygens-Fresnel, formule générique des interférences, énoncé des conditions de Gauss) sont souvent incomplètement connus ou mal compris et appliqués, ce qui conduit à des impasses pour la résolution du problème posé. Les phénomènes de diffraction et d'interférences sont en général très mal assimilés par les candidats et utilisés à très mauvais escient. Il est surprenant de constater de grosses incohérences dans la discussion de l'éclairement obtenu après traversée d'un réseau ou d'un objet diffractant simple.

Le jury a encore constaté de nombreuses incompréhensions dans la définition de l'éclairement et le lien avec l'électromagnétisme et la très fréquente confusion entre amplitude et intensité dans les calculs d'interférences.

## **Mécanique**

De nombreuses planches concernaient des situations de mécanique, propices à mettre en évidence les connaissances et l'aisance formelle d'un candidat. Le jury déplore un grand manque de rigueur dans la démarche de la plupart des candidats. Même si des progrès ont été faits dans l'analyse préalable des problèmes à un degré de liberté et leurs résolutions par une méthode énergétique, il reste de nombreuses approximations. Le jury a constaté que de nombreux candidats semblaient (re)découvrir le lien réciproque entre intégrale première de l'énergie et théorèmes généraux, ce qui les conduit à perdre du temps pour

obtenir une information dont ils disposent déjà.

Il est par contre surprenant de constater que pour nombre de candidats, par ailleurs de bon niveau, un équilibre mécanique ne peut être trouvé que par une méthode énergétique (minimisation de l'énergie potentielle) et que nombre d'entre eux refont l'intégralité de la démarche alors qu'ils disposent des expressions des forces ou des moments. Par ailleurs, les références d'énergie potentielle (ou de potentiel électrique dans le cas de l'électrostatique) conduisent parfois à des résultats faux, voire absurdes. En revanche, trop peu de candidats pensent à discuter l'évolution d'un système à partir du tracé d'une énergie potentielle (éventuellement potentielle effective).

Quand la résolution du problème passe par un bilan des actions sur le système, le jury a constaté un grand nombre de candidats négligeant certaines actions (forces de rappel ou tensions de fil), ce qui conduit à des résultats manifestement incohérents. Cette étape d'analyse préliminaire doit faire l'objet d'un soin particulier. De nombreuses planches souffrent du manque de rigueur dans le choix du référentiel d'étude ce qui conduit parfois à des oublis regrettables (absence de forces d'inertie notamment, dont les expressions sont très souvent écorchées).

Les conditions de roulement avec et sans glissement, le rôle (même qualitatif) des frottements entre solides en contact sont sources d'erreurs. Les lois de Coulomb sont formulées de manière incomplète ou même incorrecte; ainsi, les candidats oublient de mentionner et d'utiliser la condition sur le sens de la vitesse de glissement.

De nombreux candidats compliquent la planche par l'adoption d'un système de coordonnées peu adapté au problème : les symétries peuvent dicter un choix particulier mais il convient d'anticiper qu'un système d'équations différentielles en coordonnées sphériques n'est en général pas le plus commode pour extraire le comportement général d'un système. La remarque générale sur la réflexion préalable aux calculs est particulièrement pertinente en mécanique. Cette réflexion constitue bien souvent la clé du problème et il est en particulier important de bien choisir le système de coordonnées et les équations utilisées, pour éviter les complications inutiles. Les formules permettant de changer de référentiel sont souvent sources d'erreurs.

Il est également de notre devoir de rappeler que la mécanique du point donne lieu à des interrogations. Il est regrettable de constater que le calcul des petits mouvements d'un pendule a posé problème à un nombre important de candidats. Les problèmes à force centrale ne sont pas identifiés systématiquement de manière surprenante et ce n'est souvent qu'au terme d'une démarche longue et poussive que certains candidats retrouvent la constante des aires par exemple.

## **Thermodynamique – Ondes**

La thermodynamique est très mal comprise; même des exercices très simples posent des difficultés considérables à un grand nombre de candidats. Nous rappelons qu'une étape primordiale dans la résolution d'un problème de thermodynamique est la définition

du système d'étude. Bien souvent les principes sont appliqués sans précision et des paradoxes apparents (comme une diminution d'entropie) semblent surprendre les candidats. L'utilisation du second principe sous la forme brute « échange + création » est souvent réductrice et n'apporte que rarement une vision claire du problème. Trop de candidats pensent que l'entropie est une fonction croissante indépendamment du système auquel elle se rapporte.

La notion d'équilibre thermodynamique semble mal comprise ou mal utilisée, alors qu'une mise en relation avec la thermochimie peut éclairer cette notion. Nous regrettons les raisonnements farfelus auxquels les candidats font appel pour trouver des équations manquantes pour les exercices faisant intervenir des transformations entre états d'équilibre.

Les exercices portant sur la statique des fluides ont posé des difficultés à l'ensemble des candidats. La pression est une quantité physique qui est souvent mal appréhendée : par exemple, le tracé des isobares (même dans des configurations très simples) pose problème. La pression de l'air est souvent oubliée dans l'étude des équilibres.

Les problèmes d'échanges thermiques sont en général bien traités, mais la notion de flux de chaleur est mal comprise. Nombreux sont ceux qui redémontrent l'équation de la chaleur sans comprendre qu'ils font des bilans d'énergie sur des tranches élémentaires du milieu, ou qu'ils font des bilans de transferts thermiques sur des surfaces sans rapport entre elles.

A cet égard le jury a constaté que de nombreux candidats semblent se lancer au hasard dans la résolution des problèmes de diffusion et tentent d'appliquer une formule du cours à tout prix (rayonnement du corps noir, conduction de la chaleur, loi de Wien, etc.) avant d'avoir cerné la problématique.

De nombreux problèmes dans ce domaine font appel à des ordres de grandeur, des variables d'échelle qui permettent d'en réduire la complexité. Les candidats ne doivent pas hésiter à prendre des initiatives et ne pas se laisser désarçonner par ce qu'ils sont tentés d'assimiler à un manque de rigueur mathématique de la méthode. Il faut au contraire procéder de manière systématique et précautionneuse aux approximations nécessaires.

Cette nouvelle session d'oraux a aussi permis de mettre en valeur des candidats particulièrement brillants, à l'esprit vif et curieux, qui ont su s'adapter à des problématiques souvent complexes, originales, produire une analyse fine et stimulante, et permettre un dialogue enrichissant avec les examinateurs.