

---

## EPREUVE ORALE DE PHYSIQUE

ENS : PARIS - LYON - CACHAN

*Coefficients* : PARIS : 10

LYON : MP 4 / MPI 3

CACHAN : 6

MEMBRES DE JURYS : Eric Bringuier, Pierre Dahoo et Etienne Reysat

---

Les modalités de l'épreuve ont été définies en détail dans les précédents rapports de cette épreuve. Comme chaque année, certains candidats ont su tirer parti des conseils donnés dans ces rapports tandis que d'autres candidats sont tombés dans des erreurs déjà signalées et ont ainsi perdu des points. Pour mémoire, le rapport de 2010 est annexé à celui-ci. En conséquence, nous nous limiterons à une liste de fautes qui ont plus particulièrement attiré notre attention en 2011.

En 2011 la moyenne a été 10,8 et l'écart-type 4,2. La note 20 a été attribuée deux fois.

*Expression orale.* Il est particulièrement important, non seulement pour l'examineur mais aussi pour le raisonnement du candidat lui-même, de s'exprimer au moyen des mots justes. Un candidat utilisant une terminologie mal maîtrisée ou flottante commet tôt ou tard une erreur. Pour prendre un exemple, peu de candidats employant le terme de *dissipation d'énergie* ont su en expliquer le sens. Le fait que l'effet Joule est une dissipation d'énergie parce que c'est un dégagement de chaleur est rarement compris. Dans ces conditions, il est préférable de ne pas employer ce terme. (Cette notion est abordée dans le sujet de la session 2009 de l'épreuve écrite de Physique MPI.) De même, les termes de *transfert* et d'*échange* de chaleur ne sont pas synonymes. La consultation d'un dictionnaire de physique, tel que celui de J.-P. Matthieu, A. Kastler et P. Fleury, est recommandée. La cohérence terminologique est aussi essentielle : un candidat a affirmé qu'un *choc élastique* conservait l'impulsion totale tandis qu'un *choc inélastique* perdait une partie de l'énergie cinétique. Même si cette double affirmation est vraie, elle ne reflète pas la terminologie de la physique des chocs.

*Grandeurs physiques.* Les erreurs de dimensions ou d'unités ne sont pas rares. Il semble parfois que la dimension d'une grandeur physique puisse être quelque chose d'approximatif : énergie, puissance, flux, densité de courant d'énergie, tout ça c'est à peu près la même chose. Les dimensions et les unités expriment la nature physique de la grandeur manipulée, donc la compréhension qu'en a le candidat et en conséquence la note qui va être attribuée à ce dernier.

*Raisonnement physique qualitatif.* Presque tous les candidats sont déconcertés par une question telle que « comment estimeriez-vous la longueur totale de vos cheveux ? » ou « estimez la masse de la tour Eiffel ». Il ne s'agit pas d'obtenir une réponse très précise mais d'élaborer un raisonnement pour obtenir un ordre de grandeur très approximatif. Le temps pour répondre à la question varie en gros de 30 secondes à 15 minutes. Dans ce dernier cas, cela empiète beaucoup sur la durée de l'exercice qui suit donc sur la note finale. Dans ces questions, nous avons pu constater que les étudiants font mal la différence entre *estimer* et *deviner*. Beaucoup n'ont pas tellement de notion de la réalité : le Mont-Blanc peut parfois faire 4 km de haut et 50 m de large ! L'ordre de grandeur de la masse volumique d'un solide pose un problème à presque tous les étudiants. La hauteur du Panthéon (visible d'une salle d'interrogation) est parfois réduite à 10 m.

*Ordres de grandeur.* La plupart des candidats ne sait pas faire un calcul approché en ordre de grandeur à partir d'une formule littérale. Par exemple, un facteur  $4\pi$  est assimilé à 1 au lieu d'être considéré comme un ordre de grandeur (10). Dans ces conditions, il est préférable que le candidat

emploie sa calculatrice. Par ailleurs, nous avons vu des candidats ne sachant pas ce qu'étaient un mégahertz, un gigahertz, un gigaoctet... et pour qui les fréquences typiques de la bande radio FM étaient des centaines de hertz.

*Constantes fondamentales.* Nous avons trouvé des candidats ne connaissant ni la constante des gaz parfaits, ni celles de Boltzmann et d'Avogadro, ni la charge électrique élémentaire, ni la permittivité et la perméabilité du vide, non plus que leurs ordres de grandeur ni même leurs unités SI. A défaut de connaître ces constantes, il est indispensable de savoir en retrouver rapidement la valeur approchée et l'unité.

*Milieux matériels.* Une fraction significative des candidats considère que les milieux matériels se comportent, électriquement parlant, comme le vide. Ainsi, la permittivité est toujours égale à  $\epsilon_0$ , comme si le phénomène de réfraction (les loupes, les lunettes...) n'existait pas. Un électron ou un ion dans un milieu solide ou liquide est accéléré par une force électrique comme s'il ne rencontrait jamais les atomes de ce milieu. Étrangement, nous avons aussi rencontré l'affirmation contraire, à savoir, qu'un électron dans le vide y subissait une force résistante.

*Mécanique des solides.* En dynamique de rotation, certains candidats sont persuadés que la considération du moment cinétique *au centre d'inertie G* du solide les autorise à remplacer ce dernier par un point matériel de masse égale à celle du solide. Ce faisant, ils confondent le moment cinétique barycentrique du solide avec son moment cinétique orbital. Ils n'ont pas compris que l'introduction des moments d'inertie du solide (relativement à des axes passant par G) prend justement en compte la distribution spatiale de masse située à distance de G et met ainsi en jeu une ou des tailles caractéristiques du corps solide.

*Electricité.* Le calcul de la force entre les armatures d'un condensateur plan prend en général du temps, pour un résultat souvent faux. Un circuit LC libre fait parfois des oscillations sinusoïdales mais on rencontre quelques cas de relaxation exponentielle, voire d'oscillations faites d'arches d'exponentielle. Presque toujours, ces résultats sont redémontrés alors même qu'on demande explicitement de les rappeler brièvement pour s'en servir ensuite.

*Rayonnement du dipôle oscillant.* Beaucoup ont quelques vagues notions (l'émission est anisotrope et est en  $\omega^4$ ) mais ne savent plus répondre dès qu'on creuse un peu le sujet (dans quelle direction le rayonnement est-il émis préférentiellement ? qu'est-ce qui est en  $\omega^4$ , le champ ou la puissance totale rayonnée, et pourquoi ?). On n'a presque jamais de réponse complète et spontanée à ces questions.

## **Annexe : Rapport d'oral 2010**

- Nous rappelons que, par principe, un sujet d'oral des Ecoles normales supérieures repose sur un énoncé assez ouvert : le candidat ne doit pas s'attendre à un schéma tel que « Montrer que... En déduire que... Conclure que... ». Bien au contraire, il est amené à proposer et à justifier personnellement sa démarche, sa méthode de résolution et les approximations nécessaires ou utiles. Cette démarche doit s'appuyer sur une description qualitative réfléchie et lucide du phénomène étudié, description qui ne peut pas se limiter à une paraphrase de l'énoncé du problème. Les candidats qui, s'abstenant de cette réflexion préalable, se lancent dans des calculs à la pertinence incertaine, seront ultérieurement ramenés à cette réflexion, mais après avoir perdu un temps précieux (nous rappelons que l'épreuve est limitée à 45 mn).
- L'élaboration d'une démarche doit prendre en compte toutes les informations de l'énoncé. Certains candidats ne sont pas assez attentifs à cet énoncé. Par exemple, ils remplacent le sujet et la question posés par un sujet apparenté dont ils connaissent la solution (sans l'avoir forcément bien comprise). Ou ils perdent de vue, au cours de la résolution, la question posée et l'objectif du problème, ou un

élément important de l'énoncé. Il ne faut pas chercher à tout prix à se ramener à un exercice connu : nous ne recrutons pas de futurs physiciens sur la base d'un catalogue d'exercices appris par coeur. Pour prendre un exemple, un candidat qui entend parler d'un câble coaxial ne doit pas dérouler automatiquement la dérivation de l'équation des télégraphistes ; il doit épouser la problématique de l'examinateur.

- L'oral est une épreuve de communication à plusieurs égards : d'une part, le candidat doit être attentif aux questions posées par l'examinateur et à l'objectif visé ; d'autre part, il doit exposer sa pensée et sa démarche avec une bonne élocution, et sans oublier des étapes ou des éléments importants de sa réflexion. Un candidat qui pratique le sous-entendu, ou qui gaspille son temps sur des points secondaires, se sanctionne de lui-même. Comme dans l'épreuve écrite de physique, « le candidat est prié d'accorder un soin particulier à la clarté et à la concision de ses réponses ». A l'oral comme à l'écrit, la clarté est incompatible avec une syntaxe approximative ; un tableau couvert de calculs brouillons présentés en ordre dispersé plaide en défaveur du candidat. Enfin, si ce dernier rencontre une difficulté au cours de sa résolution, il doit non seulement savoir l'exposer mais aussi tenir compte des suggestions de l'examinateur.
- Si le candidat ne sait pas calculer de tête un cosinus ou une exponentielle, il a intérêt à apporter une calculatrice. De plus, il ne doit pas compter sur l'examinateur pour lui fournir des piles si ces dernières sont usées.
- Dans la résolution d'une équation différentielle ordinaire, certains candidats font usage de constantes indéterminées sans réaliser qu'elles resteront indéterminées tant que la physique pertinente n'aura pas été prise en considération. A ce sujet, on note que des candidats ne savent pas exploiter une donnée ou une condition physique pour la simple raison qu'elle ne leur a pas été fournie de manière mathématisée. Une qualité essentielle attendue d'un physicien ou d'un ingénieur est justement de savoir exprimer une condition concrète (telle que *la paroi est adiabatique* ou *la paroi est diatherme*) en lui trouvant une « traduction » appropriée dans le formalisme mathématique.
- L'épreuve de physique n'est pas une épreuve de mathématiques appliquées. Si nous attendons du candidat qu'il sache faire une étude de fonction, cette dernière ne saurait se substituer à l'étude du phénomène physique où apparaît cette fonction. Dans le même ordre d'idées, on a constaté chez certains candidats une forte tendance à remplacer le nom d'un phénomène (tel que l'induction d'un champ électrique par un champ magnétique variable) par le nom d'une équation (celle de Maxwell-Faraday), voire même par cette équation (écrite au tableau) quand le candidat n'arrivait pas à la nommer. Nous attendons du candidat qu'il explique intelligiblement le phénomène ou le dispositif étudié, sans le passage obligé par des équations.
- Dans sa description du phénomène physique, le candidat doit non seulement utiliser les termes appropriés, mais il doit aussi le faire de manière cohérente : par exemple, parler d'« une onde stationnaire qui se réfléchit sur un miroir » est révélateur de confusion mentale. La cohérence terminologique reflète souvent la cohérence de la pensée.
- Certains candidats ont fait référence à des phénomènes physiques qui ne sont pas au programme, comme l'effet Hall ou l'effet de peau. Au lieu d'impressionner l'examinateur, cela les a desservis quand ils ont fait montre de leur méconnaissance de propriétés majeures de ces effets (par exemple, le fait que l'effet Hall est sensible au signe de la charge des porteurs).
- Le résultat obtenu par le candidat peut parfois être synthétisé dans un graphe. Que ce graphe soit numérique ou littéral, il doit alors être soigné. Nombre de candidats dessinent des graphes incomplets (par exemple sans indication des grandeurs représentées en abscisse ou ordonnée, ou sans échelles et/ou valeurs remarquables de ces grandeurs) ou qualitativement absurdes (par exemple convexes au lieu de concaves). L'importance des graphes dans la communication scientifique est telle qu'un graphe incomplet ou incorrect abaisse la note du candidat même si la fonction a été correctement calculée.
- Comme chaque année, nous constatons qu'il y a d'excellents candidats capables d'initiatives, de sens physique, de connaissance des ordres de grandeur et, plus encore, de faire des liens entre

différents domaines du programme, que ces liens consistent en des analogies mathématiques ou en une compréhension profonde et unifiée de leur cours et d'ouvrages qu'ils ont lus en plus.

- Au titre des remarques particulières, nous avons écrit en 2009 : « Dans la grande majorité des cas, les candidats pensent que la diffraction n'est possible que si la taille caractéristique de l'objet diffractant est comprise entre 0,1 et 10 fois la longueur d'onde de la lumière. Ceci est totalement faux ; il faut plutôt comparer la différence de marche entre les deux points les plus éloignés de l'objet à la longueur de cohérence de la lumière. » Les candidats qui, en 2010, n'ont pas tenu compte de cet avertissement et ont continué d'affirmer que la largeur des fentes diffractantes devait être comprise entre 40 nm et 4  $\mu$ m, ont assuré leur échec. Comme en 2009, nous voulons souligner qu'être capable de faire le lien entre l'optique et la propagation des ondes électromagnétiques (sans pour autant entrer dans les arcanes de la théorie de la diffraction) n'est pas totalement superfétatoire.

- En mécanique du solide, le *moment* (relativement à un point) des forces subies par le solide ne peut pas (sauf cas très particuliers) se déduire de la *résultante* de ces mêmes forces. Certains candidats étudient le mouvement d'un solide comme si ce dernier était un point matériel, sans comprendre que l'usage d'un torseur (c'est-à-dire d'un *champ vectoriel* au lieu d'un vecteur) pour décrire les actions mécaniques subies par un solide n'est pas une complication mathématique gratuite.

- La poussée d'Archimède subie par un solide immergé (totalement ou partiellement) dans un liquide n'est autre que la résultante des forces pressantes du liquide sur le solide. Pourtant, chez certains candidats cette poussée semble relever d'un principe nouveau de la mécanique.

- Dans un problème de thermique, certains candidats écrivent ou rétablissent l'équation de la chaleur, pour découvrir ensuite qu'ils ne savent pas la résoudre dans les circonstances du problème. Ce qui est demandé au candidat est justement de faire de la physique, afin de trouver la solution, exacte ou le plus souvent approchée, du problème concret qui lui est soumis. Conformément aux recommandations du programme, nous ne jugeons pas le candidat sur ses capacités ou connaissances mathématiques. Nous l'encourageons à ne pas gaspiller son temps à établir une équation très générale qu'il ne saura pas résoudre.

- Des candidats ont affirmé que la loi de Newton (convection thermique) était une conséquence de la loi de Fourier (conduction thermique). Pourtant, convection et conduction sont incompatibles : la seconde est relative à un milieu solide (au repos dans le référentiel d'observation) tandis que la première concerne un milieu fluide (en mouvement dans ce référentiel, mouvement qui permet un transport de chaleur). Manifestement, le vocable *conductoconvection* abuse ces candidats (l'un d'eux a même parlé d'une « conductivité conductoconvective ») : il gagnerait à ne pas être employé.

- Plus encore que les années précédentes, nous avons été surpris par les idées confuses qui entourent la conduction électrique. Sans exiger des candidats qu'ils maîtrisent un modèle précis de conduction tel que celui de Drude, comme c'est le cas en option PC, nous attendons qu'ils *n'écrivent pas* une équation du mouvement d'un porteur comme s'il évoluait *dans le vide* au lieu d'un milieu matériel. Ce dernier (qu'il soit solide, liquide ou gazeux) donne lieu à des chocs fréquents qui modifient constamment, et de manière aléatoire, l'état de mouvement instantané du porteur. Le degré de compréhension des candidats reste souvent en deçà de la description élémentaire de la conduction électrique qu'on trouve dans des ouvrages de vulgarisation tels que « La Physique en 18 mots-clés » ou « La Nature des solides, du caillou au transistor » (Editions Dunod).

- On constate aussi que des candidats ne connaissent pas le domaine d'applicabilité (électrostatique ou électrodynamique) de formules d'électricité qu'ils utilisent. Là encore, ces candidats auraient dû réfléchir au lien entre les deux sous-disciplines. Certains ne conçoivent pas qu'il puisse exister une différence de potentiel sans qu'existe un courant électrique. L'induction électromagnétique donne encore lieu à des contresens de base. Le rapport 2009 attirait l'attention des candidats sur le fait qu'un champ magnétique variable induit un champ électrique *dans le vide* (ce qui a permis à Maxwell d'y prédire l'existence d'ondes électromagnétiques). Ceux qui n'ont pas tenu compte de cette remarque ont ainsi activement contribué à leur échec.