

École navale

Session 2024

PC – Physique 1



Le cadre et les premières secondes

L'épreuve de Physique 1 dure 30 minutes. Le candidat entre, tend à l'examinateur sa feuille de passage et une photocopie de sa pièce d'identité, signe la feuille de présence et découvre l'énoncé de l'exercice ; le passage au tableau est immédiat, sans temps de préparation.

Le candidat dispose de deux tableaux noirs et de craies blanches et de couleur, qu'il utilise à sa guise.

Les exercices proposés

Les exercices débutent par des questions proches du cours. Cette épreuve valide un travail de fond, une maîtrise du cours et de sa compréhension. On insistera donc :

La réussite à l'épreuve orale de Physique 1 requiert une bonne connaissance du cours.

Certains énoncés sont longs et ne peuvent être terminés que par les candidats les plus véloces ; la notation en tient compte. Des questions additionnelles, de niveau de plus en plus élevé, sont ajoutées graduellement pour les meilleurs candidats terminant en avance ; ceux-ci ne doivent en aucun cas craindre de perdre des points, toutes les réponses sont écoutées avec bienveillance à de tels niveaux d'interrogation, elles ne peuvent qu'ajouter un bonus.

Lors de l'épreuve

Attendu que l'exercice est à traiter sans préparation, on attend que le candidat commence par s'approprier et analyser le sujet qui lui est soumis. S'engage alors une véritable discussion avec l'examinateur, pour proposer une stratégie de résolution, un modèle... La compétence « communiquer » est ici primordiale, pour présenter sa pensée, mais aussi écouter et dialoguer avec l'examinateur lorsqu'il doit guider le candidat afin de ne pas le laisser bloqué. L'examinateur pose régulièrement des questions, pour préciser un point qui resterait obscur, mais aussi pour s'assurer de la bonne compréhension du cours. Toutefois, **les candidats ne doivent pas chercher l'assentiment de l'examinateur pour chaque réponse.**

L'autonomie du candidat est valorisée. On attend de lui qu'il sache construire un raisonnement, sans que l'examinateur ne doive le relancer à chaque étape. Le manque d'autonomie est évidemment pénalisé. Les candidats sérieux développent de véritables raisonnements en plusieurs étapes, sans oublier les résultats des questions précédentes.

L'examinateur eut le plaisir d'entendre des exposés bien menés, où le candidat ne perdait pas de temps à écrire ce qu'il énonçait à l'oral ou en explications redondantes ; où le tableau, reprenant les étapes essentielles des calculs, était bien tenu, rempli en colonnes et n'était pas masqué par la position du candidat.

La calculatrice

Les calculs d'ordre de grandeur sont la règle, donc sans calculatrice.

Les questions systématiques

La question posée régulièrement à chaque sujet est : *pourquoi ?*

Pourquoi utilisez-vous telle surface de Gauss et non pas telle autre ?

Pourquoi utilisez-vous ce contour d'Ampère ?

Pourquoi choisissez-vous ce système de coordonnées ?

Pourquoi projetez-vous sur tel axe ?

Pourquoi pouvez-vous négliger les effets de bord ?

La liste est longue ; le candidat doit être capable de tout justifier et montrer ainsi qu'il a compris et maîtrise son sujet.

Notes décernées

Les notes s'étalent de 4 à 20 avec une moyenne de 12. L'examinateur fut impressionné par la remarquable qualité de certaines prestations. Se perpétue ainsi une tradition du concours de l'École navale, de travail soutenu pendant les années de préparation, d'apprentissage réfléchi de la Physique, de motivation des candidats et de formation de haut niveau délivrée par les professeurs de CPGE.

Remarques disciplinaires

Quels sont les points qui permirent aux bons candidats de réussir leur épreuve ?

1) Remarques générales

Les candidats doivent veiller à l'**homogénéité** des formules, tant pour les unités qu'au niveau des écritures scalaire ou vectorielle. Il doivent savoir postuler une formule par analyse des unités des différents termes qui interviennent, dans le système international.

Savoir résoudre une **équation différentielle** linéaire à coefficients constants du 1^{er} ou du 2^{ème} ordre, même avec second membre, et connaître quels termes représentent mathématiquement les régimes transitoire ou permanent, est indispensable. Il est conseillé de savoir normaliser une équation différentielle et d'en connaître les paramètres caractéristiques, par exemple pour un second ordre sous la forme (qui n'est pas unique) :

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{2\xi}{\omega_0} \frac{ds}{dt} + s = 0.$$

Le jury attend, pour un système du 2^{ème} ordre soumis à une entrée constante, que le candidat extraie de lui-même les valeurs de ω_0 , ξ (ou du facteur de qualité $Q = 1/2\xi$), sache tracer sans calcul l'allure de la sortie en fonction de ξ .

Les **notations intégrales** ne doivent pas être mélangées. Ainsi :

$$\iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{S} \neq \oiint_{\mathcal{S}} \vec{B} \cdot d\vec{S}_{ext}.$$

L'utilisation des **opérateurs** doit être aisée en cartésiennes, comme le développement de $(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}$ ou de $\vec{\Delta} \vec{E}$, par exemple pour un champ en $\sin(\pi \frac{z}{a}) \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y$. Remarquons qu'une tentative de calculer $\text{rot} \vec{E}$ en coordonnées cylindrique ou sphérique, *via* $\vec{\nabla} \wedge \vec{E}$, ne mène pas au bon résultat.

Aucune grandeur n'est intrinsèquement négligeable, elle n'est **négligeable** que devant une autre, qui lui est homogène.

Lors du tracé de courbes, on s'attend à ce que les candidats sachent tracer l'allure de fonctions polynomiales, par exemple $x \mapsto 1 - \frac{x^2}{a^2}$ ou $x \mapsto x - \frac{x^3}{a^2}$, en examinant les termes prédominants.

Les candidats doivent maîtriser les calculs élémentaires, comme celui des primitives de $x \mapsto \frac{1}{x^2}$ ou $x \mapsto \frac{1}{\sqrt{x}}$.

2) Les schémas

Les candidats sont encouragés à dessiner un schéma de la situation physique, qui sera enrichi au fur et à mesure de leur prestation. Un schéma est indispensable en électromagnétisme, où figurent clairement les plans de symétrie ou d'antisymétrie, les surfaces de Gauss, les contours d'Ampère ou de Faraday, les vecteurs \vec{E} , \vec{B} , $d\vec{S}$, $d\vec{\ell}$; en mécanique, avec les forces, les vecteurs de base ; en diffusion, avec la matérialisation du système étudié, les vecteurs \vec{J}_Q .

L'utilité d'un schéma étant de clarifier la situation et de servir de support au raisonnement, la perspective cavalière ne sera utilisée que si les qualités de dessin sont suffisantes pour la rendre intelligible. Dans le cas contraire, on préférera des plans de coupe.

3) Mécanique des fluides

Les bons candidats valident systématiquement à l'oral les hypothèses de validité du **théorème de Bernoulli** et dessinent un **schéma clair** où figure la ligne de courant étudiée.

Ils dressent un **schéma clair** du système à deux instants successifs lorsqu'ils établissent un **bilan macroscopique**. Ils ne perdent pas de temps à développer un bilan de masse quand ils ont déjà justifié et écrit la conservation du débit. Ils savent proposer immédiatement l'expression de la résultante des forces de pression atmosphérique sur une surface solide et l'orientent correctement.

On rappelle que l'équation de Navier-Stokes n'est d'aucune utilité sans information *a priori* sur le champ des vitesses, sa direction, les variables d'espaces dont il dépend.

4) Électromagnétisme

Lors des calculs de champs, les **symétries** et les **invariances** doivent être systématiquement étudiées, quelles que soient la source du champ et l'équation de Maxwell dont la forme intégrée doit être connue, comme le théorème d'Ampère complet (ou généralisé) :

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{enlacé} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \iint_{\mathcal{S}|\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{S},$$

ainsi que la loi de Faraday :

$$\oint_{\mathcal{C}} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt} \iint_{\mathcal{S}|\mathcal{C}} \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Cette dernière équation sert à calculer le **champ électrique créé par un champ magnétique variable dans le temps**. Dans le cas d'un champ électrique créé par un champ magnétique, lui-même créé par un courant d'intensité variable, les symétries du courant se retrouvent *in fine* dans celles du champ électrique.

Rappelons que lors de l'étude des symétries, afin de déterminer l'orientation d'un champ en un point M de l'espace, les plans de symétrie et d'antisymétrie des sources doivent passer par ce point M .

Le jury fut surpris d'entendre quelques candidats affirmer que \vec{E} et \vec{B} sont toujours perpendiculaires, quelque soit le système. Rappelons que la relation de structure $\vec{B} = \frac{\vec{k}}{\omega} \wedge \vec{E}$ n'est valable que pour une onde plane progressive harmonique, donc en premier lors de l'étude d'une onde électromagnétique.

5) Diffusion thermique

Les bons étudiants savent **établir l'équation de la diffusion thermique** *via* un bilan d'énergie interne.

Ils utilisent à bon escient la **continuité du flux thermique** à travers une interface.

Lorsque l'énoncé modélise le transfert thermique à une interface par la loi mathématique $\delta Q = hS(T_1 - T_2)dt$, ou son expression par une phrase en français, on s'attend à ce que le candidat en tienne compte et sache expliquer pourquoi il manipule $T_1 - T_2$ et non $T_2 - T_1$ et que la température n'est alors pas continue à l'interface dans le modèle adopté.

Les bons candidats savent tenir compte de l'effet Joule et le modéliser correctement dans un conducteur ohmique, en passant de l'intensité électrique au vecteur densité de courant thermique puis à la puissance Joule volumique.

Les candidats doivent savoir modéliser une situation avec le formalisme des **résistances thermiques**, lorsque les hypothèses d'utilisation sont réunies (régime indépendant du temps et absence de terme source). La connaissance des lois élémentaires sur les circuits électriques (loi des mailles, diviseur de tension, convention récepteur, fléchage des tensions) est alors indispensable.

6) Mécanique

Une **étude physique** est souvent la bienvenue, afin de ne pas se lancer dans d'inextricables calculs pour des forces qui n'ont aucune influence sur le mouvement (dont le moment par rapport à l'axe de rotation est évidemment nul par exemple). Le bon sens est plus important que les gros calculs.

Le **calcul vectoriel** (projections, produit scalaire, produit vectoriel) doit être maîtrisé. Les bons candidats vérifient rapidement la pertinence du résultat sur des cas limites (angles nul ou droit).

Lorsque le contact entre un mobile et un support est étudié, il convient d'utiliser une base où la réaction du support s'élimine sur une des composantes. De plus, le contact disparaît dès que la réaction s'annule.

Le jury attend des candidats qu'ils prennent l'initiative d'un **schéma**, avec le sens et la direction des **forces d'inertie** clairement indiqués *a priori*, afin de grandement simplifier la mise en équation ultérieure.

Rappelons que si la force résultante développée sur un solide est nulle, cela n'implique pas que son moment le soit aussi.

Le jury apprécie lorsque les candidats modélisent correctement les **ressorts**, sans mélanger la longueur à vide avec celle à l'équilibre. Les candidats sérieux vérifient, sur des cas limites, le signe de la force de rappel élastique.

Lors de l'étude des **positions d'équilibre** d'un système, l'examinateur fut surpris d'entendre des candidats établir les expressions des énergies potentielles dont dérivent les diverses forces, pour dériver dans la foulée afin de trouver le minimum. Lors des meilleures prestations, les candidats linéarisèrent rapidement le principe fondamental de la dynamique autour d'une position d'équilibre pour en étudier la stabilité.

Rappelons que l'application du **théorème du moment cinétique** est toujours plus rapide que celle de la seconde loi de Newton dans le cas d'un système en rotation, par exemple autour d'un axe fixe.

7) Physique des ondes

On s'attend à ce que les candidats maîtrisent le cours, c'est-à-dire qu'ils sachent démontrer l'équation de d'Alembert pour une corde vibrante, une onde acoustique, une onde électromagnétique, en précisant les hypothèses et le cadre de l'étude.

D'un point de vue mathématique, $\frac{\partial}{\partial t}$ et $\overrightarrow{\text{grad}}$ ne deviennent en notation complexe $j\omega$ et $-j\vec{k}$ que si l'onde étudiée est plane progressive et harmonique ; ce passage aux complexes est par exemple faux dans le cas d'une onde stationnaire ou qui n'est pas plane.

La direction de polarisation d'une **onde électromagnétique** ne doit pas être confondue avec celle de propagation.

Sur le chapitre sur les **ondes sonores**, les bons candidats savent écrire directement les équations

linéarisées. Lors de l'étude de la réflexion et de la transmission d'ondes sonores planes entre deux milieux, ils justifient que les conditions aux limites soient écrites, dans l'approximation acoustique, en $x = 0$ (position de repos de l'interface), alors que l'interface bouge sinusoidalement. On s'attend de plus à une justification physique simple de l'égalité des pulsations des ondes incidente, réfléchie et transmise.

La notion d'**impédance acoustique** simplifie grandement les calculs, à condition d'utiliser le bon signe entre le champ des vitesses et le champ de surpression de l'onde réfléchie et que l'onde soit bien plane et progressive.

Lors de l'étude des tuyaux sonores, nombreux furent les candidats qui tracèrent un schéma analogue à celui ci-dessous.



Si tracer un schéma clair est toujours une bonne idée, afin de raisonner juste, ces candidats furent néanmoins désarçonnés lorsque l'examinateur leur demanda ce que représentaient les courbes tracées en bleu ; trop peu furent capables de répondre.

8) Conseil final

Comment obtenir une bonne note ?

Bien apprendre son cours et savoir appliquer les méthodes classiques.