

CONCOURS D'ADMISSION 2026

Composition de Physique B

I. Remarques générales

Si le problème cette année pour l'épreuve de Physique B PC concernait presque comme d'habitude la physique des ondes, il proposait aux candidats d'explorer un aspect rarement abordé dans ce contexte, celui de l'influence de la *topologie* sur leur propagation.

Comme explicitement rappelé dans l'introduction, cette notion a notamment été mise en valeur par l'attribution en 2016 du Prix Nobel de Physique à Thouless, Haldane & Kosterlitz pour leurs travaux théoriques datant des années 1970 sur les phases topologiques de la matière, cette thématique ayant connu un regain d'intérêt depuis 2005 avec la découverte expérimentale de matériaux isolants topologiques.

Le sujet met donc en scène ce thème dans un contexte allant de modèles mécaniques discrets classiques (chaînes masse-ressort) à celui d'ondes équatoriales dans l'océan, proposant en toute dernière question une explication du phénomène El Niño. L'épreuve se distingue par une forte cohérence interne et une progression pédagogique relativement bien construite.

L'épreuve s'est révélée particulièrement discriminante. Les candidats ont éprouvé d'importantes difficultés dès les premières questions du sujet. Quant à la partie II, plusieurs questions se sont révélées difficiles non en raison de calculs complexes, mais parce qu'elles exigeaient de réinvestir dans un contexte nouveau les notions progressivement introduites depuis le début de l'épreuve. Les meilleurs candidats ont su s'approprier les différents objets physiques et mathématiques construits au fil du problème — relations de dispersion, bandes interdites, invariants topologiques ou modes localisés — et les mobiliser pour interpréter des situations nouvelles. À l'inverse, une fraction importante des copies s'est limitée à un traitement très local des questions, sans parvenir à dégager la cohérence d'ensemble du sujet.

Une centaine de copies très faibles ont eu une note inférieure à 4/20, quant à peu près autant de « bonnes » copies recevaient une note supérieure à 15/20.

Une caractéristique notable de cette épreuve résidait dans l'absence presque totale d'applications numériques. En revanche, de nombreuses questions exigeaient des candidats qu'ils soient capables de construire graphiquement des fonctions ou relations de dispersion à partir de leurs propriétés mathématiques et physiques.

Comme malheureusement devenu habituel ces dernières années, ces représentations graphiques se sont révélées extrêmement discriminantes. Dès les premières questions du sujet, notamment lors du tracé de ce qui n'était essentiellement que la fonction $|\sin x|$ sur une période avec discussion des tangentes à l'origine et aux bords de l'intervalle de périodicité, une très grande majorité des candidats s'est montrée incapable de produire un graphe cohérent avec les propriétés élémentaires de la fonction étudiée.

Les correcteurs ont eu le sentiment que beaucoup de candidats ne considéraient plus un graphe comme l'aboutissement d'un raisonnement construit à partir de symétries, de comportements limites, de pentes ou de points remarquables, mais davantage comme une image qualitative approximative. Or, à ce niveau de concours, il est indispensable qu'un candidat soit capable de reconstruire à la main l'allure d'une fonction simple à partir des propriétés qu'il vient lui-même d'établir.

Les multiples représentations graphiques demandées tout au long du sujet — relations de dispersion, bandes interdites, trajectoires topologiques, profils de modes localisés — ont ainsi constitué un excellent révélateur du degré réel de compréhension physique des candidats. Les meilleures copies ont précisément été celles dans lesquelles les graphes étaient utilisés comme de véritables outils de raisonnement et non comme de simples illustrations ajoutées a posteriori.

Avant de rentrer dans le détail des questions, nous souhaitons rappeler quelques éléments simples, malheureusement valables d'une année sur l'autre, et ce quelle que soit la nature ou la difficulté de l'épreuve :

- une copie propre et structurée permet au correcteur de suivre sans ambiguïté le raisonnement du candidat ;
- les résultats importants gagnent toujours à être mis en valeur, notamment lorsqu'une interprétation physique est demandée ;
- toute formule manifestement incorrecte du point de vue de l'homogénéité ou des ordres de grandeur devrait conduire le candidat à porter un regard critique sur son résultat ;
- enfin, lorsqu'une formule est demandée explicitement dans l'énoncé, il ne suffit jamais de la recopier ou de l'affirmer : les étapes essentielles de la démonstration doivent être clairement justifiées avant de passer aux applications ou aux interprétations physiques.

II. Remarques particulières

Q1 : Beaucoup trop de candidats se sont révélés incapables d'établir correctement l'expression de l'allongement relatif d'un ressort dans une chaîne discrète. Un nombre significatif de copies aboutit ainsi à une expression dépendant encore explicitement de la longueur à vide du ressort, traduisant une confusion entre déplacement absolu et variation relative de longueur.

Q2 : La relation de dispersion issue de l'équation du mouvement apparaissait naturellement sous une forme quadratique en la pulsation, avant extraction d'une racine carrée à l'aide d'une formule trigonométrique élémentaire rappelée dans l'énoncé. Les correcteurs ont été surpris de constater que de nombreux candidats oublient encore que la racine carrée du carré d'un nombre est sa valeur absolue, ce qui les a conduits à des relations de dispersion incompatibles avec la positivité physique attendue de la pulsation.

Q4 : À l'évidence, il n'était attendu aucune connaissance a priori concernant la première zone de Brillouin. Néanmoins, la définition donnée à la question précédente aurait dû permettre à plus de candidats de tracer convenablement, et sur le domaine pertinent, la fonction $x \rightarrow |\sin x|$.

Q7.4 : Si certains candidats ont tracé très raisonnablement une courbe présentant un amortissement exponentiel, très rares ont été ceux qui ont réalisé que la solution est uniquement définie pour $n \in \mathbb{Z}$, et que la courbe précédente doit donc être « discrétisée ».

Q7.5 : Les définitions précises d'une onde évanescence et d'une onde amortie et la distinction qui en découle devaient être connues.

Q11 : Si la plupart des candidats ont remarqué le rôle symétrique joué par ω_1 et ω_2 dans l'expression de la relation de dispersion donnée à la Q10, à l'évidence il n'y a aucune raison pour que l'estimation de ω_2 dans le cas où $\omega_1/\omega_2 = 2/3$ donne le même résultat que si $\omega_1/\omega_2 = 3/2$.

Q13 : Il a échappé à la quasi-totalité des candidats que les questions Q13.x avaient essentiellement pour objectif de préparer le tracé de la relation de dispersion obtenue à la Q10. La première observation à faire était que cette relation comporte deux branches, associées au symbole $\pm$. Que l'on se place au centre ou au bord de la première zone de Brillouin, toute discussion de solution ou de développement limité devait donc distinguer ces deux cas (à l'exception du cas dégénéré $\omega_1 = \omega_2$ en bord de zone pour lequel il n'y a pas de bande interdite). Les correcteurs ont davantage valorisé les copies faisant apparaître une compréhension qualitative de la structure de la relation de dispersion que celles présentant un développement limité techniquement correct mais limité à une seule branche sans discussion physique associée.

Q16 : Dans ce type de question, où la réponse est binaire, on ne peut se satisfaire d'une phrase du type recopiant simplement l'énoncé "Les bandes grises sont les bandes de propagation et les blanches correspondent aux ondes évanescences", sans apporter aucun élément nouveau de justification.

Q22 : Cette question a été évaluée avec beaucoup d'indulgence. De nombreux candidats ont reconnu dans ces équations des formes simplifiées de l'équation de continuité et de l'équation d'Euler (ou de Navier-Stokes sans terme visqueux). Cette identification, si elle n'était pas rigoureusement complète, était néanmoins acceptable dès lors qu'elle s'accompagnait d'une remarque sur les hypothèses implicites du modèle, notamment l'incompressibilité du fluide et l'équilibre hydrostatique. C'est la similitude des opérateurs apparaissant dans ces expressions qui justifiait qu'un candidat puisse "reconnaître" ces équations, mais également relever les différences. Toute remarque en ce sens de la part d'un candidat a été valorisée.

Q23-24-25 : Ces questions ont été en général bien traitées par presque tous les candidats. On peut noter que ce début de partie II ne présentait pas de difficulté et beaucoup de candidats ont obtenu tous les points à ces questions.

Q26 : Cette question consistait essentiellement à réécrire sous forme matricielle le système obtenu à la question précédente. La plupart des candidats y sont parvenus. Malheureusement, les erreurs de transcription qui se sont glissées pour certains dans la matrice correspondante se sont révélées dommageables pour la suite.

Q27 : C'est la première question un peu délicate de cette partie. Parmi les candidats qui ont compris qu'il s'agit de résoudre $\det(M - \omega I) = 0$, un nombre très réduit est effectivement arrivé au résultat $\omega = 0$ ou $\omega = \pm (f^2_0 + g H k^2_T)^{1/2}$. Cette question a été notée avec indulgence. Par exemple, si seule la branche positive de la solution était considérée, une bonne partie des points était attribuée. Il faut noter qu'on doit considérer les pulsations $\pm$ car on a un système linéaire en $\partial/\partial t$ et non un système en $\partial^2/\partial t^2$ comme dans la partie I.

Q28 : Les candidats qui ont trouvé Q27 ont presque tous répondu correctement à cette question, parfois en rappelant que ce résultat est standard pour les ondes de gravité.

Q29-30 : Cette question n'a été que très rarement traitée. Il était nécessaire d'avoir Q27 juste. Ceci étant, toute réponse même partielle a été largement valorisée.

Q31 : Question très délicate dans la mesure où il faut avoir compris Q20 et s'en souvenir à ce moment pour savoir comment procéder. Elle n'a été que très rarement traitée et tout élément allant dans le bon sens a été très largement valorisée. Cela ne concerne que quelques copies. Il faut noter que la réponse correcte est $\Delta\phi_{\pm} = 4$, et donc il y a 4 modes de bord pour la bande + et 4 pour la bande -. Pour les quelques copies concernées qui ont trouvé 4 modes de bord au total, tous les points ont été attribués, plus des bonus.

Q32-Q36 : Ces questions ont été assez souvent traitées en partie par beaucoup de candidats, en particulier Q34, Q35.

III. Conclusion

La majorité des candidats n'a traité qu'un peu moins de la moitié des questions proposées. Si le début de la partie II a souvent permis aux candidats de reprendre pied dans le sujet, les difficultés accumulées dans la fin de la partie I ont rarement été complètement résorbées par la suite.

Ce constat traduit certes une gestion du temps parfois perfectible, mais également les difficultés rencontrées face à un sujet demandant de mobiliser simultanément des outils mathématiques, des raisonnements physiques qualitatifs et une interprétation graphique des résultats obtenus.

Les meilleures copies ne sont pas nécessairement celles ayant abordé le plus grand nombre de questions, mais plutôt celles dans lesquelles les candidats ont su conserver une vision d'ensemble du problème et donner un sens physique aux objets progressivement introduits au fil du sujet.