

Rapport sur le sujet de Physique B (PC) 2025

6 Juin 2025

1 Remarques générales

Le sujet de physique B 2025 de la filière PC portait sur la production et la caractérisation d'impulsions laser attosecondes, suivant en cela des recherches qui ont valu aux Français Anne L'Huillier et Pierre Agostini (ainsi qu'au Hongrois Ferenc Kraucz) le Prix Nobel de Physique en 2023. Ce dernier point était explicitement indiqué au début de l'énoncé, peut-être dans l'esprit des concepteurs pour motiver encore davantage les candidats, en leur montrant comment en se servant uniquement des outils du programme des CPGE, on pouvait traiter un problème de physique de très haut niveau et d'une actualité immédiate.

Les correcteurs ont trouvé ce sujet remarquable, original et bien construit. Les questions étaient posées de façon à ce que les candidats montrent qu'ils avaient vraiment compris la problématique des phénomènes physiques sous-jacents, et requéraient peu de "gros" calculs pour y répondre. Le sujet s'est révélé particulièrement sélectif, puisque les candidats qui n'ont pas réussi à mobiliser avec le recul nécessaire les différents parties du programme des CPGE y ont perdu pied petit à petit.

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 permet de maintenir l'attention du correcteur, notamment pour que celui-ci soit sûr que le candidat a vraiment établi le résultat attendu. C'est un point qui — malheureusement — échappe encore et toujours à trop de préparationnaires.
- les résultats de chaque question, une fois réellement démontrés, gagnent toujours à être mis en valeur en les **encadrant**, et en particulier en ce qui concerne les applications numériques.
- tout résultat incorrect dimensionnellement ne pourra jamais rapporter le moindre point.

- le tracé des courbes s'est révélé être particulièrement acrobatique cette année. De nombreux candidats ont présenté des tracés, notamment celui du puits de potentiel **Q11**, sans respecter certains éléments fondamentaux. Il est essentiel de rappeler qu'un tracé théorique doit refléter les caractéristiques mathématiques et physiques du système modélisé. En particulier, l'identification et le tracé correct des asymptotes (horizontales, verticales, ou autre) sont indispensables, car elles traduisent le comportement limite de la fonction. La forme globale de la courbe doit être cohérente avec la théorie attendue (forme du puits, symétrie éventuelle, minimum bien marqué, etc.). Ensuite, les points remarquables (tels que les minima, maxima, points d'inflexion, discontinuités ou points de raccordement) doivent être situés avec précision : ils jouent un rôle clé dans l'interprétation qualitative du système. Enfin, comme pour tout graphique, les axes doivent être orientés, avec les unités indiquées, et les différentes zones de la courbe clairement interprétables. L'ensemble du tracé doit donc permettre une lecture immédiate et fidèle du phénomène représenté.

2 Remarques particulières

Q3 : Les correcteurs ont été très surpris de trouver des applications numériques absurdes issues d'erreurs grossières sur la manipulation des puissances : la division de 800×10^{-9} par 3×10^8 (la vitesse de la lumière) ne fera jamais quelque chose de l'ordre de 10^{+17} . Ne pas s'interroger sur un tel résultat montre également une méconnaissance complète des ordres de grandeur attendus dans le domaine de l'optique.

Q5 : Les candidats se sont très souvent limités à énoncer les conditions de Gauss, et non pas à vérifier qu'elles étaient satisfaites. Évidemment, il ne suffisait pas de dire que la taille du faisceau est "petite", encore fallait-il dire par rapport à quoi, ni que l'axe du faisceau coincide avec l'axe optique (sans quoi tout éclairage d'une lentille par une onde plane en incidence normale satisfirait les conditions de Gauss...).

Q7 : Il est très surprenant de trouver, comme unité correspondant à une "puissance par unité de surface", des réponses telles que W ou $J.s^{-1}$. Le jury invite également les candidats à lire attentivement les questions, et si l'on demande d'estimer la puissance surfacique "au foyer de la lentille qui focalise le faisceau", ce n'est pas la dimension du waist *en amont* de la lentille qui est celle qu'il faut faire intervenir (directement) dans l'expression.

Q9 : Alors que le flux énergétique surfacique reçu par la Terre de la part du Soleil apparaît (presque) explicitement dans les programmes (entre "flux du vecteur de Poynting" et "effet de serre"), très peu de candidats sont capables de proposer le bon ordre de grandeur. Inversement, beaucoup assimilent le

rayonnement du Soleil à celui d'un laser dont le waist correspondrait à celui de la Terre, ce qui relève de la science-fiction...

Q11 : Au-delà de toutes les considérations de signe qui intervenaient dans la réponse à cette question, le jury a été extrêmement surpris par les difficultés rencontrées par l'immensité des candidats pour tracer correctement le graphe d'une fonction correspondant à la somme d'un terme en $1/x$ et d'un terme linéaire.

Q12 : L'effet tunnel a été plébiscité (avec raison) par les candidats, ce qui aurait dû les amener à s'interroger sur le résultat donné à la question précédente lorsqu'aucune barrière de potentiel n'était mise en évidence.

Q14 : Cette question a très généralement été convenablement traitée, mais trop nombreuses ont été les copies où les candidats ne se sont pas interrogés sur la cohérence entre ce résultat et celui qu'ils avaient pu donner à la question 11.

Q16 : Beaucoup d'étudiants confondent deux notions distinctes: la parité de la fonction (paire ou impaire) et le rang des harmoniques (pair ou impair). Or, la présence ou non de certaines harmoniques dans le développement dépend avant tout des symétries spécifiques de la fonction. Par exemple, une fonction paire n'élimine pas nécessairement les harmoniques paires, et une fonction impaire n'implique pas forcément la présence exclusive d'harmoniques impaires. Dans le cas étudié ici, seules les harmoniques impaires sont présentes non pas à cause d'une simple parité, mais en raison de la symétrie particulière du signal.

Q17 : De nombreux étudiants ont eu du mal à intégrer correctement l'équation $m\ddot{x} = eE_0 \sin \omega t$. Une confusion fréquente : l'oubli que la solution générale est la somme d'une solution particulière et de la solution de l'équation homogène associée. Certains se contentent d'une primitive isolée du second membre, sans tenir compte des constantes d'intégration.

Q27 : Il serait intéressant que les candidats s'interrogent sur la nécessité d'extraire la partie réelle du produit de A par son complexe conjugué lorsqu'ils écrivent $\text{Re}(AA^*)$.

Q20 : Il ne fallait pas se contenter de recopier ou reproduire le graphe de la figure 1 mais tenir compte des précisions données dans l'énoncé. La consigne demandait explicitement de tracer, sur un même graphique, l'allure de $x(t/T)$ pour trois instants initiaux différents : $t_i = 0$, $t_i = T/4$ et $t_i = T/2$, et ce pour t/T variant de t_i/T à 1,5. Les courbes attendues étaient donc distinctes les unes des autres, traduisant le décalage temporel de l'excitation.

Q28 : Alors que le calcul de l'intensité lumineuse obtenue derrière un réseau est explicitement au programme, cette question a présenté, à la surprise des correcteurs, énormément de difficultés. Rarissimes ont été les candidats qui ont conclu leur réponse en identifiant leur réponse à la fonction d'Airy, qui constitue pourtant un "grand classique" de l'optique ondulatoire.

Q30 : Relation bien connue des candidats.

Q36 : À nouveau un grand classique de mécanique classique (relativiste ou non), pour lequel les correcteurs s'attendaient à ce que le rayon cyclotron apparaisse comme une évidence pour de nombreux candidats. Ce ne fut pas le cas.

Q38 : Très peu de candidats ont une intuition correcte du mouvement hélicoïdal qui anime une particule dans un tel champ, ce qui a conduit nombre d'entre eux à ne pas voir qu'il suffisait de reprendre la question 36, avec, simplement, $v_{\perp} = v \sin \theta$. Prendre les limites $\theta \rightarrow 0$ ou $\theta \rightarrow \pi/2$ aurait dû les aider à porter un regard critique sur les résultats proposés.

3 Conclusion

La majorité des étudiants n'a traité qu'un peu moins de la moitié des questions proposées. Ce constat traduit soit une gestion du temps perfectible, soit une difficulté à mobiliser rapidement les outils théoriques du programme.