

### Epreuve écrite de Physique B - Filière PC (XEULC)

Ce sujet ne comportait pas de difficultés techniques et mathématiques notables. Il faisait appel à des éléments basiques de mécanique quantique qui ont laissé les candidats particulièrement dubitatifs. La première partie portant sur l'oscillation des neutrinos (en utilisant une analogie avec la molécule d'ammoniac) s'appuyait en effet sur l'approche ondulatoire de la mécanique quantique, partie intégrante du programme de physique des ondes en PC. La suite du sujet mobilisait des domaines très variés du programme de physique pour décrire des caractéristiques de la dynamique des neutrinos, de l'effet Tcherenkov et de sa détection. Les candidats ont eu de grandes difficultés à s'appropriier le phénomène et à traiter la grande diversité des approches proposées. Paradoxalement, ceci n'était pas nécessairement lié aux questions un peu plus délicates que celles de la première partie.

Ce sujet abordable mettait en avant les candidats avec un bon sens physique, capables de s'approprier une thématique de physique des ondes et ayant un bon recul sur le programme de PCSI/PC dans un contexte de physique des hautes énergies mêlant des éléments de physique quantique théorique et expérimentale. Il a écarté les candidats qui n'étaient pas en mesure d'investir la problématique faute d'une représentation suffisamment solide des phénomènes physiques en jeu et de structurer leur raisonnement. Pour cela, il s'est avéré bien discriminant. La répartition des notes obtenues par les candidat(e)s est résumée dans le tableau ci-dessous :

Intervalles		Nombre de copies :		En pourcent
0	$\leq N <$	4	84	5,47%
4	$\leq N <$	8	598	38,93%
8	$\leq N <$	12	580	37,76%
12	$\leq N <$	16	223	14,52%
16	$\leq N <$	20	51	3,32%
			1536	100,00%
Moyenne		8,98		
Écart Type		3,62		

La répartition des notes obtenues par les candidat(e)s français(es) de l'Ecole polytechnique est résumée dans le tableau ci-dessous :

$0 \leq N < 4$	61	4,49%
$4 \leq N < 8$	501	36,89%
$8 \leq N < 12$	517	38,07%
$12 \leq N < 16$	201	14,8%
$16 \leq N \leq 20$	78	5,74%
Total :	1358	100%
Nombre de candidats :	1358	
Note moyenne :	9,22	
Ecart-type :	3,64	

Nous devons rappeler les points essentiels auxquels les candidats devraient porter plus d'attention lors de la rédaction de leur copie.

D'une manière générale, un des objectifs des sciences physiques est de donner du sens aux phénomènes observés. Les candidats doivent donc, autant que possible, montrer qu'ils donnent du sens à ce qu'ils manipulent (expressions, approximations, concepts, valeurs numériques, courbes...). Ceci doit se traduire par une **présentation rigoureuse** et des **commentaires concis et éclairants**.

En cas de doute sur une réponse (qu'elle soit illisible ou que plusieurs réponses différentes soient proposées), les points ne peuvent être attribués. Une réponse doit être claire et unique. Si le candidat n'arrive qu'à une réponse partielle, il peut l'indiquer comme tel, la correction n'étant pas en « tout ou rien ». Les correcteurs apprécient les éléments de démarche pertinents, même s'ils ne mènent pas au résultat attendu.

Rappelons aussi cette évidence, puisqu'elle ne semble toujours pas assimilée par un nombre certain de candidats : une copie soignée, avec une écriture lisible et où les formules obtenues sont mises en valeur (tout au moins soulignées), met toujours dans de meilleures dispositions le correcteur qu'une copie où la recherche de résultats s'apparente à des fouilles archéologiques sous de multiples ratures ou couches de correcteur, ou rédigées avec une écriture « en pattes de mouche ». Enfin, les candidats doivent savoir que les copies sont numérisées pour être corrigées. La numérisation est d'excellente qualité, mais elle renforcera parfois l'illisibilité notable de quelques copies. En cas de doute sur une réponse due à une écriture illisible, la juxtaposition de résultats différents ou des ratures partielles, les points ne sont pas attribués à la question.

On a pu voir un nombre surprenant d'erreurs qui ne devraient déjà plus se trouver dans des copies de baccalauréat, telles que des divisions par des vecteurs, des représentations graphiques de  $\sin^2(x)$  tracées comme avec  $|\sin(x)|$ , ou bien qui passent sous l'axe des abscisses. Les schémas sont souvent sales et presque toujours si approximatifs que des confusions sont faites entre le sinus et la tangente.

Ces erreurs, massives, sont très surprenantes à ce niveau alors qu'elles ne sont en rien liées à une quelconque difficulté de l'épreuve. La difficulté générale d'une épreuve et la fatigue éventuelle des candidats ne devraient pas amener de telles erreurs : ces bases doivent être fermement acquises depuis longtemps.

Après ces remarques générales, voici des commentaires linéaires pour chaque question. Tout ce qui est reporté porte sur des erreurs observées dans une part significative des copies.

1. L'effet tunnel est généralement cité comme cause des oscillations.

Rappelons que les oscillations viennent d'un couplage entre deux niveaux (qu'il soit dû à l'effet tunnel, comme ici, ou à autre chose). Un effet tunnel ne couplant pas des états stationnaires peut tout-à-fait ne pas donner naissance à des oscillations.

Un effet thermique ne fait pas nécessairement osciller un système : il participe à peupler des niveaux excités, que leur dynamique soit vibrationnelle ou non.

2. L'interprétation correcte des coefficients  $C_G$  et  $C_D$  est très rarement donnée. Il y a des confusions entre l'amplitude de probabilité et la probabilité. Les conséquences du caractère complexe des coefficients et des fonctions d'onde sont rarement prises en compte.

3. et 4. Les candidats ayant compris la structure en combinaison linéaire des fonctions d'onde ont souvent bien répondu à cette question. Les autres ont proposé des réponses qui n'avaient souvent aucun sens.
5. Le résultat est souvent deviné, en s'appuyant sur des souvenirs de cours ou d'exercice ou par homogénéité. Le  $\cos^2$  est représenté généralement comme  $|\cos|$ . On trouvera souvent des probabilités négatives...
6. Le développement limité est en général bien effectué.
7. Les réponses à cette question étaient correctes dans la continuité de la précédente.
8. Les candidats ayant eu les bonnes réponses aux questions précédentes ont généralement su les combiner pour répondre, des erreurs de calculs ou de petits oublis se glissant parfois dans le résultat.
9. Quand bien même les candidats auraient tenté d'effectuer les applications numériques, celles-ci sont rarement réussies.
10. Cette question demandait une bonne compréhension des paramètres gouvernant les oscillations et des incertitudes associées. Elle a été peu traitée et rarement avec succès.
11. Les candidats ayant compris les ordres de grandeur mis en jeu dans ces oscillations ont bien répondu à cette question.
12. Quelques candidats ont donné une réponse correcte en expliquant clairement pourquoi on arrivait vers une valeur moyenne. On a pu souvent observer pour cette question, la réponse étonnante (et n'ayant aucun sens) « on s'attendait à trouver 0,6 pour KamLAND, ce qui est bien le cas sur le graphique ».
13. Le cône est souvent considéré à l'envers (s'ouvrant dans la direction de propagation de l'électron), comme si les ondes étaient « projetées » en avant, traduisant une représentation fragile de la cinématique des ondes chez ces candidats. Pour les cônes dessinés correctement, on a eu une confusion presque systématique entre le sinus et la tangente à cause de dessins approximatifs où les cercles de fronts d'ondelettes ne sont pas tangents au cône résultant. Des dessins sales et approximatifs ont semblé être la norme chez les candidats.
14. Cette question était plus délicate, car elle demandait de bien différencier les cinématiques du mouvement de l'électron et celle de l'onde émise, en exprimant correctement la phase. Certains candidats ont utilisé le théorème de Malus pour trouver la forme du front d'onde.
15. Les résultats des deux questions précédentes, s'ils étaient corrects, devaient donner un front d'onde perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. Ce devait être le cas avec 'sinus' et 'cosinus'. Beaucoup de candidats ont obtenu 'tangente' en réponse à la question 13, ce qui aurait dû leur indiquer qu'une erreur a été commise. Ça n'a généralement pas été le cas.
16. Question parfois réussie, même s'il semble que sans calculatrice, l'estimation d'un angle à partir de données trigonométriques pose des problèmes à de nombreux candidats.
17. Cette question demandait une bonne compréhension d'une dynamique pourtant assez simple : le déplacement d'un cône. Les réponses correctes ont été rares.

18. Réponses souvent correctes, la figure associée à la question étant souvent bien lue, le calcul de l'indice associé a posé plus de problèmes aux candidats.
19. Des réponses souvent correctes. Malheureusement, beaucoup de propositions fausses auraient pu être détectées par une simple vérification *a posteriori*.
20. Le passage de  $P(\omega)$  à  $P(\lambda)$  pose des difficultés : on a souvent trouvé  $P(\omega)=P(\lambda)$  au lieu de  $P(\omega)d\omega=P(\lambda)d\lambda$ .  
Certains candidats ont, de nouveau, procédé à une analyse dimensionnelle pour trouver la réponse à cette question.
21. Cette question a été rarement réussie, les candidats trébuchant souvent sur les étapes successives.
22. De très rares bonnes réponses ont été proposées, conséquence de la difficulté à obtenir l'expression littérale précédente et d'une presque aversion pour les applications numériques.
23. Les candidats qui ont su s'immerger dans le sujet avec une compréhension correcte du phénomène ont proposé une réponse correcte.
24. Cette question inspire régulièrement de regrettables divisions par un vecteur...
25. Réponse souvent parachutée. On trouve régulièrement une vitesse de la lumière valant  $c.n$
26. La réponse était correcte quand les candidats ont obtenu les réponses aux trois questions précédentes.
27. Les réponses correctes à cette question ont été très rares. Les arguments de symétrie parfois proposés étaient très mal utilisés.
28. L'effet Doppler est régulièrement cité (les candidats assimilant une source d'onde en mouvement à de l'effet Doppler).