

Rapport du jury

Physique-modélisation PT 2026

Le sujet abordait une modélisation de la propagation d'ondes sonores dans les océans. Il comportait avec une partie physique (40% du barème) et une partie informatique, en lien avec le programme d'ITC et les aspects numériques (60% du barème) :

Remarques générales

Le sujet contenait de nombreuses questions relativement simples, permettant à des candidats de niveau moyen de valoriser leur bonne connaissance du cours. D'autres allaient progressivement vers plus de difficulté afin de départager les meilleures copies.

La présentation des copies est dans l'ensemble satisfaisante, avec des questions traitées dans l'ordre pour l'essentiel. Il est rappelé aux candidats d'éviter d'écrire avec des couleurs claires ou du crayon de papier, qui passent mal au scan.

La réussite des candidats à cette épreuve a été sensiblement équivalente aux années précédentes. Il est à noter que certains n'abordent quasiment pas la partie physique ou (plus rarement) la partie informatique, ce qui n'est jamais une bonne idée. Même si certaines copies sont très faibles, le jury note que les candidats sont dans l'ensemble bien préparés.

Rapport détaillé

Partie physique

La partie physique commençait par des considérations sur les forces de pression exercées sur un flotteur, abordait ensuite la propagation d'un «rayon sonore »mettant en jeu une loi analogue à la loi de la réfraction de l'optique géométrique et se terminait avec une suite de développements classiques sur la propagation d'une onde électromagnétique dans un conducteur.

1. Trop peu de candidats donnent l'expression vectorielle attendue, beaucoup donnent directement une projection avec parfois des erreurs de signe.
2. Question bien traitée, mais il manque assez souvent des précisions dans la rédaction.
3. Bien traitée également dans une majorité de copies, des erreurs surprenantes comme $f = \frac{p}{s}$.
4. L'application numérique nécessitait des conversions d'unités qui ont été sources d'erreurs.
5. L'idée que les forces se compensaient par symétrie a souvent été vue, les copies proposant une bonne rédaction ont été davantage récompensées.
6. Il fallait avoir compris que la résultante des forces de pression est la poussée d'Archimède.
7. L'analogie avec la loi de la réfraction a généralement été relevée.
8. Le schéma demandé est le plus souvent correct, les angles ne sont pas toujours bien indiqués.
9. L'idée est souvent là mais rarement bien rédigée. Mentionner une notion de récurrence ou de raisonnement «de proche en proche» était bienvenu.
10. Relation trigo dans un triangle rectangle, souvent correcte.
11. Question de calcul dépendant de la précédente, assez peu arrivent à la formule correcte.
12. Question calculatoire assez peu abordée.

13. Même chose mais plus souvent abordée, attention à expliquer un minimum les calculs effectués.
14. L'interprétation géométrique demandée est souvent imprécise et / ou fausse.
15. La plupart des candidats (mais pas tous) donnent correctement la relation $\vec{j} = \gamma \vec{E}$.
16. Cette question sur l'ordre de grandeur de la fréquence pour pouvoir négliger le courant de déplacement devant le courant de conduction a reçu des réponses correctes (n'allant pas toujours jusqu'à l'application numérique demandée) et d'autres mélangeant aléatoirement les lois de l'électromagnétisme.
17. Question très classique sur l'équation de propagation dans un conducteur en basse fréquence, les candidats ont visiblement été bien préparés, seules les copies les plus faibles n'y répondent pas.
18. Equation de dispersion souvent obtenue, la formulation des solutions manque généralement de rigueur.
19. Application de ce qui précède, formule et AN pour l'épaisseur de peau, plutôt bien traitée quand elle était abordée.
20. Facteur d'atténuation du champ électrique, là encore bien traitée quand ce qui précède avait été fait de manière cohérente.
21. Domaine d'une onde électromagnétique de fréquence 5.10^{14} Hz , globalement très mal traitée : les autres domaines gamma, X, UV, IR, ondes radio ont tous été cités, plus que le visible attendu ; sans parler des ondes sonores...
22. Assez peu de candidats relèvent que le fait qu'il fasse sombre sous l'eau est une bonne indication du fait que les ondes em visibles y sont fortement atténuées. De trop nombreuses réponses vagues qui n'apportent rien.

Partie informatique

La partie informatique était de niveau varié. Les bases du langage Python sont globalement maîtrisées — fonctions, listes, manipulation de tuples — de même que la traduction directe d'un schéma numérique en code.

En revanche, les algorithmes classiques (schéma d'Euler, dichotomie, calcul de distance euclidienne, algorithmes de tri) sont inégalement restitués : environ la moitié des candidats les implémentent sans erreur, l'autre moitié peine sur des détails pourtant essentiels tels que la condition d'arrêt ou les test de signe. Par ailleurs le choix des paramètres numériques — valeur du pas dans le schéma d'Euler, tolérance de la dichotomie — est rarement justifié, et le lien avec le phénomène physique modélisé peu exploité. La partie sur l'intelligence artificielle est globalement moins bien maîtrisée dans ses aspects techniques.

23. Le schéma d'Euler est bien connu dans l'ensemble.
24. Découle directement de la question précédente. Quelques candidats n'arrivent pas à traduire le schéma d'Euler en Python.
25. Il fallait avoir identifié a_0 comme l'angle initial du rayon sonore. 60 % de réussite.
26. Question mal traitée. Il était attendu que les candidats discutent la valeur du pas dx (comprise entre 10 et 1 000 m) afin que la discrétisation capture correctement les variations de la trajectoire, sans engendrer un temps de calcul excessif. On pouvait s'appuyer sur les simulations de rayons sonores.
27. Il était attendu de traduire l'effet des conditions aux limites sur la variable **direction** (changement de sens de propagation du rayon).

28. Il fallait faire attention au sens de propagation du rayon pour ne pas inverser c_1 et c_2 selon que le rayon monte ou descend.
29. Question mal traitée. La résolution reposait sur la trigonométrie dans un triangle rectangle et l'application de la loi de Snell-Descartes. Trop peu de candidats parviennent à exprimer simplement la longueur L_2 en fonction de h , c_1 , c_2 et θ_1 , en particulier dans le cas de la réfraction.
30. Démonstration de l'angle critique bien menée, avec les célérités correctement utilisées. Question bien traitée.
31. Fonction Python pour calculer l'angle critique.
32. Question bien traitée. Expression correcte de la condition d'un rayon transmis.
33. Question bien traitée lorsqu'elle est abordée. Il était attendu de reprendre l'expression de L_2 pour calculer les nouvelles coordonnées x_B et z_B du rayon sonore. Là encore, il fallait prendre en compte le sens de propagation du rayon via la variable `direction`.
34. Le sujet évoque le changement de direction en cas de réflexion totale, mais la variable `direction` est absente des arguments de la fonction. Question mal traitée. Le raisonnement est analogue à celui de la question précédente. Quelques candidats ont pensé à mettre à jour la variable `direction`.
35. Question peu abordée. Il fallait ajouter les nouvelles coordonnées aux listes `valeurs_x` et `valeurs_z`.
36. Question très peu traitée. Les points d'attention étaient l'initialisation des variables utiles au calcul du rayon sonore, ainsi que la boucle conditionnelle faisant appel aux fonctions définies précédemment.
37. Questions SQL bien traitées dans l'ensemble, même si certaines rédactions restent confuses.
38. Idem.
39. Fonction Python simple donnant la répartition de la célérité en fonction de la profondeur.
40. Dérivée de la fonction précédente. Il était attendu le calcul analytique de la dérivée, puis son implémentation en Python, qui sera utilisée dans la suite.
41. Question rarement traitée correctement, alors qu'il s'agit d'un algorithme classique. Des erreurs apparaissent sur la condition d'arrêt portant sur la taille de l'intervalle, ainsi que sur le test du signe de la fonction `dmunk`.
42. Question très peu réussie. La tolérance est de 20 m puisque l'on renvoie le milieu de l'intervalle final.
43. Question peu abordée. Il fallait d'abord calculer la profondeur du minimum de célérité par dichotomie, puis en déduire la valeur de la célérité via la fonction `munk`.
44. Question peu abordée et mal traitée. Le canal SOFAR agit comme un guide d'onde : les rayons sont piégés autour du minimum de célérité, situé vers 1300 m. Quelques candidats décrivent correctement le phénomène et établissent un parallèle pertinent avec la fibre optique.
45. Peu de candidats expliquent correctement le principe de classification par vote majoritaire des k plus proches voisins. Pour classer un nouveau point, on calcule sa distance à chacun des points de la base d'apprentissage (dont la classe est connue), on sélectionne les k points les plus proches, puis on attribue au nouveau point la classe majoritaire parmi ces k voisins.
46. Question peu abordée et mal traitée. L'utilisation d'un schéma est appréciée pour illustrer les cas extrêmes : k trop petit entraîne du surapprentissage (*overfitting*), k trop grand du sous-apprentissage (*underfitting*). Quelques candidats évoquent une valeur de k égale à $\sqrt{N}$, où N est la taille du jeu d'entraînement. On peut également préconiser un k impair afin d'éviter les égalités.
47. Question peu traitée. Le calcul de la distance euclidienne est bien réussi. Des erreurs apparaissent fréquemment pour extraire la fréquence et le niveau en dB depuis les tuples A et B.
48. Question peu abordée et mal traitée. Il fallait opérer sur les valeurs pour ensuite renvoyer les indices correspondants. On pouvait s'inspirer des algorithmes de tri classiques (tri à bulles, tri par sélection).

49. Question peu abordée et mal traitée. Il fallait exploiter la matrice de confusion pour quantifier les performances de l'algorithme. Il ne s'agissait pas de porter un jugement qualitatif sur ses performances.
50. Question peu abordée et mal traitée. Plusieurs pistes d'amélioration étaient envisageables : la normalisation des données (le niveau des fréquences domine ici celui des décibels), l'optimisation de k (par validation croisée, *cross-validation*), ou encore l'enrichissement des descripteurs.