

1/ REMARQUES GÉNÉRALES

Pour cette session 2022, le sujet soumis aux candidats abordait l'étude de différentes méthodes de mesure de la vitesse d'un fluide.

- La première partie s'intéressait au principe de l'anémomètre à plaque et de l'anémomètre à coupelles. Elle faisait essentiellement appel à des notions de mécanique du solide de première année : moment d'une force, rotation d'un solide autour d'un axe fixe.
- La seconde partie détaillait le principe de l'anémomètre à fil chaud et justifiait quelques-unes des hypothèses simplificatrices de l'étude (non prise en compte de la convection naturelle, uniformité de la température le long du fil). Les questions portaient sur des notions de conduction électrique, de diffusion thermique avec source interne et de mécanique des fluides.
- La troisième et dernière partie était consacrée à la vélocimétrie laser à franges : obtention de la figure d'interférences, résolution spatiale et détermination du sens de déplacement du fluide. Les notions abordées portaient essentiellement sur le programme d'optique de deuxième année.

Dans l'esprit qui préside à la rédaction des sujets de physique de la filière PC, l'énoncé ménageait une diversité de questionnement permettant à chaque candidat de montrer l'étendue de ses capacités : questions de cours, questions d'analyse physique qualitative, d'interprétation de documents et de graphiques, questions de mise en équation d'un modèle décrit par l'énoncé, questions calculatoires (mais sans recherche de virtuosité technique), questions de synthèse et de validation de la démarche menée, nécessitant de prendre du recul sur les résultats obtenus à l'issue d'une sous-partie. Enfin, une question plus ouverte (question 12) donnait l'occasion aux candidats de montrer leurs qualités d'appropriation d'une situation physique pour laquelle les mécanismes en jeu étaient à identifier.

À l'issue de la correction des copies, on peut affirmer que le sujet était de longueur adaptée, dans la mesure où la majorité des candidats l'a abordé en entier. Le fossé entre les meilleures et les plus mauvaises copies semble s'être élargi. D'un côté, certains candidats ont une maîtrise très satisfaisante des méthodes classiques utiles pour la physique et savent en outre faire preuve de qualités d'interprétation physique remarquables. De l'autre, des candidats ne connaissent pas les bases les plus élémentaires de leur cours et manquent de rigueur à tous les niveaux (erreurs de calcul, mélanges scalaires/vecteurs, homogénéité, voire confusion de symboles identiques utilisés dans des contextes complètement différents). La proportion de copies très faibles, où presque aucun point du barème n'a pu être attribué en dépit du nombre relativement important de questions abordées, est en augmentation.

La première partie a été très discriminante du fait qu'une fraction notable des candidats ne maîtrise ni la définition du moment d'une force, ni le sens physique qui lui est associé. Il semble que pour bien des candidats, toute question de mécanique est nécessairement une question de mécanique du point matériel, avec les méthodes afférentes. Reconnaître une situation de mécanique du solide paraît être une difficulté en soi. En outre, la seconde moitié de cette partie nécessitait l'analyse de quelques documents, ce qui a permis de distinguer les candidats capables de croiser les informations utiles de ceux qui s'en remettaient à leur imagination.

La seconde partie a mis en lumière les difficultés à mener convenablement un bilan énergétique local. Les erreurs dans le premier principe sont légion : attribution erronée des termes d'énergie interne et de

transferts thermiques, absence de distinction entre transfert reçu et cédé. L'écriture des flux thermiques sur un volume élémentaire et le passage à la limite pour faire apparaître une dérivée ne sont qu'occasionnellement justes, alors qu'il s'agit de compétences centrales du programme de seconde année.

La troisième partie a révélé des lacunes surprenantes dans la connaissance de notions de cours, telles que le caractère longitudinal ou transversal d'une onde, l'état de polarisation d'une onde électromagnétique, ou l'énergie et la quantité de mouvement d'un photon.

Si la lisibilité des copies et la mise en valeur des résultats finaux restent dans l'ensemble satisfaisants, il y a en revanche beaucoup à dire sur les défauts de construction d'un raisonnement clair et compréhensible, que ce raisonnement passe par des calculs, un schéma ou une réponse rédigée en français. Recensons ici quelques conseils inspirés par les difficultés qu'ont eues les correcteurs à suivre la démarche de nombreux candidats :

- Un calcul doit débiter par l'énoncé de la loi physique qui en est à l'origine (« On applique le théorème du moment cinétique à la plaque... », « Par le premier principe de la thermodynamique appliqué au fil ... ») et préciser les hypothèses permettant de progresser dans le calcul (« On se place en régime stationnaire... », « Comme on observe des interférences constructives... »).
- Les notations introduites dans l'énoncé doivent être respectées dans le calcul, et *a fortiori* dans le résultat final. S'il est nécessaire d'introduire une nouvelle grandeur, il faut la définir clairement, en toutes lettres ou sur un schéma, ou à défaut utiliser une notation suffisamment habituelle pour ne pas prêter à confusion. Attention également à distinguer nettement deux notations graphiquement voisines (par exemple la pression p et la masse volumique ρ).
- Les schémas doivent être tracés avec soin, en représentant précisément les droites parallèles et perpendiculaires sur lesquelles s'appuient un raisonnement géométrique. Donner un nom à certains points du schéma ou reporter certains angles permet d'explicitier où est appliquée une relation trigonométrique.
- Les réponses qualitatives doivent respecter un enchaînement logique allant des prémices à la conclusion. Les arguments doivent être invoqués juste au moment où ils sont nécessaires, et non pêle-mêle, ou au milieu d'autres considérations sans aucune utilité pour l'explication.
- Lorsqu'une réponse nécessite de s'appuyer sur un document ou un graphique, il faut extraire et mentionner l'information utile et uniquement celle-ci.
- Les questions appelant un commentaire physique nécessitent elles aussi d'être étayées, soit par confrontation aux informations de l'énoncé, soit à partir de la culture personnelle du candidat (connaissance des ordres de grandeur...).
- Enfin, il va sans dire que le respect des règles d'orthographe et de syntaxe participent à la clarté de la rédaction. Force est de constater que la maîtrise de la langue française n'est plus partagée par tous les candidats au concours, ce qui est pour le moins problématique lorsqu'on sait qu'il s'agit de futurs ingénieurs.

En sus de tous ces conseils, il est important de souligner que le barème attribue des points intermédiaires pour les étapes incontournables du raisonnement. Ainsi, les candidats qui ne se préoccupent pas de construire leur réponse se voient fortement pénalisés par rapport à ceux qui font cet effort, quand bien même leur résultat final serait faux. Ce seul élément suffit à expliquer une bonne part des notes les plus faibles attribuées cette année.

Certains résultats essentiels étaient donnés dans l'énoncé afin de permettre aux candidats qui n'étaient pas parvenus à les établir de traiter les questions suivantes. Bien que ce ne soit pas là leur objectif initial, ces résultats fournis révèlent souvent la probité intellectuelle des candidats. Les copies dans lesquelles les résultats sont obtenus au prix de contorsions mathématiques grossières sont hélas encore nombreuses ; à l'inverse, lorsque le candidat signale l'incohérence de son résultat, les correcteurs sont dans de bonnes dispositions pour pardonner une imprécision ou une ambiguïté de raisonnement dans la suite de la copie. Nous ne pouvons que vivement encourager les futurs candidats à adopter une telle attitude, congruente avec l'état d'esprit attendu de la part d'un scientifique.

2/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Q1. Question en général bien traitée. Quelques candidats omettent toutefois d'écrire le résultat dans les unités des grandeurs de base. Quelques autres pensent que \vec{U} est un vecteur unitaire, traduisant ainsi une dépendance linéaire de la force avec la vitesse.

Q2. Peu de candidats pensent à calculer le nombre de Reynolds. Évoquer des écoulements à « petite » ou « grande » vitesse sans comparaison à une référence ne signifie rien de précis. Certains candidats prétendent que la force est proportionnelle à U^2 car elle s'exerce sur une surface !

Q3. Question très classante. Les candidats qui utilisent le bras de levier sont ceux qui réussissent le mieux cette question : ils évitent en général les erreurs de calcul et de signe, et proposent une expression scalaire du moment, comme demandé dans l'énoncé. Très peu de candidats pensent à la réaction de l'axe dans le bilan des forces et la remplacent par une « tension de la tige », sans objet ici.

Q4. Question plutôt bien réussie lorsque le calcul des moments est correct. En se plaçant dans l'approximation des petits angles (acceptable à 8°), certains candidats se sont fait piéger dans l'application numérique avec un angle à l'équilibre laissé en degrés. Le commentaire final devait s'appuyer sur la vitesse « de l'ordre de quelques m.s^{-1} » indiquée dans l'énoncé. Les correcteurs ont été très surpris de la part non négligeable de candidats qui utilisent le principe fondamental de la dynamique pour tenter de résoudre cette question !

Q5. Encore une question très classante. Les erreurs les plus fréquentes portent sur l'orientation et la norme des forces des coupelles supérieures. La comparaison des normes devait être explicite.

Q6. Les réponses sont souvent cohérentes avec l'orientation des forces sur le schéma (même si celles-ci sont fausses dans l'absolu). En revanche, très peu de candidats comparent les moments en notant que les bras de levier sont égaux.

Q7. Question simple et pourtant peu réussie : les candidats ne pensent pas à évoquer le moment nul des forces, et parlent au contraire de nullité de la résultante des forces.

Q8. La définition d'un couple n'est que très rarement juste et complète. Bien que cela n'ait pas été sanctionné, signalons qu'un couple ne se réduit pas systématiquement à deux forces.

Q9. Question difficile et peu traitée, qui a permis de distinguer les qualités de sens physique des meilleurs candidats. La notion de vitesse relative, centrale dans l'explication, devait être discutée aussi bien pour les coupelles se déplaçant dans le sens du vent que pour les coupelles se déplaçant dans le sens opposé au vent.

Q10. Question assez souvent bien traitée, même s'il fallait impérativement parler des frottements solides (ou sur l'axe) pour obtenir les points. Les candidats évoquant les frottements de l'air ou le poids comme cause de la vitesse de démarrage laissent rêveurs sur leur compréhension physique du dispositif.

Q11. La réponse est parfois juste, mais sans aucune justification. Il fallait au moins mentionner le régime stationnaire pour justifier qu'on relevait la fréquence à couple aérodynamique nul sur le document 3.

Q12. Question ouverte très peu traitée cette année, du fait que peu de candidats ont identifié qu'un phénomène d'induction (et plus précisément de conversion électromécanique) était en jeu. L'appropriation de cette situation était difficile ; pour les prochaines sessions, les concepteurs veilleront à ce que les candidats aient un point d'entrée plus immédiat sur ce genre de questions afin d'entamer la construction de leur démarche. Rappelons qu'il est possible d'obtenir une bonne partie des points même si le raisonnement n'a pas abouti.

Q13. Une erreur d'énoncé s'était glissée dans cette question, car ρ_{Pt} désignait une résistivité, et non une conductivité. Le barème en a tenu compte, de telle sorte que les quelques candidats ayant interprété ρ_{Pt} comme une conductivité n'ont pas été pénalisés. Toutefois, la majorité des candidats ne connaît pas l'expression de la résistance d'un barreau cylindrique : nombre d'entre eux écrivent $R = \rho_{Pt}/\ell$, sans doute par homogénéité.

Q14. Beaucoup de manque de rigueur pour aboutir à la loi de King. Le premier principe et le régime stationnaire sont rarement évoqués. Le bilan est entaché d'erreurs de signe qui se compensent finalement. On voit souvent $dU = RI^2 dt$, ce qui traduit une incompréhension profonde des termes intervenant dans le premier principe. La surface latérale n'est pas toujours bien exprimée.

Q15. Question bien réussie.

- Q16.** Question bien réussie, même si quelques candidats conservent l'intensité dans leur résultat final.
- Q17.** Beaucoup de candidats évoquent à tort un manque de points de mesure à grande vitesse. L'idée générale a toutefois été bien comprise avec, dans certaines copies, des schémas de la courbe bienvenue montrant ΔU croître à grande vitesse pour un ΔE_f donné.
- Q18.** Question correctement traitée dans l'ensemble. Quelques confusions entre ρ_0 et ρ_f .
- Q19.** La loi des gaz parfaits avec des grandeurs intensives est très souvent correcte. Mais on frémit en lisant dans quelques copies : $1/T_0 - 1/T_f = 1/(T_0 - T_f)$!
- Q20.** Question qui a mené à beaucoup de calculs erronés car les candidats ont essayé de déduire la réponse à partir de la question suivante : cela a pu conduire à des raisonnements faux comme $d \ll \ell$ donc $\ell d^2 \simeq \ell$. L'expression du laplacien en coordonnées cartésiennes n'est pas connue de la majorité des candidats. L'estimation correcte en ordres de grandeur a de ce fait été très rare.
- Q21.** Réponses correctes dès que les résultats précédents ont été bien établis.
- Q22.** Réponses satisfaisantes le plus souvent, malgré quelques erreurs d'applications numériques et des unités farfelues ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{Pl}^{-1}$).
- Q23.** Censée guider les candidats dans le raisonnement, cette question a troublé bon nombre de candidats qui n'ont pas compris qu'on attendait uniquement l'expression du transfert thermique par conduction. On note beaucoup d'erreurs de signe, des surfaces de disques mal exprimées ou confondues avec la surface latérale. Les correcteurs attendent davantage de méthode sur ce genre de raisonnements, et surtout une meilleure compréhension du sens physique des grandeurs manipulées (vecteur densité de courant thermique, flux thermique, transfert thermique...).
- Q24.** Réponses justes dans beaucoup de copies.
- Q25.** Les défauts constatés à Q14 se retrouvent encore dans cette question. L'obtention des expressions de K_1 et K_2 n'est que très rarement juste. Il faut brièvement justifier le passage de T_f à θ_f .
- Q26.** Si on trouve fréquemment des raisonnements corrects, cette question classique a donné lieu à beaucoup d'erreurs élémentaires : oubli de la solution particulière, conditions initiales erronées ($\theta_f = T_0$ au lieu de $\theta_f = 0$), application des conditions initiales sur la seule solution homogène. Le résultat étant donné, certains candidats trafiquent leurs calculs pour essayer d'aboutir à la forme de l'énoncé.
- Q27.** On compare toujours un terme par rapport à un autre. Dire que ℓ_r est « très petit » ne suffit pas. Beaucoup de candidats donnent des explications trop vagues sur la signification de cette longueur de refroidissement.
- Q28.** Que d'erreurs sur cette question *a priori* élémentaire ! Les notions d'ondes transversales, longitudinales et de polarisation doivent impérativement être mieux comprises des candidats. Une réponse non justifiée ou mal justifiée ne pouvait être valorisée.
- Q29.** Question correctement traitée dans bon nombre de copies. Il est important de préciser les simplifications faites sur les valeurs moyennes afin de rendre les calculs plus explicites. Certains candidats ont choisi de passer par les champs complexes, ce qui était acceptable dès lors que la condition reliant les champs complexes à l'éclairement était explicitement écrite (ne pas oublier la partie réelle).
- Q30.** Question bien traitée quand les candidats pensent à projeter dans la base cartésienne les vecteurs d'onde \vec{k}_1 et \vec{k}_2 . Il n'y a aucune raison que \vec{OM} se réduise à $y \vec{u}_y$.
- Q31.** Résultat souvent correct bien qu'on ait parfois l'impression qu'il était trouvé plus par homogénéité que par une réelle compréhension du phénomène.
- Q32.** Des réponses correctes pour la majorité des candidats ayant abordé cette question.
- Q33.** Un raisonnement portant sur la diffraction du faisceau était attendu ici pour établir le lien entre w_0 et W_0 . Certains connaissaient la relation exacte, ce qui a naturellement été accepté. En revanche, l'expression de δ_x n'a été qu'exceptionnellement déterminée correctement, les raisonnements géométriques restant une difficulté majeure pour les candidats, faute d'un schéma adapté pour les étayer. Notons enfin qu'augmenter la résolution spatiale signifie qu'on cherche à diminuer δ_x et non le contraire.
- Q34.** Les candidats ont globalement bien compris les inconvénients liés à une très faible concentration. Pour le cas d'une trop forte concentration, les réponses, utilisant souvent un vocabulaire imprécis, étaient rarement convaincantes.

Q35. L'étendue des dispositifs cités a fait parfois sourire les correcteurs, mais révèle quand même une absence de recul sur leur utilité. Certaines réponses ambiguës n'ont pas été acceptées : « goniomètre », sans préciser « à réseau » ou « à prisme » ; « filtre » sans préciser « interférentiel » ou « de couleur ».

Q36. L'expression à obtenir semble être le résultat d'un processus aléatoire. Une moitié des candidats divise λ_0 par l'indice optique, l'autre moitié le multiplie.

Q37. Ce type de question nécessite une démarche rigoureuse, en particulier, il est nécessaire de faire un schéma qui fasse apparaître la différence de marche et qui soit justifiée par le théorème de Malus. L'indice optique a été souvent oublié.

Q38. Les candidats connaissant la relation de Planck-Einstein obtiennent les points de cette question.

Q39. La relation de de Broglie n'est pas connue de tous les candidats.

Q40. Question peu traitée, mais en général correctement.

Q41. Question très rarement traitée.

3/ CONCLUSION

Malgré des résultats globaux en baisse par rapport aux années précédentes, le sujet soumis aux candidats a permis un classement efficace de leur niveau en physique. Pour le concours CCINP, le prérequis est une bonne connaissance du cours et des méthodes élémentaires de résolution au cœur du programme des deux années de classes préparatoires. Il est important que les candidats souhaitant réussir à ce concours prennent du temps pour consolider ces fondamentaux, suffisants pour obtenir une note convenable.

Pour la session 2023, qui sera la première à évaluer les candidats sur le nouveau programme de CPGE, l'esprit et le format de l'épreuve resteront inchangés. En particulier, on n'y trouvera pas de questions relatives aux capacités numériques du programme de physique, celles-ci trouvant naturellement leur place dans l'épreuve de modélisation.