

1/ REMARQUES GÉNÉRALES

Pour cette session 2026, le sujet soumis aux candidats portait sur l'étude approfondie d'un dispositif expérimental ayant pour objectif de mesurer des forces à l'échelle nanométrique résultant de l'écoulement d'un fluide : l'appareil à force dynamique de surface (dSFA). Ce dernier permettait d'aborder de nombreux points du programme des deux années de classes préparatoires, tout en s'ancrant dans des problématiques de recherche contemporaines.

L'énoncé était progressif. La première partie, qui visait à comprendre comment la force d'intérêt était mesurée dans ce dispositif, reposait principalement sur des connaissances d'optique ondulatoire et de mécanique (oscillateurs forcés). Comportant beaucoup de questions de cours ou proches du cours, elle a permis de discriminer les candidats les plus sérieux, rigoureux et soigneux dans la rédaction. La seconde partie, qui visait à déterminer le déplacement relatif entre le plan et la sphère à l'origine du mouvement du fluide, conduisait à aborder des notions d'électrostatique puis de mécanique des fluides ; si la partie électrostatique restait assez classique, celle de mécanique des fluides augmentait peu à peu en difficulté, aussi bien du point de vue calculatoire que de la compréhension physique. Ces dernières questions ont affiné le classement des candidats les plus solides du concours. La troisième partie, beaucoup plus courte, visait à aborder succinctement quelques applications du dSFA. Bien que constituant une conclusion naturelle de l'étude conduite dans ce sujet, elle a été nettement moins traitée que les deux premières parties. On remarquera toutefois qu'elle a permis à quelques candidats moins à l'aise sur le début du sujet de montrer leurs capacités d'interprétation de graphiques et de résultats expérimentaux.

Sur la forme, la majorité des copies sont lisibles et convenablement présentées, récoltant la totalité des points dévolus au soin et à la présentation. Notons d'ailleurs qu'une copie qui fait bonne impression ne se limite pas à l'encadrement des résultats finaux : une écriture suffisamment grande, un espace laissé entre deux questions successives, des schémas convenablement légendés et tracés à la règle, des calculs aérés et sans ratures, sans termes barrés pour signaler une simplification à l'étape suivante, sont autant d'égards que le candidat manifeste envers le correcteur qui en est reconnaissant. Toutefois, malgré les avertissements des rapports précédents, il reste une fraction minoritaire de candidats qui estiment que tout l'effort de communication revient au correcteur, ce dernier étant – contractuellement ? – chargé de déchiffrer le message sibyllin qui apparaît sur la copie. Rappelons qu'il n'en est rien ; dans le cadre d'un concours, une écriture illisible et/ou une formulation incompréhensible en raison d'une syntaxe et d'une orthographe totalement déficientes ne feront pas l'objet d'investigations poussées et aboutiront toujours à n'attribuer aucun point à la question. Les candidats doivent prendre leurs responsabilités et savoir à quels risques ils s'exposent.

Sachant que le barème accordait beaucoup de points à la connaissance du cours, on aurait pu espérer des copies de meilleure qualité que la session précédente. Cela n'a cependant pas été vraiment le cas. Des parties entières du programme sont mal maîtrisées voire ignorées par beaucoup de candidats : c'était le cas notamment de l'interféromètre de Michelson ou de l'étude d'une résonance mécanique. On peut toutefois apprécier que la méthode du bilan local (Q30) et les notions d'électrostatique (recherche de la capacité d'un condensateur) ont eu plus de succès, bien que l'approche retenue dans ce problème

s'écarte un peu de la démonstration classique combinant l'étude du plan infini uniformément chargé au théorème de superposition.

Cet échec relatif dans le traitement des questions de cours interroge, et on ne saurait le réduire à une préparation insuffisante des candidats. Car en dehors de quelques situations de référence hautement balisées et répétées dans de nombreux contextes lors de la formation (bilan local, symétries/invariances, passage en notation complexe...) qui finissent par être restituées telles quelles et peuvent donner l'impression d'être comprises, la plupart des démonstrations qui permettent de construire le corpus de connaissances du programme semble, au fond, ne pas faire sens pour les candidats. Il en résulte que beaucoup d'entre eux n'en retiennent que des difficultés techniques, éventuellement une astuce de calcul, mais bien plus rarement la logique globale. Or ce que valorise le barème sur ce genre de questions, c'est la compréhension réelle des hypothèses et des étapes qui aboutissent au résultat, tout simplement parce que c'est là que se situe l'intérêt d'étudier et d'apprendre ces démonstrations, qui sont le substrat de nombreux autres raisonnements physiques qui s'en inspirent.

Illustrons ces propos sur la question 1 de l'énoncé, demandant de retrouver l'expression de la différence de marche d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air (compétence explicite du programme de PC). Nombre de candidats réduisent la question à un calcul plus ou moins alambiqué de distances pour retrouver la formule usuelle $\delta = 2e \cos i$. Or ce calcul n'était récompensé qu'à hauteur d'un tiers du barème. Un autre tiers était attribué au schéma de la lame d'air équivalente, à la construction des rayons, au positionnement de la source et du point d'observation à l'infini, tandis que le dernier tiers valorisait l'expression initiale de la différence de marche comme différence de chemins optiques entre la source et le point d'observation, ainsi que la mention du théorème de Malus combiné au principe de retour inverse de la lumière permettant de simplifier son expression et d'aboutir au calcul final.

C'est au prix d'une réelle appropriation de tous les raisonnements qui irriguent les programmes de PCSI et de PC que peuvent se construire des bases solides sur lesquelles les candidats pourront s'appuyer lors de leurs études futures en écoles d'ingénieurs. Nous les encourageons vivement à aborder leur formation dans cet esprit, sachant que la réussite à cette épreuve ne nécessite nullement d'aller au-delà de ces connaissances, dès lors qu'elles sont véritablement comprises, donc mobilisables à bon escient dans le contexte qui s'y prête.

En résumé, il est indispensable de soigner la rédaction des questions et raisonnements classiques pour obtenir une bonne voire très bonne note à cette épreuve. Soulignons au passage que certains candidats, par ailleurs capables d'aborder plusieurs questions subtiles du sujet, font preuve de laxisme dans la rédaction de questions réputées plus accessibles, et se retrouvent alors avec une note moyenne. Être astucieux ne dispense pas de poser un raisonnement avec la clarté et la rigueur qu'on attend d'un bon esprit scientifique.

Pour la première fois cette année, la calculatrice était interdite à l'épreuve de physique. Les applications numériques devaient donc être effectuées de tête et les résultats écrits avec des règles précisées dans la première page de l'énoncé. Ces règles n'ont pas toujours été bien respectées, nous espérons qu'elles le seront davantage lors des sessions ultérieures. En outre, les candidats doivent développer une méthode efficace de calcul : écrire chaque valeur numérique en écriture scientifique pour calculer séparément les sommes/différences des puissances de 10 d'une part, les produits de préfacteurs d'autre part. Sur ce dernier point, il est vivement recommandé d'effectuer des arrondis facilitant les opérations de tête ($\pi \simeq 3,14$, $6 \times 3 \simeq 20 \dots$). Ajoutons que le barème prévoit une tolérance assez large sur l'arrondi de la mantisse, un écart de plus ou moins une unité par rapport au résultat fourni par une calculatrice (voire plus si le calcul est difficile) étant considéré comme juste. Le barème tient compte du temps passé sur ces applications numériques en les valorisant davantage que si la calculatrice était autorisée. Cette dextérité n'est pas inutile à acquérir : un ingénieur est fréquemment amené à effectuer un « calcul de coin de table » pour s'assurer de la vraisemblance d'un résultat ou de la faisabilité d'une solution technique.

Les correcteurs soulignent enfin l'importance de bien lire l'énoncé, pour répondre à la question qui est posée et non à celle que les candidats auraient aimé qu'on leur pose ! Cela éviterait par exemple des

paraphrases (Q14 et Q16), des démonstrations hors sujet (théorème de Gauss utilisé en lieu et place de l'équation locale de Maxwell-Gauss à la Q23) ou une réponse stéréotypée ($D' \geq 4f'$ à la Q5). Lire l'énoncé, c'est aussi parfois tout simplement remarquer que lorsqu'un résultat est donné, on juge de la démonstration et non du résultat. Quand le calcul qui y mène semble simple, nombre de candidats cessent de réfléchir et donnent le résultat à l'issue d'étapes intermédiaires manifestement fausses (probablement à leur insu), alors qu'un peu d'attention leur aurait permis d'éviter l'écueil.

2/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Q1. Comme signalé dans les remarques générales, cette question de cours n'a pas obtenu le succès qu'elle aurait mérité. La mention du théorème de Malus combiné au principe de retour inverse de la lumière est rare. Le passage par les sources miroirs allège notablement le calcul de la différence de marche.

Q2. Des réponses souvent vagues et à rallonge. Le terme « égale inclinaison » est rarement expliqué de façon concise et convaincante. Certains évoquent l'absence d'interférences ou une figure d'interférence plus petite en l'absence de condenseur, alors qu'on observe juste une tâche lumineuse résultant de l'interférence pour l'incidence $i = 0$. Enfin, le « condenseur » est souvent renommé « condensateur » !

Q3. L'énoncé attendait ici la justification du fait que « faire rentrer les anneaux » permettait de se rapprocher du contact optique. Certains candidats ont interprété la question en se rapportant au fait que les anneaux apparaissent plus « gros » en se rapprochant du contact optique et ont eu la conclusion inverse (même si c'est en fait l'écart entre deux anneaux qui augmente). Quelle que soit la réponse retenue, il fallait la justifier : cela a été très rarement le cas alors que l'exploitation de l'ordre d'interférence en fonction de e et i , constant pour un anneau, suffisait à conclure rapidement.

Q4. En général bien réussie, même si certaines réponses $d = d_1 = d_2$ ont surpris les correcteurs.

Q5. La majorité des candidats n'a tout bonnement pas compris qu'il s'agissait ici d'appliquer la relation de conjugaison de Descartes entre les miroirs et l'écran. Pour ceux qui l'écrivent, les erreurs de signe sont fréquentes.

Q6. Le vocabulaire de « franges d'égale épaisseur » n'est pas assez connu. Le calcul de l'interfrange est souvent mieux réalisé, même si l'effet de grandissement n'est pas pris en compte.

Q7. Une bonne visualisation de la situation permet à la plupart des candidats qui abordent cette question d'y obtenir les points.

Q8. Cette question de cours était un peu délicate dans la mesure où il fallait définir les notations pour aboutir au résultat attendu. Beaucoup de candidats n'ont même pas essayé et se sont contentés d'admettre la formule de leur cours, ce qui n'a pas été valorisé. Le point le plus délicat a été l'écriture de la vibration lumineuse : parmi les erreurs les plus fréquentes, on a noté l'absence de dépendance temporelle ou des pulsations différentes pour les deux vibrations.

Q9. De nombreux oublis de la valeur absolue, ce qui n'empêche pas les candidats d'aboutir au bon résultat par la suite, sans doute par anticipation de la question suivante. Dans ce cas, aucun point n'a été attribué.

Q10. Plutôt bien réussie, mais des erreurs de signe sur les formules trigonométriques du type $\cos\left(\alpha \pm \frac{\pi}{2}\right)$.

Q11. De nombreuses confusions sur cette question. C'est la présence d'une boucle de rétroaction sur la borne inverseuse qui justifie le régime linéaire, et non l'affirmation $v_- = v_+$ qui en est la conséquence et pas la cause. Par ailleurs, de nombreux candidats écrivent $v_- = v_+ = 0$ sans mentionner la connexion à la masse, faisant probablement une confusion avec l'hypothèse $i_- = i_+ = 0$ issue de l'hypothèse d'ALI idéal.

Q12. Le plus souvent, le résultat est écrit sans aucune justification, pas même l'hypothèse d'ALI idéal impliquant $i_- = 0$.

Q13. Assez bien réussie. Quelques erreurs dans l'application numérique, bien qu'elle soit facile à poser.

Q14. L'objectif de cette question était de faire le lien entre le dispositif réel et sa modélisation. Les candidats évoquant la force de rappel du ressort pour $\vec{F}_r$ étaient donc hors sujet.

Q15. Question facile et bien réussie. Mais près d'un candidat sur dix n'y obtient malgré tout aucun point !

- Q16.** L'obtention de la fonction de transfert est en général correcte. Par contre, la signification physique de ω_0 et Q a été rarement précisée, tout particulièrement pour ω_0 qui est la pulsation des oscillations non amorties.
- Q17.** Seulement 63% de taux de réussite pour la prise de module d'un nombre complexe... Certains cherchent à multiplier par le conjugué, s'engageant dans des calculs dont ils ne parviennent pas à s'extraire.
- Q18.** Question très peu réussie. L'obtention d'une pulsation de résonance fait pourtant partie des compétences importantes du programme de première année. Outre les erreurs de calcul sur la dérivée, une fraction notable de candidats pense que la résonance s'obtient lorsque le dénominateur s'annule, et non lorsqu'il est minimal.
- Q19.** De fréquentes confusions entre fréquence et pulsation, qui se répercutent aussi dans le choix des unités. Très rares sont les candidats à avoir su mesurer graphiquement le facteur de qualité, et plus rares encore sont ceux à avoir justifié *a posteriori* qu'on pouvait prendre $\omega_r = \omega_0$ vu la grande valeur du facteur de qualité.
- Q20.** Les candidats n'analysent pas rigoureusement la situation décrite par l'énoncé. Ils affirment alors que la loi testée est $1/\omega_0^2 = m/k$, ignorant le rôle de la masse de lestage m_a .
- Q21.** Les exploitations graphiques posent décidément de nombreux problèmes aux candidats. Rares sont ceux qui ont estimé $|H_m|$ à 40 Hz sur la figure 6.
- Q22.** Sur cette question classique, on trouve heureusement de nombreux candidats qui rédigent correctement. Mais certaines erreurs perdurent d'année en année : pas de distinction entre les symétries et invariances des causes (ici la distribution de charges, qui doit être explicitement citée) et les conséquences sur le champ électrique. Attention également à ne pas généraliser à tout l'espace les propriétés d'un plan d'antisymétrie particulier.
- Q23.** Utiliser le théorème de Gauss dans cette question était non seulement hors sujet mais inutilement compliqué. Le fait que $\text{div } \vec{E} = 0$ n'implique pas en général que le champ est uniforme.
- Q24.** Dans cette question, les correcteurs ont été particulièrement attentifs à la rigueur dans l'intégration de la relation locale $\vec{E} = -\text{grad } V$. On ne peut pas écrire sans autre explication que $E = \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{U}{\ell}$.
- Q25.** Pas de problème pour cette question, lorsque les candidats connaissaient le volume d'un cylindre.
- Q26.** Bien réussie également, parfois un oubli du facteur 1/2 dans l'expression de l'énergie électrostatique du condensateur.
- Q27.** La rigueur de rédaction n'a pas été au rendez-vous. On attendait que le schéma du circuit figure sur la copie avec les conventions d'orientation choisies, afin de vérifier que les lois de l'électrocinétique écrites ensuite étaient correctes. Ces réflexes de base semblent manquer à beaucoup de candidats.
- Q28.** Aucun souci pour ceux qui avaient réussi les deux questions précédentes.
- Q29.** Certains candidats ont eu des difficultés avec la différentiation de f_{LC}^2 . L'application numérique nécessitait de l'attention mais était bien rémunérée. Toute valeur entre 1 et 10 pm était comptée juste.
- Q30.** Une question de cours bien traitée. Les différences se sont faites sur la rigueur de rédaction : faire apparaître clairement terme de variation temporelle et terme d'échange, ne pas se tromper sur les dépendances de chaque variable (t ou $t + dt$, x ou $x + dx$), ne pas mélanger grandeurs scalaires et vectorielles...
- Q31.** La plupart des candidats ont abordé correctement cette question. La définition de la dérivée particulière échappe à certains, de même que la définition d'un écoulement incompressible.
- Q32.** La formulation de la question appelait une démonstration qui nécessitait la mention explicite du théorème d'Ostrogradski. Invoquer un résultat de cours ne pouvait être admis ici.
- Q33.** De très nombreux candidats ont invoqué la nullité de la vitesse normale sur la paroi mobile.
- Q34.** Cette question était difficile et n'a été abordée que par les meilleurs candidats. L'application numérique pouvait cependant être faite en admettant le résultat, mais beaucoup ont fait des erreurs dans les puissances de 10.

Q35. Le nombre de Reynolds n'a pas toujours été bien écrit (oubli de la masse volumique) et les échelles caractéristiques devaient être explicitées (utiliser L ou V ne suffit pas ici). Que penser des candidats qui, suite à une erreur de calcul, ont trouvé un Reynolds très supérieur à 1 et qui ont conclu malgré tout que le terme convectif était négligeable ?

Q36. Travailler en ordres de grandeur n'est pas synonyme d'absence de rigueur ! On a vu pêle-mêle des divisions par des vecteurs, des applications numériques fausses qui conduisent quand même au résultat souhaité, des échelles temporelles qui se déduisent hardiment du rapport de l'échelle spatiale sur l'échelle de vitesse. Sachant que la réponse pouvait être facilement déduite de la question suivante, il était indispensable de construire un raisonnement irréfutable : c'est tout le contraire qui a été constaté.

Q37. Projeter l'équation de Navier-Stokes a constitué une première difficulté dans cette question, ne serait-ce que parce que la lecture des données du formulaire se faisait en deux étapes. La seconde difficulté était de justifier quels termes pouvaient être négligés dans le laplacien vectoriel. L'analyse en ordres de grandeur étant une méthode très fréquente en mécanique des fluides, nous encourageons les candidats à s'y exercer davantage.

Q38. Les candidats ont compris la raison du profil parabolique, mais ne l'ont pas toujours justifié en invoquant le fait que la pression ne dépendait pas de x , comme cela a pu être montré à la question précédente.

Q39. À ce stade de l'énoncé, seul un tiers des candidats a tenté de proposer des réponses, sans doute parce que la résolution demandait davantage d'autonomie. On a pu néanmoins apprécier des démonstrations très convaincantes dans les meilleures copies. La définition de la vitesse moyenne était à comprendre au sens spatial et non au sens temporel.

Q40. Certains candidats stratèges sont parvenus à se relancer dans cette question en comprenant que l'équation de Navier-Stokes et le résultat donné à la Q39 suffisaient à y répondre. Bien évidemment, les escroqueries de signe ont été sanctionnées.

Q41. Pour ceux qui ont abordé cette question, on a constaté l'oubli presque systématique de la résultante des forces de pression sur la partie externe de l'armature.

Q42. Question bien traitée par ceux qui l'ont abordée. Ils montrent ainsi qu'ils ont globalement compris le but de cette sous-partie.

Q43. Si ce n'est la subtilité sur son signe, l'expression à établir ne présentait pas de difficulté particulière. Mais la question a été très peu traitée.

Q44. Les quelques candidats ayant abordé cette question n'ont pas bien vu la remise en cause du modèle lorsque $h_0 \rightarrow 0$.

Q45. Nous félicitons les rares candidats qui sont parvenus à déterminer graphiquement la longueur de glissement !

3/ CONCLUSION

Le sujet de cette session 2026 a permis un classement tout à fait satisfaisant du niveau des candidats. Quelques copies remarquables ont été lues par les correcteurs, mais aussi un certain nombre de copies très faibles indiquant une profonde incompréhension des concepts abordés au cours de la formation en classes préparatoires. Entre les deux se situent de nombreuses copies moyennes dont les défauts ont été signalés dans ce rapport mais qui parviennent toutefois à tirer leur épingle du jeu.

Nous insistons encore une fois sur l'importance pour les candidats d'acquérir un socle de connaissances réellement structuré et assimilé, donc mobilisable dans un contexte légèrement différent de celui qui a permis son apprentissage. Nous avons parfaitement conscience de l'exigence d'une telle demande. Nous savons également que certains candidats cherchent à traiter le plus de questions possible, ce qui les amène parfois à délaisser la qualité de la rédaction. Même si cela peut en partie expliquer les constats effectués dans ce rapport, nous sommes persuadés qu'une marge de progrès importante existe, et nous invitons les candidats et leurs préparateurs à l'explorer en vue des prochaines sessions du concours.