

Banque PC inter-ENS – Session 2019**Rapport du jury relatif à l'épreuve d'oral de physique (CL)****• Écoles partageant cette épreuve :**

ENS PARIS-SACLAY, ENS DE LYON

• Coefficients (en pourcentage du total des coefficients de chaque concours) :

– ENS PARIS-SACLAY

* Option Physique : 20,34 %

* Option Chimie : 10,17 %

– ENS DE LYON : 10,53 %

• Membres du jury :

Angel ALASTUEY, Michael BERHANU, Étienne BRION, Nicolas GARNIER, Hervé GAYVALLET, Charles GRENIER, Sylvain JOUBAUD, Arnaud LE DIFFON, Jean-François ROCH, Nicolas TABERLET, Pierre VILLAIN.

1 Organisation et déroulement de l'épreuve.

La période des oraux de la banque PC inter-ENS s'est étendue sur quatre semaines, du lundi 17 juin au vendredi 12 juillet 2019. Cette épreuve orale de physique s'est déroulée dans les locaux de l'ENS PARIS-SACLAY (avenue du Président WILSON à Cachan).

5 L'épreuve comprend un exposé scientifique portant sur un thème de physique suivi de l'étude d'un problème. Pour un candidat, elle se déroule en trois étapes :

• Préparation, pendant une heure, en salle d'étude, d'un thème de physique en rapport avec les programmes PCSI et PC des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE). Le sujet du thème est remis au candidat à son arrivée (à l'heure de sa convocation). Durant cette phase, le candidat peut consulter les ouvrages¹ qui sont mis à sa disposition. En fin de préparation, un surveillant le conduit dans l'une des salles d'interrogation.

10 • Présentation du thème préparé (pendant une quinzaine de minutes) suivi d'échanges avec le jury. Vingt-cinq minutes sont consacrées à cette partie. Lors de la présentation, le jury peut demander des éclaircissements sur des points particuliers.

15 • Analyse, sans préparation préalable, d'un problème de physique. Le candidat est libre d'organiser ses phases de réflexion personnelle et d'échange avec le jury comme bon lui semble. Trente-cinq minutes sont dédiées à cet exercice.

Une calculatrice est fournie à chaque candidat en préparation. Les objectifs et modalités de l'épreuve sont précisés sur une fiche collée sur chacune des tables de préparation. Deux jurys interrogent, en parallèle, les candidats. Chaque jury est constitué de deux interrogateurs, chacun représentant l'une des deux écoles partenaires.

20 2 Éléments statistiques.

Sur les 310 candidats admissibles de la banque PC inter-ENS, 307 étaient attendus à cette épreuve et 257 (soit 83,71 %) s'y sont présentés. Parmi ces candidats présents 17,90 % sont des femmes et 82,10 % des hommes. Les notes attribuées sont comprises entre 2/20 et 20/20, autour d'une moyenne de 11,80 et selon un écart-type de 3,86. La figure (1) représente leur répartition relative, en pourcentage, par tranche de cinq points. Le niveau moyen des candidats est bon. La frange des très bons candidats atteint 21 %. Ces résultats témoignent que ces candidats sont très bien préparés aux concours et en particulier à cette épreuve d'oral.

1. Autour d'une centaine d'ouvrages des grandes collections, de première et seconde années de CPGE, complétés d'ouvrages plus généraux.

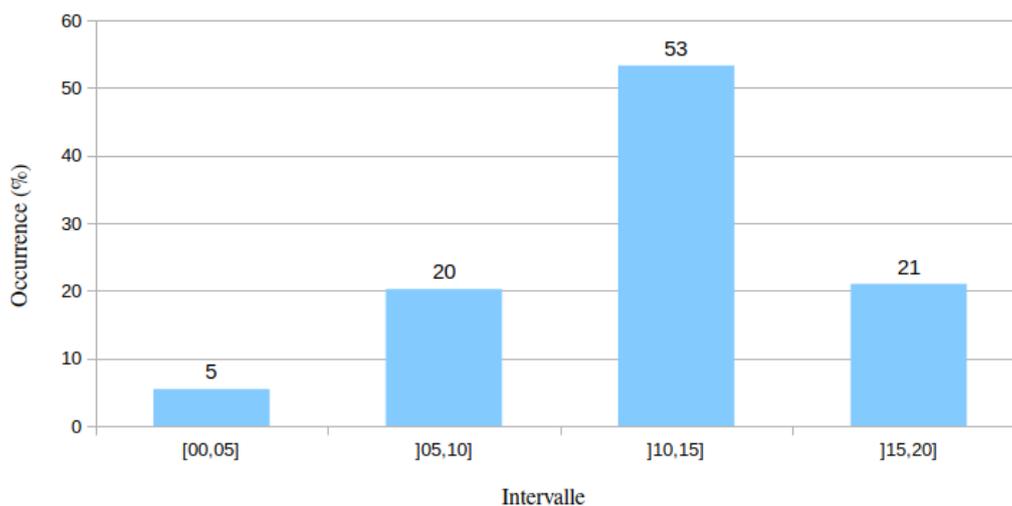


FIGURE 1 – Épreuve d’oral de physique du concours PC des ENS PARIS-SACLAY et ENS DE LYON : répartition relative, en pourcentage, des notes attribuées.

3 L’épreuve, les attentes et les critères d’évaluation du jury.

3.1 Le thème.

Rappelons tout d’abord que la présentation d’un thème **n’est pas** une “leçon” comme, apparemment, le pensent encore quelques candidats. La mise en place de ce format d’épreuve remonte à la session 2005, année depuis laquelle cette épreuve est devenue commune aux ENS de Cachan (à l’époque) et de Lyon. Ce n’est donc pas récent. Nous avons d’ailleurs constaté que ce contre-sens apparaît dans les pages d’un site web de centralisation et de mise en ligne d’exercices d’oral de concours. Il serait maintenant souhaitable que cette “actualisation” devienne effective dans l’esprit de l’ensemble des enseignants de CPGE, comme dans toutes les pages des sites faisant référence à cette épreuve. Un candidat y sera d’autant mieux préparé s’il en connaît les véritables modalités. Le cas échéant, cela lui évitera d’être dérouter lorsqu’il découvrira les véritables attentes du jury.

Notons à ce propos que, cette année, les candidats ont été soumis à une enquête anonyme. Avant leur entrée en salle de préparation il leur fut proposé de remplir un bref questionnaire à propos du site <https://banques-ecoles.fr/>. Il est apparu que, si près de 90 % d’entre eux connaissaient ce site d’information concernant les concours des ENS, moins de 50 % avaient lu le rapport de cette épreuve relatif à la session 2018 (ou à une session antérieure).

Le thème est un travail de réflexion reposant sur les programmes des deux années de CPGE. Le libellé de son sujet est généralement complété d’indications ou de questions orientant et délimitant son développement. Bien que les candidats disposent d’une base documentaire, il s’agit avant tout d’un travail d’analyse, de réflexion et de synthèse. Les exemples illustratifs choisis, même s’ils sont extraits directement des ouvrages proposés, ne doivent pas être affranchis d’une analyse critique. Il est difficile d’argumenter de façon convaincante un exemple mal compris. Penser enfin qu’une illustration, pour devenir véritablement éclairante, peut nécessiter une contextualisation appuyée éventuellement sur des ordres de grandeurs.

Nous rappelons, toujours avec la même insistance, que l’objectif de cette partie ne doit pas se limiter à la collecte d’extraits des ouvrages consultés puis à leur restitution. Il doit viser à construire un développement rigoureux inspiré par la problématique sous-tendant le thème. Après avoir identifié cette problématique et considéré tous ses aspects, il convient d’en dégager les points essentiels. Ne pas omettre de répondre à chacune des questions posées et d’évoquer les éventuelles limites de la portée de l’étude présentée. Les exemples choisis doivent permettre de mettre en relief son intérêt.

Les libellés des sujets de thème précisent que les exemples doivent être limités à un ou deux, il faut donc se tenir à cette consigne. Un exemple bien choisi, exploité et commenté vaut mieux que pléthore d’exemples survolés.

Les ordres de grandeur peuvent permettre de valider un modèle en le confrontant à la réalité. Ils peuvent également permettre d’établir une hiérarchie entre différents phénomènes collaborateurs ou concurrents. Dans tous les cas

il ne s'agit pas de donner rapidement quelques valeurs avant de passer à autre chose. Il est essentiel qu'ils soient contextualisés et que les résultats obtenus soient discutés.

60 Considérer une étude également sous l'angle expérimental, ou pratique, peut permettre d'en mieux percevoir les tenants et aboutissants, voire de faire apparaître les difficultés qu'elle soulève ainsi que ses limites². Une analyse physique détaillée permettra de faire émerger une modélisation du phénomène étudié et fixera, de façon naturelle, le cadre d'hypothèses qui lui est associé.

65 Sur le plan de l'organisation, il n'est pas utile de noter le plan de l'exposé au tableau. Le présenter oralement, et dans ses grandes lignes, est suffisant et permet de gagner du temps. Par ailleurs, il faut prévoir un plan réaliste, compatible avec le temps imparti à cette partie et donc en lien direct avec le thème à traiter.

70 À travers cet exercice le jury tente d'évaluer le niveau d'assimilation des concepts abordés, de compréhension des modèles étudiés, ainsi que de maîtrise des méthodes développées en CPGE. Soulignons une nouvelle fois que le jury demeure toujours plus sensible à une démarche construite sur les bases d'une argumentation physique qu'à un pur développement technique.

3.2 L'analyse de problème.

Après avoir soumis le problème au candidat, le jury lui laisse quelques minutes de réflexion. Il l'invite ensuite à lui faire part de ses premières idées puis à lui présenter la démarche qu'il envisage de suivre. Cette étape permet au jury de s'assurer que le candidat a compris le problème qui lui est soumis et qu'il l'aborde sur des bases exploitables. 75 Naturellement, les candidats ne doivent pas hésiter à demander des précisions si des points leur semblent encore obscurs.

L'exercice proposé n'est généralement pas d'un abord immédiat. Il s'agit donc d'abord d'identifier et de recenser les phénomènes susceptibles d'être mis en jeu. Une étude qualitative, éventuellement accompagnée d'une estimation d'ordres de grandeur, est parfois nécessaire pour délimiter ce recensement et identifier les phénomènes déterminants. 80 Cette étape d'analyse permet de définir le cadre (ou un cadre, si des options sont envisageables) de l'étude, elle est fondamentale et est d'ailleurs déjà l'occasion d'échanges avec le jury.

Les discussions portant sur les hypothèses, la modélisation, les situations limites et les ordres de grandeur sont toujours encouragées. Elles constituent les repères indispensables permettant de guider une étude ou d'orienter une démarche.

85 Lorsque cela devient nécessaire, le jury donne quelques indications aux candidats afin de leur permettre de surmonter une difficulté ou de les aider à aborder une nouvelle étape. La nature et la précision des ces indications dépendent, au cas par cas, de la situation et de la réactivité de chaque candidat.

L'évaluation des candidats porte sur leur esprit d'analyse, leur sens physique, leur rigueur et leur réactivité. Le jury les encourage donc toujours à faire preuve d'initiative et "à se lancer", même si les étapes ne sont encore qu'entrevues. 90 Retenons qu'une erreur peut devenir féconde si elle conduit à envisager un changement de cap, elle fait donc partie du processus de construction de la démarche scientifique. Au contraire, une attitude trop frileuse, en attente systématique des indications du jury pour oser un pas, ne correspond pas du tout à l'esprit de cette épreuve. À l'autre extrême, lancer des idées (voire même seulement évoquer quelques mots-clefs) sans réelle base de réflexion, en guettant une éventuelle réaction approuvative du jury n'est pas davantage dans le ton.

95 Rappelons encore que les études proposées ne permettent généralement pas d'obtenir un résultat totalement abouti, tout au moins dans le temps imparti. L'atteinte du résultat ne doit donc pas être considérée, ici, comme une fin en soi.

4 Quelques remarques et conseils.

Nous reprenons et complétons les éléments déjà exposés dans les précédents rapports et qui restent d'actualité.

2. Par exemple, dans l'étude de la réponse d'un milieu matériel, ou d'un système, à une excitation, il est indispensable de préciser quelles sont les grandeurs contrôlées par l'expérimentateur (par exemple la pulsation ω , alors réelle) et celles qui traduisent la réponse du système (par exemple $\vec{k}(\omega)$, alors susceptible d'être complexe). Dans l'étude d'un cycle thermodynamique, il est essentiel de s'interroger sur la façon de réaliser chacune des transformations et de situer les hypothèses adoptées en vue de leur modélisation par rapport à la réalité.

4.1 Remarques générales.

- 100 ● Gardons à l'esprit que cet exercice n'est pas une épreuve de vitesse mais d'analyse et de réflexion. L'objectif n'est donc pas de traiter le sujet proposé *in extenso* mais plutôt de progresser dans son étude avec méthode et rigueur. Il faut prendre le temps d'identifier et de caractériser les situations nouvelles ou de définir le cadre particulier d'un problème.
- 105 ● Le raisonnement physique doit toujours précéder les développements mathématiques. N'aborder un calcul qu'après avoir bien caractérisé le problème étudié et entrevu une voie de résolution.
- Un schéma permet de transcrire de façon synthétique un énoncé. Il aide à poser et paramétrer le problème. C'est souvent la toute première étape à envisager. Notons encore qu'un schéma, pour être utile, doit être clair. On évitera donc les dessins en perspective lorsque cela ne s'impose pas et l'on choisira alors la vue qui rend compte au mieux de la situation illustrée.
- 110 ● Une représentation graphique, même approximative, d'une dépendance d'une grandeur par rapport à une autre permet de mettre en relief ses caractéristiques et facilite son interprétation. Schémas et allures de fonction ne sont pourtant que rarement tracés spontanément par les candidats.
- Le paramétrage des problèmes est parfois maladroit. Cette étape est pourtant importante et mérite que l'on s'y attarde suffisamment. Là encore, elle s'appuie sur l'analyse physique. Les calculs sont plus aisés lorsque le choix des paramètres s'appuie sur les symétries du système.
- 115 ● Lorsque l'étude fait intervenir un champ scalaire ou vectoriel, les candidats ont généralement le bon réflexe d'étudier ses symétries et ses invariances. Par contre, tous ne transposent pas ces éventuelles propriétés en terme de conséquences techniques avec la possibilité d'accéder au champ par une équation intégrale plutôt que par une équation locale.
- 120 ● Toujours dans la phase de prise en main du problème, un bilan préliminaire des inconnues, puis des équations qui les lient, peut s'avérer utile. Il est exceptionnel qu'un candidat ait ce réflexe.
- Définir rigoureusement le système sur lequel va porter un calcul et sans omettre de caractériser précisément chacune de ses éventuelles interactions avec son environnement. Il peut d'ailleurs s'avérer utile de réfléchir à la façon dont ces interactions se concrétisent en pratique (cas d'une évolution thermodynamique, par exemple).
- 125 ● Cela permet notamment de situer la modélisation par rapport à la réalité et fixe ainsi naturellement ses limites.
- Ne pas perdre de vue que le domaine de validité d'un résultat est restreint par l'ensemble des hypothèses sur lequel repose la modélisation.
- Les ordres de grandeur et les applications numériques sont indispensables pour donner un sens concret à une étude. Notons toutefois que beaucoup d'ordres de grandeur n'ont aucun caractère universel et que certains peuvent varier sur une très large gamme (c'est notamment de le cas de la viscosité). Il est alors indispensable de préciser le cadre de l'illustration numérique proposée et de choisir avec discernement les valeurs adoptées.
- 130 ● Même lorsque le contexte s'y prête, et quelquefois de façon assez évidente, les approches énergétiques, ou intégrales, ne sont que rarement envisagées spontanément par les candidats.
- Une bonne maîtrise des outils mathématiques élémentaires est indispensable pour conduire sereinement la résolution d'un problème. En particulier, nous avons noté que la manipulation des relations trigonométriques, ou les calculs (même simples) de dérivation, pouvaient devenir, pour certains candidats, une étape handicapante.
- 135

4.2 Remarques portant sur des points particuliers.

- 140 ● À propos de l'équation de d'ALEMBERT : On ne peut décider, *a priori*, si la solution est de nature propagative ou stationnaire. La relation de dispersion, quadratique, indique qu'à la pulsation ω (considérée comme grandeur d'entrée) correspond $\pm k(\omega) = \pm \omega/c$ (en situation unidimensionnelle). La solution générale correspondant au mode ω est ainsi la superposition de deux ondes ($A^+; +k(\omega)$) et ($A^-; -k(\omega)$). C'est l'interaction entre le champ et les frontières (dont la source) du milieu propagatif qui sélectionne la solution³ et fixe le taux de stationnarité. Les conditions aux limites (et initiales, pour certaines situations, en particulier pour l'étude du régime transitoire) doivent donc être systématiquement associées à l'équation de d'ALEMBERT.

3. En situation unidimensionnelle, les conditions aux limites en $x = 0$ et $x = L$ permettent de déterminer les amplitudes complexes A^+ et A^- de chacune des ondes.

- 145 ● En ce qui concerne les approximations acoustiques, si les candidats ne manquent pas d'évoquer la condition d'adiabaticité de la perturbation, peu savent décrire comment les éventuels échanges de chaleur s'établissent. Très souvent, l'approximation est appuyée sur des grandeurs caractéristiques mais sans avoir préalablement précisé pourquoi, ni comment, elles intervenaient. La manipulation des grandeurs caractéristiques n'est envisageable qu'à l'issue d'une analyse physique détaillée. Ce n'est en aucun cas un moyen d'obtenir un résultat en
- 150 s'affranchissant de toute réflexion.
- Dans le domaine des interférences en optique où il apparaît des valeurs moyennes (sur le temps), peu de candidats pensent à préciser, d'abord qu'il s'agit d'une moyenne temporelle et ensuite que cette opération traduit une contrainte d'ordre technique. L'indication de la base de temps à considérer n'est que très rarement donnée. Ce point ne relève pourtant pas du détail, il se situe dans le champ direct de l'analyse physique de l'interaction du
- 155 phénomène ondulatoire avec le système de détection. Remarquons qu'en acoustique, où l'on se trouve ici techniquement en mesure de suivre le signal temporel (et où, par ailleurs, le problème de cohérence ne se pose pas), la problématique revêt des aspects différents, bien que l'on reste dans le domaine des ondes et des phénomènes qui s'y rapportent.
- Concernant l'équation de NAVIER-STOKES, son écriture adimensionnalisée et l'apparition du nombre de REYNOLDS : L'étape la plus importante est l'association, de façon pertinente, d'une grandeur caractéristique à certaines variables intervenant dans l'équation de NAVIER-STOKES. Elle ne peut être conduite dans l'absolu et doit se rapporter à une situation précise qu'il s'agit de définir préalablement (description du système et propriétés du fluide et de l'écoulement). Rappelons encore que la détermination des grandeurs caractéristiques découle d'une analyse physique, d'ailleurs pas toujours simple⁴, et ne se réduit pas à trouver des paramètres ayant la
- 160 bonne dimension. Par exemple, on notera que la longueur caractéristique de variation de la vitesse, pour un écoulement de POISEUILLE, est le rayon du tube alors que celle de la pression est sa longueur. Reconnaissons que ce n'est pas évident de *prime abord*.

Le terme $\rho \partial \vec{v} / \partial t$ est un terme d'inertionnarité, il n'est donc pas question de le représenter par la grandeur $\rho U / (L/U)$ (en supposant que U représente la norme de la vitesse de l'écoulement loin en amont d'un objet de

170 taille caractéristique L), comme cela est proposé dans certains ouvrages. L'inertionnarité est une caractéristique à part entière de l'écoulement. Elle peut avoir pour origine un forçage (écoulement pulsé contrôlé par l'extérieur, par exemple, comme ce serait le cas dans un rhéomètre à écoulement oscillant) ou résulter de la dynamique propre de l'écoulement (vidange d'un réservoir ou oscillation d'un fluide dans un tube en U). Elle peut encore être induite par la turbulence (analogie avec un oscillateur qui fixe alors son temps propre). Quoi qu'il en soit,

175 elle sera caractérisée par un temps τ qui permettra de construire la grandeur $\rho U / \tau$. Par exemple, dans le cas de la vidange d'un réservoir à travers un orifice, le temps τ serait le temps de vidange (connu d'ailleurs qu'à l'issue du calcul, ou de l'expérience...). Naturellement, il apparaîtra deux rapports sans dimension permettant, chacun, de comparer les conséquences dynamiques relatives de deux phénomènes : convection/diffusion et inertionnarité/diffusion.

180 Il est souvent préférable de ne pas adimensionnaliser la pression qui est le résultat de l'interaction entre l'écoulement et les parois (en quelque sorte, elle constitue la réponse du système au champ de vitesse). Ainsi, selon que l'on se situe dans les domaines contrôlés par la viscosité ou par l'inertie, la pression apparaîtra naturellement mise à l'échelle de ρU^2 ou de $\eta U / L$ (cette dernière conduisant à la force de STOKES caractéristique).

Cette dernière remarque permet notamment de souligner que si le coefficient de traînée (C_x) diverge dans la

185 limite $\mathcal{R}_e \rightarrow 0$ ce n'est en rien révélateur d'un comportement hydrodynamique singulier mais plutôt l'indication que la mise à l'échelle de la force de traînée par la grandeur $\rho L^2 U^2$ n'est plus adaptée. Dans cette limite, la grandeur d'échelle appropriée devient $\eta U / L \times L^2 = \eta L U$.

- En restant dans la même veine, ne pas confondre le terme "grandeur caractéristique", qui est une grandeur physique construite à partir des paramètres propres à l'étude, et le terme "ordre de grandeur", qui est une valeur
- 190 numérique.

4. Dans le cas général, le problème est tridimensionnel, on doit donc rechercher, ou construire, trois vitesses et trois longueurs caractéristiques...

5 Conclusion.

Nous avons pu encore apprécier le climat des échanges qui se sont établis entre les candidats et les interrogateurs lors de cette épreuve. Soulignons de nouveau que le niveau moyen des candidats est bon, ce qui ne peut être que le résultat d'un travail approfondi, méthodique et soutenu au cours des deux, ou trois, années de CPGE. Nous sommes conscients
195 que le thème est un exercice assez particulier. Il nécessite parfois un approfondissement ou une généralisation de notions pouvant être présentées de façon plus parcellaire dans le cadre des nouveaux programmes. Nous rendons donc hommage au travail des enseignants qui parviennent encore à assurer efficacement le relais entre le niveau de connaissances et de savoir-faire hérité de l'enseignement secondaire et celui qui reste exigé par les différents concours aux grandes écoles.

200 6 Perspectives pour la session 2020.

L'épreuve orale de physique de la session prochaine conservera la même forme que celle que nous venons de décrire. Elle comprendra donc :

- La présentation⁵ d'un thème de physique⁶ d'une durée de vingt-cinq minutes.
- Une analyse de problème d'une durée de trente-cinq minutes.

205 Les attentes et les critères d'évaluation du jury demeureront ceux exposés dans ce présent rapport.

Enfin, si les échéances sont respectées, cette épreuve devrait se dérouler, la session prochaine, sur le nouveau site de PARIS-SACLAY.

★ ★
★

5. Après une heure de préparation, avec sources documentaires disponibles et calculatrice fournie.

6. Sur la base des programmes PCSI et PC des deux années de CPGE.