

**Banque PC inter-Éns – Session 2021****Rapport du jury relatif à l'épreuve orale de physique (PS-L)****• Écoles partageant cette épreuve :**

ÉNS PARIS-SACLAY et ÉNS DE LYON

**• Coefficients (en pourcentage du total des coefficients, pour chaque concours) :**

– ÉNS PARIS-SACLAY

\* Option Physique : 20,34 %

\* Option Chimie : 10,17 %

– ÉNS DE LYON : 10,53 %

**• Membres du jury :**

Angel ALASTUEY, Étienne BRION, Nicolas GARNIER, Hervé GAYVALLET, Charles GRENIER, Sylvain JOUBAUD, Arnaud LE DIFFON, Pierre LIDON, Sébastien PAULIN, Nicolas TABERLET, Pierre VILLAIN.

---

**1 Organisation et déroulement de l'épreuve.**

Les épreuves orales de la banque PC inter-ÉNS se sont tenues du lundi 14 juin au samedi 10 juillet 2021 (quatre semaines). L'épreuve de physique PS-L s'est déroulée, pour la première fois<sup>1</sup>, sur le nouveau site de l'ÉNS PARIS-SACLAY (4 Avenue des Sciences, 91190 Gif sur Yvette).

5 L'épreuve comprend un travail de réflexion centré sur un thème bien délimité, suivi de l'étude d'un problème. Pour un candidat, elle se déroule en trois étapes :

• Prise de connaissance du sujet du thème qui lui est remis à son arrivée (heure de convocation). Préparation, en salle d'étude, pendant laquelle le candidat peut consulter les ouvrages qui sont mis à sa disposition<sup>2</sup>. Au bout d'une heure, un surveillant le conduit en salle d'interrogation.

10 • Présentation du thème préparé (pendant une quinzaine de minutes) suivie d'échanges avec le jury (pendant une dizaine de minutes). Selon la forme de la présentation ou la nature du thème, les phases de présentation et d'échanges peuvent ne plus être aussi clairement discernables l'une de l'autre<sup>3</sup>. Vingt-cinq minutes sont consacrées globalement à cette partie.

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.

Des calculatrices sont disponibles en salle de 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 Naturellement, en réponse à la situation pandémique traversée, toutes les mesures sanitaires recommandées en vue de limiter la propagation du Covid-19 ont été mise en oeuvre.

---

1. Les oraux de la session 2020 qui auraient dû, déjà, y être hébergés ont été finalement supprimés en raison de la pandémie due au Covid-19.

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

3. C'est notamment le cas lorsque le jury demande des éclaircissements sur des points particuliers.

## 2 Éléments statistiques.

- Sur les 333 candidats admissibles de la banque PC inter-Éns, 331 étaient attendus à cette épreuve et 247 (soit 74,62 %, pour 83,71 % à la dernière session d'oral (2019), donc en très nette baisse) s'y sont présentés. Parmi les candidats présents 19,84 % sont des femmes et 80,16 % des hommes. Les notes attribuées sont comprises entre 2/20 et 20/20, autour d'une moyenne de 12,17 et selon un écart-type de 3,64. La figure (1) représente leur répartition relative, en pourcentage, par tranche de quatre points. Il apparaît que la grande majorité des candidats est très bien préparée aux concours et en particulier à cette épreuve.

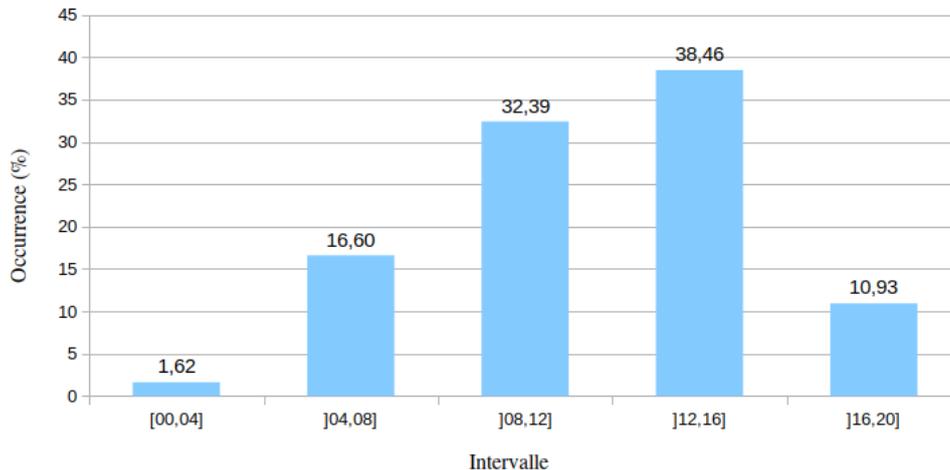


FIGURE 1 – Épreuve orale de physique du concours PC 2021 commune à l'ÉNS PARIS-SACLAY et l'ÉNS DE LYON : répartition relative, en pourcentage, des notes attribuées.

- Une enquête anonyme<sup>4</sup> révèle que 49 % des candidats y ayant répondu ont consulté le rapport de la session 2019 de cette épreuve. Concernant l'épreuve orale de chimie PS-L (épreuve jumelle, à travers une option, pour PS), ce pourcentage s'élève à 53 %. Rappelons que les rapports des épreuves, écrites comme orales, ainsi que les sujets des épreuves écrites, des banques inter-Éns sont accessibles sur le site internet <https://banques-ecoles.fr/>.

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

### 3.1 Le thème.

Même si cette remarque ne concerne maintenant plus qu'une faible minorité de candidats, rappelons que la présentation d'un thème n'est pas une "leçon". Il s'agit simplement de présenter un travail de réflexion argumenté et rigoureux, le fond prévalant sur la forme.

Le thème repose plus ou moins directement sur les programmes en vigueur des deux années de classe préparatoire aux grandes écoles (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. Un exemple illustratif, même s'il est extrait directement de l'un des ouvrages proposés, doit être préalablement analysé. Il est, en effet, difficile d'argumenter de façon convaincante un exemple mal compris. Enfin, une illustration ne devient véritablement éclairante que si elle est contextualisée et, dans la mesure du possible, étayée d'ordres de grandeur.

L'objectif de cette partie ne se limite pas à la collecte d'extraits d'ouvrages en vue de leur simple restitution lors de la présentation. Au contraire, il vise à construire un développement rigoureux, répondant à la

4. Sous la forme d'un bref questionnaire remis à chaque candidat avant son entrée en salle d'étude (n'empiétant donc pas sur la durée de préparation du thème).

problématique sous-tendant le thème, guidé par la bibliographie disponible. Après avoir bien identifié cette  
50 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 des thèmes précisent le nombre d'exemples à présenter. Il est limité à un ou à deux,  
sachant qu'un exemple bien choisi et bien exploité vaut mieux qu'une série d'exemples survolés.

55 Les ordres de grandeur permettent d'établir une hiérarchie entre les différents phénomènes recensés comme  
étant susceptibles d'intervenir dans une étude et, éventuellement, de délimiter le domaine de validité d'un  
modèle. Dans tous les cas, il ne s'agit pas de donner à la va-vite quelques valeurs "en l'air". Il est essentiel  
qu'elles soient contextualisées et que les conclusions qu'elles inspirent soient commentées.

Lorsque la situation s'y prête, envisager l'aspect expérimental permet souvent de mieux cerner une étude,  
60 notamment en mettant en relief les difficultés pratiques qu'elle soulève<sup>5</sup>. Cette réflexion, appuyée sur une  
analyse physique détaillée, permettra de construire un modèle du phénomène étudié et fixera, de façon  
naturelle, le cadre d'hypothèses qui le contraint.

Concernant l'organisation, il n'est pas indispensable de noter sur le tableau le plan de l'exposé. Le pré-  
senter oralement, dans ses grandes lignes, est suffisant (ce qui permet de gagner du temps). Par ailleurs, le  
65 développement de l'exposé doit rester compatible avec le temps qui lui est imparti.

À travers cet exercice le jury tente d'évaluer le niveau d'assimilation des concepts, de compréhension des  
modèles et méthodes, de maîtrise des techniques de calcul, abordés en CPGE. Soulignons encore que le  
jury demeure davantage sensible à une démarche construite sur une argumentation physique que sur un pur  
développement technique.

### 70 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. Naturellement, les candidats ne doivent pas hésiter à demander des précisions si  
75 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. Cette étape d'analyse permet de définir le cadre (ou un cadre, si des options sont  
80 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 des repères permettant d'éclairer une étude et d'orienter une  
démarche.

Lorsque cela devient nécessaire, le jury donne quelques indications aux candidats afin de leur permettre  
85 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 du candidat concerné.

L'évaluation des candidats porte sur leur esprit d'analyse, leur sens physique, leur rigueur et leur réacti-  
vité. Le jury les encourage donc toujours à faire preuve d'initiative et "à se lancer", même si les étapes ne  
sont encore qu'entrevues. Retenons qu'une erreur peut devenir féconde si elle conduit à envisager un chan-  
gement de cap, elle fait donc partie du processus de construction de la démarche scientifique. Au contraire,  
90 une attitude trop frileuse, en attente systématique des indications du jury pour oser un nouveau 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.

---

5. Par exemple, dans l'étude de la réponse d'un système ou d'une évolution thermodynamique, il faut s'interroger sur les  
variables qui sont contrôlées et comment elles peuvent l'être.

95 Soulignons que les études proposées ne permettent généralement pas d’obtenir un résultat totalement abouti, tout au moins dans le temps imparti. L’accès au résultat ne doit donc pas être considéré, ici, comme une fin en soi.

## 4 Quelques remarques et conseils.

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

### 4.1 Remarques générales.

- 105 • Gardons à l’esprit que cet exercice (thème et problème) 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, rigueur et esprit critique. Il faut prendre le temps de bien comprendre le problème, de définir clairement son cadre et d’identifier ses particularités.
- Le raisonnement physique doit toujours précéder les développements mathématiques. N’aborder un calcul qu’après avoir bien caractérisé le problème étudié et entrevu un cheminement envisageable vers sa résolution.
- 110 • Un schéma permet de transcrire de façon plus synthétique un énoncé. Il aide à bien poser et paramétrer le problème. Il constitue souvent la toute première étape. Notons encore qu’un schéma, pour être véritablement utile, doit rester clair. On évitera donc les dessins en perspective lorsque cela ne s’impose pas et l’on choisira la vue qui rend compte au mieux de la situation illustrée. Ce dernier point présuppose donc déjà une réflexion sur les propriétés du système étudié.
- 115 • Lorsque l’on représente les forces agissant sur un système, il faut veiller à placer correctement la droite qui porte chacune d’elles (ou de préciser leur “point d’application”). Cette donnée est indispensable pour être en mesure d’exprimer leur moment résultant. L’exemple d’un parallélogramme reposant sur un plan horizontal, à l’équilibre sous l’action de son poids, de la force qu’exerce sur lui le plan et d’une force horizontale imposée (dont on connaît donc le module et le point d’application) illustre cette remarque. C’est la condition d’équilibre en rotation du parallélogramme qui fixe la situation de la droite d’action portant la force qu’exerce sur lui le plan.
- 120 • La représentation graphique, même simplement qualitative, d’une dépendance d’une grandeur par rapport à une autre permet de mettre en relief ses caractéristiques et facilite donc son interprétation. Schémas et allures de fonction ne sont pourtant que rarement tracés spontanément (et correctement) par les candidats.
- 125 • 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.
- 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 sur la possibilité d’accéder au champ par une équation intégrale plutôt que par une équation locale.
- 130 • Dans la même idée, l’esquisse des lignes de champ ou des lignes isopotential du champ électrique, lorsque l’on sort des géométries de système très élémentaires, est devenu, pour certains candidats, un véritable problème. Il est difficile d’analyser correctement un problème d’électrostatique (en particulier) si l’on ne possède pas en tête ces cartographies.
- 135 • 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.
- Il est indispensable de définir rigoureusement le système sur lequel va porter un calcul, 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). Cela permet notamment de situer le cadre de la modélisation par rapport à la réalité et souligne ainsi naturellement ses limites.
- 140

- Ne pas perdre de vue que le domaine de validité d'un résultat est restreint par l'ensemble des hypothèses sur lequel s'est appuyée la modélisation.
- 145 • 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 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.
- 150 • 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. Certains candidats sont visiblement handicapés par leur manque d'aisance en mathématiques lors du tracé de fonctions, de la manipulation de relations trigonométriques ou de calculs de dérivation.
- 155

## 4.2 Remarques portant sur des points particuliers.

- 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  $\omega$  (considérée comme grandeur d'entrée) correspond  $\pm k(\omega) = \pm\omega/c$  (en situation unidimensionnelle). La solution générale correspondant au mode  $\omega$  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 solution<sup>6</sup> 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.
- 165 • 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 s'affranchissant de toute réflexion.
- 170 • Toujours dans le domaine acoustique, le passage des équations générales aux équations linéarisées est généralement très mal maîtrisé. Chacune des approximations acoustiques fixant le cadre de validité de la linéarisation doit être justifiée, à partir des équations générales. Annoncer d'emblée que  $X = X_0 + x$  où  $X = P, \rho, \dots$  et  $|x| \ll |X_0|$  n'est donc pas le bon point de départ. En particulier, si le terme convectif est négligé devant le terme instationnaire, dans l'équation d'EULER, ce n'est pas parce que "c'est un ordre deux" mais parce que l'on se place dans le cas où le module de la vitesse de la perturbation est très inférieur à la vitesse du son dans le milieu.
- 175 • 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 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.
- 180 • Le rôle de la lame compensatrice d'un interféromètre de MICHELSON est très mal connu. Elle permet que chacun des deux chemins optiques subisse le même effet de dispersion chromatique.
- 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
- 185
- 190

6. 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.

conduite dans l'absolu et doit se rapporter à une situation précise qu'il s'agit préalablement de caractériser (description du système, propriétés du fluide, celles de l'écoulement,...). Rappelons encore que la détermination des grandeurs caractéristiques découle d'une analyse physique, d'ailleurs pas toujours simple<sup>7</sup>, et ne se limite pas à trouver des paramètres ayant la 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'instationnarité, 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 taille caractéristique  $L$ ), comme cela est proposé dans certains ouvrages. L'instationnarité 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, elle sera caractérisée par un temps  $\tau$  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  $\tau$  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 instationnarité/diffusion.

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  $\rho U^2$  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 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 une "grandeur caractéristique", qui est une grandeur physique construite à partir de variables et de paramètres propres à l'étude, et un "ordre de grandeur", qui est un nombre (affecté d'une unité).

## 5 Conclusion.

Tout comme lors des sessions d'oral précédentes, nous avons apprécié le climat des échanges qui se sont établis entre les candidats et les interrogateurs. Soulignons de nouveau que le niveau moyen des candidats est bon, voire excellent pour certains. C'est naturellement le résultat d'un travail approfondi, méthodique et soutenu, autant de la part des étudiants que des enseignants.

Sur l'échantillon des candidats s'étant présenté à cette épreuve, nous n'avons pas décelé d'influence des mesures sanitaires, fort perturbantes, mises en place depuis le printemps 2020 pour lutter contre la propagation du Covid-19, sur le niveau de préparation des candidats.

La très nette décroissance, par rapport à la dernière session d'oral (2019), du taux de présence à cette épreuve (en particulier) est inquiétante. Espérons que cette tendance ne se confirmera pas l'an prochain.

---

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

