

**Banque PC inter-ENS – Session 2018**  
**Rapport relatif à l'épreuve orale de physique**

• **Écoles partageant cette épreuve :**

ENS PARIS-SACLAY, ENS DE LYON

• **Coefficients** (en pourcentage du total des points 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 18 juin au vendredi 13 juillet 2018. L'épreuve orale de physique s'est déroulée dans les locaux de l'École normale supérieure PARIS-SACLAY (avenue du Président WILSON à Cachan).

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

- Préparation, pendant une heure, en salle d'étude, d'un thème de physique en rapport direct avec le programme des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE). Le sujet du thème est remis au candidat à son arrivée (à l'heure de convocation). Durant cette phase, le candidat peut consulter les ouvrages<sup>1</sup> qui sont mis à sa disposition. En fin de préparation, un surveillant le conduit dans l'une des salles d'interrogation.
- 10 • Exposé du thème préparé (pendant une quinzaine de minutes) suivi d'échanges avec le jury. Vingt-cinq minutes sont consacrées à cette partie. Lors de l'exposé, le jury peut, occasionnellement, demander des précisions.
- 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.
- 15

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 331 candidats admissibles de la banque PC inter-ENS, 325 étaient attendus à cette épreuve et 268 (soit 82,46 %) s'y sont présentés. Les notes attribuées sont comprises entre 2,50/20 et 19,50/20, pour une moyenne de 11,54 et un écart-type de 3,99. La figure (1) représente leur répartition relative, par tranche de cinq points.

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

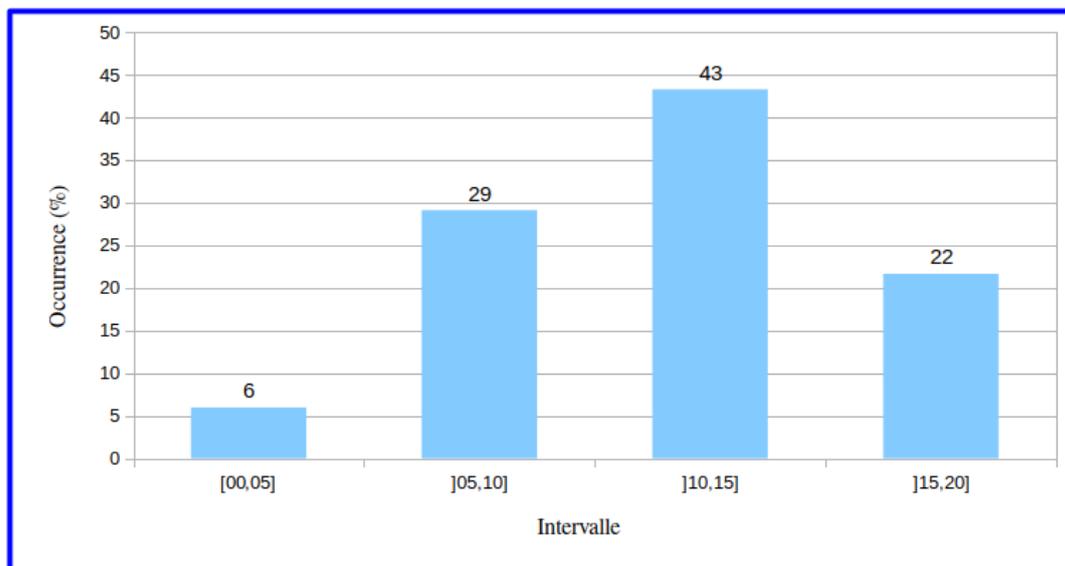


FIGURE 1 – Épreuve orale de physique du concours PC des ENS PARIS-SACLAY et ENS DE LYON : répartition relative des notes attribuées.

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

#### • Le thème.

Le thème est un travail de réflexion qui s'appuie directement sur le programme des deux années de CPGE. Son libellé est généralement complété d'indications ou de questions orientant et délimitant son développement. Bien que les candidats disposent d'une large base documentaire, il s'agit avant tout d'un travail d'analyse, de réflexion et de synthèse. Les exemples ou les applications, même (et surtout) s'ils sont extraits des ouvrages que les candidats ont pu consulter, ne doivent pas faire l'économie d'une analyse critique. Il est difficile d'argumenter de façon convaincante un exemple mal compris. S'il est restitué de mémoire du cours, dans ce cas encore, un travail de réflexion et éventuellement de recontextualisation reste nécessaire.

Nous rappelons avec insistance que l'objectif de cette partie ne se limite pas à la collecte, puis la restitution, d'extraits des ouvrages consultés. 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, éventuellement accompagnés d'ordres de grandeur, doivent illustrer de façon convaincante les enjeux du thème traité.

Les ordres de grandeur doivent être choisis en vue d'illustrer un exemple précis. Il ne s'agit pas d'un simple exercice de calcul ou de maniement de la calculatrice. Il est essentiel de s'appuyer sur les aspects concrets de l'étude.

Envisager l'étude sous l'angle expérimental, ou pratique, peut permettre d'en mieux percevoir les tenants et aboutissants, et cerner les difficultés et les limites<sup>2</sup>. 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.

En terme d'organisation, il n'est pas utile de noter le plan de l'exposé au tableau. Le présenter oralement, et dans ses grandes lignes, permet de gagner du temps.

Rappelons enfin que l'exposé d'un thème n'est pas une "leçon" comme, apparemment, le pensaient en-

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  $\omega$ , 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 de leur modélisation par rapport à la réalité.

50 core quelques candidats (certes, devenus maintenant plus rares). C'était effectivement le cas pour l'un des concours, dans un passé maintenant assez lointain, avant que les ENS de CACHAN et de LYON ne décident de mutualiser cette épreuve (première épreuve commune pour la session 2005). Si quelques enseignants nostalgiques ont encore ce format en tête une actualisation de leur vision de cette épreuve s'impose.

55 À travers cet exercice, le jury tente d'évaluer l'assimilation des concepts abordés, la compréhension des modèles étudiés, ainsi que la 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.

#### • L'analyse de problème.

60 Après avoir soumis le problème au candidat (le plus souvent directement au tableau), 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 bien compris le problème et qu'il l'aborde sur des bases exploitables. Naturellement, les candidats ne doivent pas hésiter à demander des précisions s'ils craignent d'avoir mal compris le problème qui leur est soumis.

65 L'exercice proposé n'est généralement pas d'un abord immédiat. Il faut d'abord 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 (ou le) phénomènes déterminants. Cette étape d'analyse détermine le cadre de l'étude, elle est très importante et est d'ailleurs déjà l'occasion d'échanges avec le jury.

70 Les remarques et discussions portant sur les hypothèses, la modélisation, les situations limites et les ordres de grandeur sont toujours bienvenues. Elles constituent autant de repères permettant de conduire de façon éclairée une étude.

Lorsque cela devient nécessaire, le jury donne quelques indications aux candidats pour leur permettre de surmonter une difficulté ou les aider à orienter leur démarche. La nature et la précision des ces indications dépend, au cas par cas, de la situation et de la réactivité de chaque candidat.

75 L'évaluation porte sur l'esprit d'analyse, le sens physique, la rigueur et la réactivité des candidats. Le jury encourage toujours ces derniers à faire preuve d'initiative et "à se lancer". Une erreur, si elle est décelée, peut permettre d'envisager un changement de cap et devient alors féconde. 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.

80 Rappelons encore que les exercices proposés 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, actualisons et complétons les éléments déjà exposés dans les précédents rapports.

### Remarques générales.

- 85 • Il faut garder à l'esprit que cette épreuve n'est pas une épreuve de vitesse mais d'analyse et de réflexion. La priorité n'est donc pas de traiter le sujet *in extenso* mais plutôt de traiter avec méthode et rigueur les points abordés. Il faut savoir identifier les situations nouvelles ou les particularités d'une étude.
- 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.
- 90 • Un schéma permet de transcrire de façon synthétique un énoncé. Il aide à poser et paramétrer le problème. C'est la toute première étape à envisager.

- 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. 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 ( $\vec{X}(\vec{r})$  ou  $X(\vec{r})$ ) 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.
- 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 chacune de ses éventuelles interactions avec son environnement. Il n'est d'ailleurs pas inutile de réfléchir à la façon de réaliser, sinon d'approcher, ces interactions en pratique (cas d'une évolution thermodynamique, par exemple). Cela permet notamment de mieux situer la modélisation par rapport à la réalité et ainsi de faire apparaître naturellement ses limites.
- Les ordres de grandeur et les applications numériques sont indispensables pour ancrer une étude au concret. Notons toutefois que beaucoup d'ordres de grandeur n'ont aucun caractère universel et peuvent varier sur une large gamme. Il est alors indispensable de préciser l'exemple illustré et de choisir avec discernement les valeurs adoptées.
- Même lorsque le contexte s'y prête de façon assez évidente, les approches énergétiques, ou intégrales, ne sont que rarement envisagées spontanément.
- Ne pas perdre de vue que le domaine de validité d'un résultat est restreint par l'ensemble des hypothèses qui a été adopté.
- 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 pouvait devenir, pour certains candidats, un problème à part entière.
- Les notions nouvelles, notamment les éléments de mécanique quantique, introduites dans les nouveaux programmes sont bien assimilées par la majeure partie des candidats. Ils savent généralement les faire intervenir à bon escient dans une étude. Par contre, nous avons noté que le passage de l'équation de SCHRÖDINGER générale à l'équation correspondant à un état d'énergie fixée n'était pas toujours très bien argumenté, voire compris.

### Remarques portant sur des points particuliers.

- Pour beaucoup de candidats, la densité volumique de charge dans un métal (ou un plasma) reste invariablement de valeur nulle. Ce n'est pourtant pas toujours le cas. En particulier lorsque le champ électrique est polarisé longitudinalement ( $\vec{k} // \vec{E}$ ), il est couplé à une onde de densité de charge. L'existence, ou non, d'une densité volumique de charge est totalement déterminée par l'interaction réciproque entre le milieu et le champ électromagnétique. Il ne s'agit pas d'une hypothèse de modélisation mais d'un élément de la réponse du système.
- 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>3</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.

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.

- 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.
- Dans le domaine des interférences en optique où il apparaît des valeurs moyennes ( $\langle \star \rangle$ ), peu de candidats pensent à préciser la raison de cette opération, ni qu'il s'agit d'une moyenne temporelle. L'indication de la base de temps à considérer n'est quasiment jamais donnée. Ce point est pourtant fondamental et se situe dans le champ direct de l'analyse physique. Remarquons qu'en acoustique, où l'on est ici en mesure de suivre le signal temporel (et où, par ailleurs, le problème de cohérence ne se pose pas), la problématique est fondamentalement différente bien que l'on reste dans le domaine des ondes.
- À propos de la diffraction, pour beaucoup de candidats, un réseau sinusoïdal (en transmission) éclairé par une onde plane  $(\vec{k}, \omega)$  ré-émet, à sa sortie, trois ondes planes : l'une selon l'axe de l'onde incidente, les deux autres symétriquement de part et d'autre de l'onde centrale (c'est l'une des conséquences dommageables de la tendance à la superficialisation des nouveaux programmes). Si l'on peut considérer, dans les grandes lignes, qu'il apparaît trois directions particulières de ré-émission, il faut conserver à l'esprit qu'il s'agit d'un effet collectif d'origine interférentielle.
- 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 simple<sup>4</sup>, et ne se réduit 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.

Le terme  $\rho \partial \vec{v} / \partial t$  est un terme d'inertie, 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'inertie 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 inertie/diffusion.

Il est souvent plus commode de ne pas adimensionnaliser la pression qui est le résultat de l'interaction écoulement-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  $\eta U / L$  (conduisant à la force de STOKES).

Cette dernière remarque permet notamment de noter 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 adéquate devient  $\eta L U$ .

- En restant dans la même veine, ne pas confondre "grandeur caractéristique", qui est une grandeur physique construite à partir des paramètres propres à l'étude, et "ordre de grandeur", qui est une valeur numérique.
- À propos de la première loi de JOULE : Elle est vérifiée par les gaz parfaits et traduit l'absence d'interaction entre les particules formant le gaz. Ainsi, son énergie interne ne dépend pas des distances entre les

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

particules, elle est donc indépendante du volume qu'il occupe (à température maintenue fixée). Pour les gaz réels, elle sera d'autant mieux vérifiée que la concentration particulaire est faible (distance moyenne inter particulaire grande devant la portée des interactions) et que la température est élevée (énergie cinétique moyenne dominant l'énergie d'interaction moyenne). Les propriétés des phases condensées sont elles, au contraire, étroitement liées aux interactions entre leurs constituants alors très proches<sup>5</sup>. Naturellement, si l'on comprime une telle phase, à température constante, elle emmagasine de l'énergie sous forme potentielle (énergie élastique). Comme la compressibilité de ces phases est généralement faible, dans les conditions courantes de variation de pression (par exemple dans un réacteur ouvert) les variations associées d'énergie élastique restent faibles (analogie avec l'énergie élastique d'un ressort à force imposée :  $E_k = (1/2)F^2/k$ ), comparativement à celles d'origine thermique. Cela a conduit certains auteurs d'ouvrages à conclure trop hâtivement que la première loi de JOULE reste applicable aux phases condensées. Il convient donc de ne pas confondre les aspects fondamentaux et les conditions pratiques particulières pour lesquelles l'influence des variations de pression sur le volume peut être négligée.

Comme lors des sessions d'oral passées, nous avons apprécié le climat des échanges qui s'est établi entre les candidats et les interrogateurs. Nous soulignons le bon niveau d'un nombre significatif de candidats, résultat d'un travail approfondi, méthodique et soutenu. Nous sommes conscients que le thème est un travail difficile demandant une préparation particulière. Il nécessite parfois un approfondissement, voire une remise en cause ou une généralisation, de notions pouvant être présentées de façon parcellaire, ou dans un cadre trop restreint, dans les nouveaux programmes. Nous rendons donc hommage au travail des enseignants qui parviennent à assurer le relai entre le niveau de connaissances et de savoir-faire hérité de l'enseignement secondaire, devenu assez superficiel, et celui qui reste exigé par différents concours.

## 5 Perspectives pour la session 2019.

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

- Un exposé de thème (en rapport avec les programme des deux années de CPGE) d'une durée de vingt-cinq minutes (après une heure de préparation, avec sources documentaires disponibles et calculatrice fournie).
- Une analyse de problème d'une durée de trente-cinq minutes.

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

\*   \*  
\*   \*

---

5. Par exemple, dans le cas d'un cristal, les ions vibrent autour de leur position moyenne. Son énergie interne possède une composante d'origine cinétique et une composante liée à l'interaction entre les ions. Dans le cas unidimensionnel, un atome vibrant possède deux degrés de liberté dans son espace des phase  $(x, p_x)$ . Dans l'approximation quadratique en énergie (modèle de l'oscillateur harmonique), on associe à chacun d'eux  $(1/2)k_B T$ .