

Banque PC Inter ENS - Session 2016

Épreuve orale de travaux pratiques de physique

ENS : PARIS – LYON – CACHAN

Durée : 4h

Coefficients :

Ulm : option physique 10.2%

Lyon : 7.5%.

Cachan : option physique 10.2% / option chimie 5.1%

Membres du jury :

Emmanuel Baudin, Delphine Chareyron, Aurélie Hourlier, Romain Lecaque, Xavier Michaut, Frédéric Moulin, Philippe Odier, Arnaud Raoux, Gilles Remy, Julien Salort, Benoît Semin, Romain Volk.

I. Déroulement de l'épreuve

L'épreuve de TP est une épreuve commune aux trois ENS. L'épreuve dure 4h et avait lieu pour cette session 2016 au département de physique de l'ENS Cachan. Le jury est composé d'examineurs nommés par les trois ENS et chaque candidat a été interrogé par un binôme d'examineurs provenant d'ENS différentes afin d'harmoniser au mieux les notations.

Les sujets proposés couvrent l'ensemble du programme de physique des deux années de classes préparatoires aux grandes écoles PCSI et PC. Ainsi, les problèmes portent sur des thèmes variés, qui peuvent éventuellement se recouvrir : électronique, optique, thermodynamique, électromagnétisme, mécanique, hydrodynamique... Les éventuelles parties qui ne feraient pas appel explicitement au programme sont présentées dans le sujet de manière à donner aux candidats toutes les informations et les bases nécessaires pour effectuer les mesures expérimentales et leurs analyses.

Les candidats sont d'abord tous accueillis dans une salle pour le tirage au sort de leur numéro de sujet et pour recevoir les consignes relatives au bon déroulement de l'épreuve. Il leur est

notamment indiqué qu'il est obligatoire de rendre un compte-rendu à la fin de l'épreuve et que les différents graphes ou courbes demandés se feront sur papier millimétré à disposition dans les salles. L'usage de la calculatrice est autorisé mais de manière raisonnée. Le compte-rendu demandé fait partie de l'épreuve et est indispensable à la notation. Il doit comporter les tableaux de mesures expérimentales, les graphiques que le candidat juge utile de tracer, les raisonnements scientifiques ainsi que le détail des mesures et des calculs qui doivent permettre aux examinateurs de comprendre les éventuelles erreurs (modélisation, calcul, raisonnement, mesures...) qui ont pu conduire à un résultat erroné. L'absence de graphique ou de tableau de mesures est pénalisante.

Après avoir reçu les consignes générales, les candidats tirent au sort un sujet et sont amenés dans les salles de travaux pratiques. Ils y découvrent leur sujet, et l'épreuve commence. Les candidats sont invités à lire l'énoncé en entier et à identifier le matériel à leur disposition sur la paillasse. Les questions sont volontairement succinctes : les candidats doivent pouvoir proposer des expériences mettant en évidence les phénomènes physiques proposés et disposent pour cela d'un choix de matériel et des modèles théoriques de base. Dès le début de l'épreuve, les binômes d'examineurs s'entretiennent avec les candidats pour présenter succinctement le sujet, le matériel mis à leur disposition, et si besoin, pour leur donner des explications et des consignes de sécurité. L'utilisation de matériel spécifique est bien sûr expliquée en détail. Durant les quatre heures d'épreuve, les examinateurs reviennent régulièrement pour discuter en détail des résultats avec chaque candidat et leur poser des questions afin de tester leur compréhension et leur démarche expérimentale.

II. Ce que le jury attend du candidat

Il s'agit donc d'une épreuve expérimentale où le candidat doit montrer sa capacité à mener à bien des expériences en suivant une démarche scientifique rigoureuse. Le jury observe le candidat manipuler, mesurer, analyser et commenter. Il juge aussi l'autonomie et la réactivité aux différentes questions.

Voici quelques points particuliers auxquels le jury accorde de l'importance lors de son évaluation :

L'énoncé guide le candidat dans la mise en évidence des phénomènes étudiés et dans leur interprétation. Cependant, le jury attend du candidat qu'il prenne des initiatives dans la conduite des expériences. Une grande liberté est ainsi laissée au candidat pour établir et mettre en œuvre le protocole expérimental qu'il juge adéquat.

Le jury donne parfois des indications complémentaires à l'oral. *Cela ne dispense pas le candidat de la lecture de l'énoncé.* Trop souvent, des candidats n'ont pas réussi à démarrer seuls, ou ont choisi des directions peu pertinentes, simplement parce qu'ils n'avaient pas lu celui-ci. Les énoncés sont courts, le plus souvent d'une ou deux pages. *Les indications qui y sont données sont essentielles* pour mener à bien l'épreuve. De même, une analyse attentive et pertinente du matériel et des indications données est une base nécessaire et précieuse avant de se lancer dans les expériences.

Les sujets proposés ne requièrent jamais d'analyse théorique poussée de la part du candidat, d'autant plus que celle-ci est parfois hors de leur portée. En revanche, dans des cas simples le jury attend du candidat qu'il soit capable d'effectuer une petite modélisation de l'expérience en justifiant les approximations effectuées et les limites du modèle utilisé. Le candidat doit être capable de faire un calcul rapide de quelques lignes lorsque cela s'avère nécessaire pour appréhender le problème à étudier.

Les candidats doivent s'adapter à la situation proposée. Certains candidats connaissent bien les TP-cours du programme. Cette connaissance est évidemment nécessaire pour aborder cette épreuve. Mais les candidats doivent prendre garde de *ne pas trop réagir par réflexe*, lorsqu'une expérience ressemble à un TP-cours ou à une expérience qu'ils auraient pu déjà rencontrer. Si certains points peuvent sembler connus, d'autres le seront forcément moins. Nous insistons à nouveau sur ce point. Plusieurs candidats se sont vus retrouver dans des impasses car ils voulaient à tout prix appliquer un raisonnement connu, et ce alors que les solutions étaient parfois beaucoup plus simples.

Le jury est sensible à l'effort pédagogique d'explication et de démonstration des résultats expérimentaux tant à l'oral qu'à l'écrit. Il s'agit avant tout d'une épreuve pratique : les candidats doivent en partie manipuler devant les examinateurs, et éviter de démonter les expériences sans que les examinateurs aient pu observer leur façon de procéder. Un compte-rendu propre et rédigé de façon claire est aussi un point positif. Il est aussi pertinent d'observer et de décrire qualitativement le phénomène avant d'effectuer les mesures quantitatives. Cette étape est malheureusement rarement réalisée, même lorsqu'elle est demandée explicitement.

Les mesures doivent être menées avec beaucoup de soin et les données brutes doivent aussi être reportées dans le compte-rendu sous forme de tableaux, accompagnées d'un schéma ou d'une description concise expliquant le protocole expérimental mis en place pour les obtenir. Les candidats analysent ensuite ces données et les confrontent à un modèle. Pour ce faire, le choix d'une représentation graphique appropriée est crucial : le candidat doit choisir judicieusement les échelles et combinaisons de paramètres à placer en abscisse et en ordonnée pour se ramener le plus souvent possible à une droite facilement reconnaissable et exploitable. Le choix de la gamme de mesure et du nombre de points de mesure est également important. Le nombre de points de mesure doit être suffisant, notamment dans le cadre d'un étalonnage.

Une mesure physique ne se conçoit qu'avec une estimation, plus ou moins grossière, de l'incertitude qui l'entache. L'estimation des incertitudes se fait en général en même temps que la mesure expérimentale. La mesure doit donc être effectuée dans les meilleures conditions possibles. Par exemple, augmenter une distance permet de diminuer l'incertitude relative sur la mesure de celle-ci. Il en est de même pour la taille d'une image optique, ou d'une figure d'interférence. Le jury apprécie que le candidat fasse une discussion critique des résultats obtenus, de la précision escomptée, de celle obtenue et de son amélioration possible. Il est notamment indispensable de faire preuve d'esprit critique lorsque l'ordre de grandeur des résultats obtenus semble irréaliste. D'autre part, le nombre de chiffres significatifs doit être cohérent avec l'estimation des incertitudes. Le jury a valorisé les rares candidats qui ont consulté les notices fournies (par exemple la notice d'un multimètre) pour évaluer les incertitudes lorsque cela était pertinent. Idéalement, les bornes

d'incertitudes liées aux mesures devraient être reportées sur les graphes expérimentaux. L'absence d'incertitudes dans le rapport est fortement pénalisée.

Les composants / éléments (résistances, capacités, focales, récipients de mesure...) ne doivent pas être pris au hasard. Le choix de leur valeur doit être réfléchi et argumenté en fonction de l'objectif. Les candidats doivent apprendre à tirer parti des indications inscrites sur les appareils de mesure. Le jury souhaite également que le candidat sache trouver rapidement les ordres de grandeurs relatifs à l'expérience.

Le matériel utilisé est conforme aux dernières normes de sécurité, mais il est toujours impératif de respecter les consignes de sécurité données par les encadrants.

III. Bilan de l'épreuve 2016

Mesures, acquisition, tracé de courbes, analyse et incertitudes

L'oscilloscope numérique

Le jury a été satisfait de constater une augmentation du nombre de candidats ayant une bonne maîtrise des fonctions de bases de l'oscilloscope numérique, maintenant utilisé systématiquement sur les expériences. Quelques points sont encore à améliorer : réglage des bases de temps et de tension, choix du couplage continu ou alternatif (modes <<DC>> et <<AC>>), réglage du déclenchement (<<trigger>>), utilisation éventuelle des modes marche/arrêt (<<Run/Stop>>), du mode monocoup (<<Single>>) ou du mode <<Roll>>, réglage de la sonde (<<Probe>>), calcul de la transformée de Fourier (<<FFT>>), addition ou soustraction de deux signaux, mode XY, mesures avec des curseurs ou affichage de mesures (tension, fréquence, phase,...) effectuées par l'oscilloscope. Il est attendu du candidat qu'il connaisse le principe de ces réglages, et qu'il pense à les utiliser lorsque cela est pertinent. Il dispose des indications des examinateurs et souvent d'une notice simplifiée pour déterminer comment mettre en œuvre ces réglages sur le modèle d'oscilloscope mis à sa disposition.

La touche « Autoset » de l'oscilloscope est souvent utilisée à l'aveugle. Cette touche a parfois pour effet de zoomer sur un signal parasite pseudo-périodique à très haute fréquence. Elle peut changer des paramètres dont les candidats ignorent l'existence, leur compliquant la tâche plutôt que de la simplifier. Il vaut mieux réfléchir à l'ordre de grandeur de la fréquence et de l'amplitude attendues et régler l'oscilloscope en conséquence. Toutefois, lorsqu'un candidat est complètement perdu dans les réglages de l'appareil, cette touche « Autoset » peut à défaut parfois s'avérer utile.

Les mesures sur un oscilloscope numérique peuvent bien sûr se faire en automatique, mais il est souvent préférable d'utiliser les curseurs manuellement afin de contrôler la mesure et d'évaluer au mieux les incertitudes. Faire apparaître un signal occupant au maximum l'écran de l'oscilloscope avec un bon réglage des calibres en temps et en tension, ainsi que placer les curseurs au bon endroit est à coup sûr un gage de précision.

Le multimètre

Bien qu'utilisé depuis très longtemps le multimètre pose encore parfois quelques problèmes. Par exemple le choix du mode AC ou DC ainsi que les impédances associées aux mesures de courant et de tension sont assez floues dans l'esprit de certains. Les candidats doivent, entre autre, comprendre pourquoi les deux bornes d'un ampèremètre ne doivent pas être connectées directement à une source de tension. Ces instruments sont des instruments de base et leur utilisation, au même titre que celle de l'oscilloscope, doit être maîtrisée. Nous avons encore vu cette année des ampèremètres branchés en parallèle et des voltmètres en série ! Dans un souci d'optimisation de la précision, il faut aussi penser à adapter le calibre utilisé sur certains appareils.

Cartes d'acquisition, logiciels

L'acquisition et le traitement numérique des données font maintenant partie intégrante de la panoplie du physicien. Pour autant, le jury n'attend pas du candidat la connaissance détaillée de tel ou tel interface ou logiciel, mais plutôt, un choix raisonné des paramètres de mesure (nombre de points, fréquence d'échantillonnage, seuil de déclenchement ...). L'utilisation de cartes d'acquisitions ou de logiciels spécifiques est toujours accompagnée d'une notice et expliquée au candidat par le jury. Cette année, l'utilisation et l'écriture de courts programmes en Python a été demandé à certains candidats afin de modéliser telle ou telle partie d'expérience. Le jury a concentré son évaluation sur la capacité du candidat à comprendre l'algorithme et à faire le lien entre les résultats numériques et les quantités physiques dimensionnées. En revanche les compétences en programmation Python ne sont pas prises en compte dans l'évaluation (une aide a été proposée mais aucun candidat n'en a eu l'utilité). Dans l'esprit des nouveaux programmes, cette utilisation des outils informatiques continuera à être développée au cours des prochaines sessions.

Tracé de courbes, analyse et incertitudes

Lorsqu'il est demandé au candidat de vérifier une loi, le jury apprécie que le candidat trace une courbe plutôt que de vérifier la validité de la loi pour un point expérimental seulement.

Les candidats peuvent utiliser leur calculatrice pour effectuer des régressions linéaires, mais ils doivent impérativement tracer des courbes sur papier millimétré (fourni). Dans certains comptes rendus, les axes de ces courbes ne sont pas indiqués, ce qui n'est pas acceptable. De plus, il est souhaitable d'utiliser au maximum la feuille. Sur certains tracés, les points obtenus sont tassés sur un cinquième de la page. Tous les points semblent alors s'aligner sur une droite et le candidat peut conclure à tort que la grandeur étudiée varie linéairement sur la plage tracée. Lorsqu'une courbe présente une abrupte rupture de pente, il est souhaitable d'augmenter le nombre de points autour de cette zone. Certains candidats utilisent leur calculatrice pour calculer le coefficient de corrélation

d'un ajustement linéaire avant même d'avoir visualisé sous forme graphique l'allure de la courbe de mesure. Rappelons, d'ailleurs, que ce coefficient n'est pas toujours pertinent pour estimer la validité d'une régression linéaire. De plus, la modélisation linéaire n'est parfois valable que dans un intervalle de mesure restreint. Peu de candidats estiment l'incertitude sur les points mesurés. Le jury n'attend aucun développement compliqué autour du calcul des incertitudes mais juste une estimation (à partir de l'incertitude de lecture sur un point, par exemple) qui permet de déterminer si l'ajustement est satisfaisant. Par ailleurs, lorsqu'une quantité est mesurée de manière répétitive, le jury attend du candidat qu'il évalue correctement l'incertitude de type A (de répétabilité).

Lorsque différents appareils de mesure sont présents sur la paillasse, il est judicieux de choisir le plus précis. Il ne faut pas hésiter à prendre du recul sur la notion de précision d'une mesure : on n'attendra pas qu'une plaque chauffante soit stabilisée à la dizaine de mK près pour entamer une mesure autour de 500 K, même si le thermomètre utilisé est précis à ce point. Il faut bien faire la différence entre une incertitude absolue, qui très souvent n'est pas modifiable et est inhérente à l'expérience et aux appareils de mesures, et l'incertitude relative que l'on se doit de réduire au maximum en mesurant par exemple sur une distance plus grande ou en prenant un nombre de périodes plus important.

Électricité-Électronique

Il est vivement conseillé aux candidats de faire un schéma des circuits électriques avant de les réaliser. Cela permet de détecter plus facilement des erreurs de conception ou de câblage. Par ailleurs, ce support facilite leur réflexion et les échanges avec le jury. Beaucoup de candidats interrogés sur des sujets d'électronique mesurent une résistance à l'ohmmètre en laissant cette résistance connectée au reste du circuit et avec un générateur allumé. Quelques questions, pour inciter les candidats à revenir sur ce choix, ont révélé que certains d'entre-eux n'ont aucune idée du principe de fonctionnement d'un ohmmètre.

Les ordres de grandeurs (Résistance, Capacité, Inductance) des valeurs des composants usuels sont mal maîtrisés.

Avant de câbler une résistance ou une bobine dans un circuit, il faut s'assurer que l'on ne risque pas de l'endommager. Par exemple, lorsqu'il est explicitement indiqué sur une boîte de résistance de 100 Ω qu'elle ne doit pas être traversée par une intensité supérieure à 75 mA, il ne faut pas soumettre cette boîte, réglée sur la valeur 100 Ω , à une différence de potentiel de 25 V (puisque cela implique qu'elle soit traversée par 250 mA).

Les notions de terre et de masse sont très souvent sujettes à confusion: certains affirment que la masse et la terre sont la même chose, d'autres pensent qu'un circuit électrique doit nécessairement être relié à la terre. De nombreux courts-circuits classiques de masse sont observés.

Lorsqu'il s'agit de mesurer une intensité ou une tension de manière précise, le multimètre est l'outil adapté. Par exemple, pour connaître précisément la valeur de la tension délivrée par une

alimentation stabilisée, il est recommandé d'utiliser un multimètre plutôt que de lire l'affichage de la tension sur l'alimentation.

Le lien entre l'impédance et son module est souvent flou pour un certain nombre de candidats, ainsi que la pertinence de mesurer ou non un déphasage. Un grand nombre de candidats n'est d'ailleurs pas capable de mesurer le déphasage entre deux signaux, lorsque cette fonction n'est pas directement assurée par l'oscilloscope, et lorsqu'elle est effectuée, la majorité des candidats ne font pas attention à son signe. Il est aussi étonnant de voir que certains étudiants rechignent à tracer un diagramme de Bode alors que cela est demandé dans le sujet.

Enfin, le jury a été agréablement surpris de constater que la notion de détection synchrone, nouvelle dans le programme, est bien assimilée par la majorité des candidats.

Mécanique et mécanique des fluides

Le jury souhaite que les candidats apportent un soin particulier à l'agencement expérimental (orientation des éléments, fixation, verticalité, ...), en particulier lors de la mise en œuvre de mesures simples utilisant des règles ou des sondes mesurant des grandeurs vectorielles. De manière générale, les montages de mécanique et d'hydrodynamique demandent du soin et une analyse approfondie des sources d'erreur systématiques. Le jury est sensible au sens pratique du candidat : par exemple, il est préférable qu'un pendule pesant soit fermement fixé à un support massif et un support vertical peut être utile pour la mesure d'une hauteur au régllet, etc. De manière générale, le jury constate que beaucoup de candidats considèrent que la conception du montage est terminée dès lors que les premiers résultats qualitatifs sont observés. Quelques très bons candidats sont spontanément revenus sur leurs choix initiaux pour proposer ou réaliser des montages plus réussis.

Beaucoup de candidats ne sont pas capables de donner une fréquence approximative grossière d'un système oscillant alors que le dispositif est monté devant eux. Par ailleurs, une partie des candidats ne comprennent pas le lien qu'il y a entre le régime d'oscillation forcé d'un système linéaire et sa réponse libre à une excitation initiale. Pourtant, une estimation préalable de la gamme de fréquence à explorer pour la recherche d'une résonance facilite beaucoup son observation.

Optique

Le jury rappelle que pour réaliser une expérience d'optique satisfaisante, qu'il s'agisse d'optique géométrique ou ondulatoire, il est essentiel de soigner l'alignement et le centrage des différents éléments. Il faut notamment faire passer les faisceaux lumineux par le centre des lentilles pour respecter les conditions de Gauss.

Lors de mesures avec des détecteurs optiques, il faut faire attention à ne pas déplacer les éléments optiques au cours des mesures si cela conduit à des variations non voulues du signal mesuré.

La réalisation de montages d'optique géométrique simples pose de nombreux problèmes, notamment en ce qui concerne le choix de la focale et de la position d'une lentille servant à projeter l'image d'un objet réel. Nous invitons les futurs candidats à s'entraîner de manière systématique sur ce point, en cherchant par exemple, pour de nombreuses distances objet-écran, à obtenir l'image d'un objet réel (en ayant à choisir eux-même la lentille utilisée pour cela). La condition $D > 4f$ pour réaliser l'image d'un objet sur un écran n'est pas toujours connue. Rappelons que l'optique géométrique ne se limite pas à l'observation au plan focal d'une lentille. Le calcul d'un grandissement pose parfois problème.

Le vocabulaire choisi doit être précis: un foyer et une distance focale sont deux choses différentes.

Les candidats maîtrisent en général mal le cours et l'utilisation des lames demi-onde et quart-d'onde et toutes les lames à retard ne sont pas nécessairement demi-onde ou quart d'onde.

Les différents éléments d'un interféromètre de Michelson sont bien connus, mais son réglage est souvent laborieux. Les conditions d'observation en optique, qu'il s'agisse de celles de Gauss ou de Fraunhofer sont énoncées à moitié. Le fonctionnement des sources lumineuses ainsi que les caractéristiques pratiques associées (spectres, longueurs de cohérence, ...) sont globalement maîtrisées; en revanche, l'intérêt d'un condenseur est souvent un mystère.

L'obtention du spectre d'une source lumineuse à l'aide d'un montage simple comprenant une fente, une lentille et un réseau a posé des difficultés à de nombreux candidats. Il s'agit d'un montage qui demande du soin et de la précision dans le positionnement des différents éléments. Il faut connaître le rôle de la largeur de la fente et optimiser le choix du pas du réseau. Les spectres sont obtenus dans les conditions de diffraction de Fraunhofer : cela signifie en particulier que si l'on enlève l'élément diffractant (le réseau), l'image de la fente sur l'écran doit être nette.

Thermodynamique

Les candidats doivent savoir utiliser les thermomètres à capteur infrarouge. Ils doivent être conscients que ces thermomètres mesurent une température de surface (si le coefficient d'émissivité a été bien choisi) sur une zone dont l'extension spatiale dépend de la distance entre le capteur et l'objet. Il faut donc choisir la position du thermomètre par rapport à l'objet pour mesurer la température de la zone pertinente, et en particulier pour ne pas mesurer la température d'un autre objet.

Remarques générales

Pour cette session 2016 des concours d'entrée, le jury a sélectionné des sujets et évalué les candidats en accord avec les nouveaux programmes des classes préparatoires de PCSI et PC. Le jury dans son ensemble a perçu une amélioration générale du niveau des candidats en physique

expérimentale. En particulier, une fraction significative des candidats s'est démarquée par sa capacité d'adaptation, sa réactivité et sa capacité de réflexion. Cependant, la fraction des candidats qui ne maîtrisent pas encore les appareils de base (multimètre, oscilloscope notamment), les montages simples (formation d'une image par exemple) ou rendent des rapports non satisfaisants n'est pas négligeable.

Les notions introduites dans les nouveaux programmes sont globalement bien connues des candidats. Cependant, la capacité des candidats à modéliser et estimer les ordres de grandeurs des quantités d'intérêt reste en net retrait. Cela est probablement dû à une habitude encore insuffisante à ce genre de démarche. La physique expérimentale nécessite une certaine maturité, qui ne peut s'acquérir que par une pratique active. Nous encourageons donc les futurs candidats à renforcer leur préparation à ce genre d'épreuve. Cela pourrait par exemple se faire dans le cadre de séances de travaux pratiques servant d'oral blanc, basées sur des expériences nouvelles et où l'énoncé est succinct et laisse le choix des appareils, des techniques et des montages à effectuer, sans indication lorsque leur connaissance est mentionnée aux programmes des classes préparatoires de PCSI et PC.