

Banque PC Inter ENS - Session 2015

Épreuve orale de travaux pratiques de physique

ENS : PARIS – LYON – CACHAN

Durée : 4h

Coefficients :

Ulm : option physique 12 / option chimie 8 (pour un total de 127 pour les écrits et oraux).

Lyon : 4 (pour un total de 53 pour les écrits et oraux).

Cachan : option physique 6 / option chimie 3 (pour un total de 59 pour les écrits et oraux).

Membres du jury :

Emmanuel Baudin, Delphine Chareyron, Christophe Gissinger, Aurélien Kuhn, Romain Lecaque, Guillaume Michel, Frédéric Moulin, Philippe Odier, Gilles Remy, Julien Salort, Vivien Schuler et 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 2015 au département de physique de l'ENS Lyon. Le jury est composé d'examineurs nommés par les trois ENS. Chaque candidat a été interrogé par un binôme mixte d'examineurs.

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 strictement partie du programme sont présentées dans le sujet de manière à donner aux candidats toutes les bases nécessaires pour effectuer les mesures expérimentales et leurs analyses.

Les candidats sont d'abord tous accueillis dans une salle pour recevoir les consignes relatives au déroulement de l'épreuve. Il leur est notamment indiqué qu'il est impératif de rendre un compte-rendu à la fin de l'épreuve. Ce compte-rendu doit comporter les tableaux de mesures expérimentales, les graphiques qu'ils jugent utile de tracer, ainsi que les raisonnements scientifiques. Ce compte-rendu fait partie de l'épreuve et est indispensable à la notation : le détail des mesures et des calculs doit permettre aux examinateurs de comprendre les éventuelles erreurs (modélisation, calcul, raisonnement, mesures...) qui ont pu conduire à un résultat erroné. Le compte-rendu doit donc être rédigé avec soin. L'usage de la calculatrice est autorisé, et même recommandé, mais de manière raisonnée. Le jury insiste sur le fait que le calcul d'une pente par régression linéaire ne dispense pas du tracé du graphique correspondant et de son exploitation. L'absence de graphique est pénalisante. Différents types de papiers millimétrés (lin-lin, log- lin, log-log) sont à la disposition des candidats.

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. Ensuite, les examinateurs reviennent régulièrement discuter en détail des résultats avec chaque candidat et leur poser des questions afin de tester leur compréhension et leur démarche expérimentale.

En fin d'épreuve, les candidats remettent copies et brouillons au jury. Ils rangent ensuite leur paillassse (le rangement de la paillassse n'est pas inclus dans la durée de l'épreuve). Le jury contrôle l'ensemble du matériel. Dérégler certains appareils volontairement est pénalisant.

II. Ce que le jury attend du candidat

Il s'agit d'une épreuve où le candidat doit montrer sa capacité à mener à bien une démarche scientifique expérimentale, propre au travail de recherche. Ainsi, le jury évalue, outre les connaissances acquises lors de leurs années de classes préparatoires, la démarche expérimentale et la réactivité des candidats face à un problème nouveau et/ou complexe. En particulier, le jury observe le candidat manipuler, analyser et commenter. Il mesure la profondeur du savoir faire expérimental acquis pendant la préparation aux concours.

Voici quelques points 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 un 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 curieuse 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 modélisation de l'expérience en justifiant les approximations effectuées et les limites du modèle utilisé. Le candidat doit être capable de faire un calcul de quelques lignes lorsque cela s'avère nécessaire pour appréhender le problème à étudier. En revanche, le jury n'attend en aucun cas du candidat qu'il consacre une heure de l'épreuve à faire un calcul. En cas d'échec sur le calcul, il faut trouver une méthode alternative, par exemple avec une méthode de raisonnement "avec les mains", ou en cherchant à répondre à la question à l'aide d'une étude expérimentale.

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 effet retrouvés dans des impasses car ils voulaient à tout prix appliquer un raisonnement connu, et ce alors que les solutions étaient parfois simples et à la portée de candidats moins avancés.

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 manipuler devant les examinateurs, et éviter de démonter les expériences sans que les examinateurs aient pu observer leur façon de procéder.

Le jury apprécie le recul que les candidats peuvent avoir sur leurs modélisations théoriques et leurs résultats expérimentaux. Au cours de cette épreuve, le jury attend que les candidats considèrent que les résultats expérimentaux prévalent sur leurs résultats théoriques, ceci pouvant parfois les amener à considérer que les équations qu'ils mettent en œuvre ne décrivent que le comportement d'un modèle parfois bien éloigné de l'expérience.

Idéalement, le candidat devrait avoir la capacité et la curiosité d'améliorer son modèle ce qui indique à la fois une confiance dans ses capacités expérimentales et théoriques et une utilisation constructive des observations expérimentales.

Les mesures doivent être menées avec beaucoup de soin et les données brutes doivent aussi être reportées séparément dans le compte-rendu sous forme de tableaux. 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.

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. Idéalement, les bornes d'incertitudes liées aux

mesures devraient être reportées sur les graphes expérimentaux.

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.

A noter qu'il est impératif de respecter les consignes de sécurité données par les encadrants.

III. Bilan de l'épreuve 2015

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.

L'utilisation de l'outil multimètre pose problème, en particulier le choix du mode AC ou DC reste flou pour certains candidats. Pour quelques candidats, la simple lecture de la tension mesurée par un voltmètre en fonction du calibre pose problème. Les impédances associées aux mesures de courant et de tension sont assez floues dans l'esprit des candidats, ce qui les empêche de concevoir des expériences correctes. 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. Leur utilisation, au même titre que celle de l'oscilloscope, doit être maîtrisée. Par ailleurs, peu de candidats ont une idée de la gamme de

fréquence sur laquelle un multimètre peut être utilisé.

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 (relativement à leur taille) sont mal maîtrisés. Une bobine de 1 H ou un condensateur de 1 F présentent une taille conséquente!

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 court-circuit de masse sont observés.

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.

De nombreux candidats n'utilisent pas spontanément l'oscilloscope pour essayer de comprendre pourquoi leurs mesures échouent.

Les candidats rencontrent souvent des difficultés pour réaliser la mesure d'une caractéristique courant-tension d'un générateur. Par ailleurs, la prise en compte de la résistance de sortie des GBF n'est pas évidente pour tous les candidats.

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.

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.

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). Rappelons que l'optique géométrique ne se limite pas à l'observation au plan focal d'une lentille.

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.

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. La condition $D > 4f$ pour réaliser l'image d'un objet sur un écran n'est pas toujours connue. 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.

Mesures, acquisition, tracé de courbes et analyse

L'acquisition et le traitement numérique des données font 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 ...) et une discussion approfondie de la validité de la modélisation.

Le jury a été satisfait de constater une augmentation du nombre de candidats ayant une bonne maîtrise des fonctions de bases de l'oscilloscope. Cependant, la notion de déclenchement sur les oscilloscopes n'est pas toujours maîtrisée. La possibilité de déclencher sur un événement particulier, et de conserver ce signal (mode « single ») est peu utilisée. Par ailleurs, la plupart des candidats ignorent la possibilité de déclencher sur "secteur" et donc de vérifier immédiatement si un signal à 50 Hz est un parasite ou pas.

La touche « Autoset » de l'oscilloscope est souvent utilisée à l'aveugle. Cette touche a souvent pour seul 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 fonction.

Peu de candidats pensent spontanément à adapter le calibre du multimètre pour optimiser la précision de la mesure. Plusieurs nous ont annoncé que le composant possède une résistance nulle alors qu'ils effectuent la mesure sur le plus grand calibre (20 M Ω par exemple). De la même manière, pour un oscilloscope numérique, la conversion analogique numérique s'effectue à nombre de bits fixés, et ce sur la plage indiquée par le calibre. Les signaux doivent donc être visualisés en pleine fenêtre pour profiter au mieux de la résolution de l'appareil, c'est à dire numériser le signal avec un maximum de bits.

Il est rappelé qu'un capteur est un appareil qui doit être étalonné. Dans

certains cas, l'étalonnage est déjà fait et les candidats doivent utiliser une courbe d'étalonnage fournie. Dans d'autres cas, l'étalonnage fait partie intégrante du travail expérimental demandé.

Lorsque différents appareils de mesure sont présents sur la paillasse, il est judicieux de choisir le plus précis. Par exemple, beaucoup de mesures de tension sont effectuées à l'aide des curseurs d'un oscilloscope alors que des multimètres sont présents sur la paillasse. Par ailleurs, la notion de sensibilité dans une mesure est souvent inconnue et confondue avec la précision. Par exemple, les candidats mesurent une fréquence de résonance en mesurant le rapport d'amplitude des signaux excitateurs et excités au lieu de leur différence de phase, pourtant nettement plus sensible à la résonance.

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 pour entamer une mesure autour de 500 K, même si le thermomètre utilisé est précis à ce point.

Les candidats peuvent utiliser leur calculatrice pour effectuer des régressions linéaires, mais ils doivent impérativement tracer des courbes sur papier (fourni). Dans certains comptes-rendus, les axes de ces courbes ne sont pas légendés 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 de conclure 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 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).

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.

Remarques générales

Pour cette session 2015 des concours d'entrée, le jury a sélectionné des sujets en évalué les candidats en accord avec les nouveaux programmes (2013, 2014) 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. 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, ce qui pourrait par exemple se faire dans le cadre de séances de travaux pratiques servant d'oral blanc, et basées sur des expériences nouvelles.