

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 134 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	Delphine Chareyron, Jean Cviklinski, Igor Ferrier-Barbut, Vincent Freulon, Aurélien Kuhn, Benjamin Langlois, Xavier Michaut, Philippe Odier, Gilles Remy, Hélène Scolan 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 2013 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 leur analyse.

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. Le contraire est pénalisant. Enfin, différents types de papiers millimétrés (lin-lin, log-lin, log-log) sont à la disposition de tous les 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 paillasse (le rangement de la paillasse 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 expérimentale : aucune modélisation poussée n'est exigée de la part des candidats. Les calculs théoriques et la modélisation sont l'objet d'autres épreuves du concours. Il s'agit avant tout d'être capable de 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. 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 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.

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.

Une analyse attentive et curieuse du matériel et des indications données est une base nécessaire et précieuse avant de se lancer dans les expériences.

La composante théorique de cette épreuve reste limitée, mais des raisonnements physiques, parfois nombreux, n'en sont pas moins attendus. Comme il s'agit ici de physique expérimentale, cette réflexion doit s'articuler autour des expériences et des observations. Il peut être nécessaire de tester la validité, en pratique, de certaines hypothèses intervenant dans ces raisonnements.

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 effondrés 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 d'élèves moins avancés. Les candidats doivent s'adapter à la situation proposée.

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.

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 confronter leurs mesures expérimentales à leur modèle, 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 souvent 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. Une discussion critique des résultats obtenus, de la précision escomptée, de celle obtenue, de son amélioration possible, sera un élément apprécié.

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.

III. Bilan de l'épreuve 2013

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.

Il a été constaté que nombre de candidats peinent encore pour brancher correctement un ampèremètre et un voltmètre. Les impédances associées à ces deux types de mesures 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 ampère-mètre ne doivent pas être connectées directement à une source de tension. Un candidat a par exemple cherché à mesurer la résistance interne d'un ampère-mètre en le branchant directement sur une alimentation stabilisée réglable (l'utilisation des valeurs affichées par le générateur et l'ampère-mètre lui auraient permis de remonter à la valeur de la résistance). Le fait qu'un voltmètre et un ampèremètre soient intégrés dans un seul multimètre pose parfois problème aux candidats. Ces instruments sont des instruments de base. Leur utilisation, au même titre que celle de l'oscilloscope, doit être maîtrisée.

La grande majorité des candidats interrogés sur des sujets d'électronique mesurent une résistance à l'ohm-mètre 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 peu d'entre-eux ont une idée du principe de fonctionnement d'un ohm-mètre. Ils pensent alors souvent à la loi d'Ohm et effectuent une mesure de tension et d'intensité; mais presque systématiquement, les candidats se limitent à un montage longue dérivation même lorsqu'ils constatent que le composant est un résistor de résistance comparable à celle de l'ampère-mètre.

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 AOIP de 100Ω 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 100Ω à une différence de potentiel de 25 V (puisque cela implique qu'elle soit traversée par 250 mA). Plusieurs candidats n'y ont pas pris garde et, malgré notre vigilance, nous avons parfois observé des volutes de fumée s'échapper de boîtes AOIP.

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 ($20\text{ M}\Omega$ par exemple).

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.

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, d'autres encore affirment qu'une mesure de tension (aux bornes d'un composant) n'est possible que si le circuit est relié à la terre.

Seule la moitié des candidats a réussi à câbler un montage générant une tension carré périodique à partir d'un AO, d'un condensateur et de résistances. Aucun candidat n'a su définir correctement un AO idéal, ce point était pourtant déjà signalé dans le rapport de la session 2012. Très peu de candidats ont en tête des ordres de grandeurs des impédances d'entrée, de sortie et de bande passante. La saturation en vitesse de balayage (ou slew-rate) n'est pas acquise par les candidats.

Le lien entre amplitude et valeur efficace n'est pas bien maîtrisé par beaucoup de candidats. Plusieurs affirment que dans tous les cas, la première est obtenue en multipliant la seconde par racine de deux. Certains candidats ne connaissent pas les caractéristiques du secteur; que signifie, par exemple, ce «220 V»? On nous a affirmé que la fréquence du secteur est 100 kHz.

De même, 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. La mesure du déphasage entre 2 grandeurs a montré que la majorité des candidats ne font pas attention à son signe.

Enfin, la notion de bande passante n'a pas de sens pour un certain nombre de candidats. Pour d'autres, même s'ils connaissent sa définition et l'ont déterminé pour un composant donné, il n'est pas rare qu'ils effectuent ensuite des mesures situées bien au-delà.

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 oeuvre de mesures simples utilisant des règles ou des sondes mesurant des grandeurs vectorielles.

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 réglage du viseur d'un goniomètre est souvent effectué correctement mais n'est pas compris par les candidats (quel est l'intérêt d'une rotation de la bague de l'oculaire ? de la bague de l'objectif ?). Le rôle de la mire du viseur du goniomètre comme «objet» ou comme «image» est souvent sujet à confusion pour les candidats. Seule une moitié des candidats a su expliquer le principe de l'auto-collimation.

Rappelons que la formule des réseaux par réflexion diffère de celle des réseaux par transmission. En particulier, cela a pour conséquence qu'il n'y a pas de minimum de déviation pour les réseaux par réflexion. Peu de candidats s'en sont rendus compte et cherchaient désespérément ce minimum de déviation.

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

Enfin, nous souhaiterions que les candidats mènent une réflexion sur les conditions d'observations des interférences. Un nombre substantiel de candidats a en effet proposé d'observer des anneaux d'égale inclinaison en lumière parallèle.

Tracé de courbes et analyse des mesures

Les candidats peuvent utiliser leur calculatrice pour effectuer des régressions linéaires, mais ils doivent impérativement tracer des courbes sur papier (fourni). Dans certains compte-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 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.

Lorsqu'ils avaient à déterminer expérimentalement les coefficients d'une loi de puissance, tous les candidats ont spontanément pensé à utiliser la fonction logarithme, ce qui est bien. En revanche, l'analyse qui s'ensuit n'a pas toujours été satisfaisante : plusieurs candidats n'utilisent que deux points, parmi tous ceux tracés, pour déterminer graphiquement la pente, plutôt que de tracer une droite moyenne ou de réaliser une régression linéaire à la calculatrice. De plus, peu de candidats estiment l'incertitude sur les points mesurés. Nous n'attendons 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.

Remarques générales

Dans l'ensemble, les candidats maîtrisent correctement les notions au programme, ce qui est satisfaisant. Mais une partie de celles-ci, mentionnées ci-dessus, reste problématique. La majorité des candidats ne parvient notamment pas à appréhender correctement le fonctionnement concret des circuits électriques (et parfois même ce qui se cache derrière les grandeurs électriques). Nous encourageons bien sûr les futurs candidats à y remédier.

Si les connaissances de base sont, dans l'ensemble, assimilées, le niveau des candidats en Physique expérimentale semble nettement en deçà de leurs aptitudes théoriques. Leur réactivité et leur capacité de réflexion dans ce domaine ne sont pas suffisantes. Cela est probablement dû à une habitude encore insuffisante de ce genre de démarche. La physique expérimentale nécessite une certaine maturité, qui ne peut s'acquérir que par la pratique. 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.

Pour finir, certains candidats ont impressionné le jury par leur travail excellent, à la fois sûr, astucieux et autonome.