

Épreuve orale de travaux pratiques de physique

ENS : PARIS – LYON – CACHAN

Durée	4h
Coefficients	Ulm : option physique 12 / option chimie 8 Lyon : 4 Cachan : option physique 6 / option chimie 3
Membres du jury	E. Bocquillon, D. Chareyron, J. Cviklinski, C. Feuillet-Palma, V. Freulon, X. Michaut, P. Odier, G. Remy, T. Salez, J.-M. Tualle, L. Vanel et R. Volk

I. Déroulement de l'épreuve

L'épreuve de TP est une épreuve commune aux trois ENS : tous les étudiants admissibles au concours PC à une des 3 ENS passent l'épreuve de travaux pratiques de Physique. L'épreuve dure 4h et avait lieu, pour cette session 2012, au département de physique de l'ENS Cachan. 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.

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 graphes 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.

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 très 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.

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 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 2012

Le jury est de manière générale agréablement surpris du fait que les candidats semblent avoir pris connaissance du rapport de l'épreuve 2011. Par exemple, les barres d'erreurs sont beaucoup moins rares, au même titre que les représentations linéaires. Voici quelques points que nous avons relevés lors de la session 2012 :

Le choix de la masse dans un circuit électrique est un épineux problème qui bloque nombre de candidats : où choisir l'origine des potentiels ? Y a-t-il un composant dans le circuit qui l'impose ? Une alimentation stabilisée (à masse flottante) doit être connectée à un circuit électrique entre ses bornes + et - (et pas par une seule de ces bornes) car une différence de potentiels est nécessairement imposée entre deux points.

L'outil de base qu'est l'oscilloscope semble mieux maîtrisé que l'année précédente, même si la synchronisation reste une notion mal maîtrisée. Le jury attend au minimum des candidats qu'ils sachent régler la base de temps, la sensibilité verticale, la synchronisation, utiliser les curseurs et le mode XY.

Le multimètre utilisé en ampèremètre a été la source de trop nombreux soucis : plusieurs candidats le branchent en dérivation ce qui entraîne d'importants courants débités et mesurés, et le comportement du circuit est radicalement modifié sans que cela ne choque les candidats. Certains précisent que c'est bien ce branchement de l'ampèremètre qui doit être réalisé pour mesurer le courant car la résistance de l'ampèremètre est infinie.

Au gré des mesures, le jury peut poser des questions inspirées du cours (en lien avec l'expérience réalisée) : seul un candidat a su définir correctement un AO idéal. Beaucoup d'étudiants expliquent que pour un AO idéal $v_+ = v_-$ et tracent, spontanément, la caractéristique de l'AO qui ne semble manifestement pas se limiter au domaine $v_+ - v_- = 0$. Pour un AO réel, seul l'ordre de grandeur du gain différentiel en boucle ouverte est bien connu. Si le défaut en vitesse de balayage (« slew rate ») est un terme connu des candidats, son seuil typique d'apparition ne l'est pas. Les ordres de grandeurs des courants d'entrée des AO sont souvent fantaisistes (1 mA par exemple, comparable à la valeur maximale que l'AO peut débiter en sortie, selon le candidat). Le montage théorique réalisant un intégrateur avec un AO, une seule résistance et un condensateur est facilement retrouvé, mais en pratique, ce montage ne fonctionne pas bien, ce qui a dérouté tous les candidats (plusieurs candidats ont fini par trouver le montage qu'il faut réaliser en pratique). De plus, la question du choix des valeurs de la résistance et de la capacité dans l'intégrateur est souvent restée sans réponse.

La qualité d'une mesure est liée au choix de l'appareil utilisé pour l'effectuer : ainsi est-il préférable de mesurer une tension au voltmètre plutôt qu'à l'oscilloscope ou directement sur le cadran du générateur. Il est un peu regrettable en revanche que les candidats ne pensent pas à observer les signaux d'entrée de leurs circuits lors de la recherche de problèmes éventuels. Pour pouvoir visualiser correctement un signal de mesure, il est nécessaire de s'interroger *au préalable* sur la durée typique du phénomène étudié, et sur son amplitude. Par exemple, une base de temps de quelques ns/div ne permet pas d'observer à l'oscilloscope un signal dont la fréquence est attendue à la dizaine de Hz. *A contrario*, certains candidats s'étonnent d'observer des oscillations sinusoïdales de tension lorsqu'ils se placent à une base de temps de 5 ms/div (donc voisines de 50 Hz...) alors qu'ils cherchent à observer des oscillations à plusieurs kHz. Bon nombre de candidats n'ont pas encore l'habitude de comparer la base de temps (aléatoire) sur laquelle se trouve l'oscilloscope lorsqu'ils l'allument, au temps caractéristique attendu pour les phénomènes observés. De même, ils ne vérifient pas spontanément si leur sensibilité verticale est bien choisie. On se retrouve donc souvent dans des cas où le « signal » observé par le candidat n'est en fait que du bruit à haute fréquence et de très faible amplitude, qui s'ajoute au signal physique à étudier.

Certains candidats ont acquis l'excellent réflexe de tester la gamme de variation des quantités observées avant de commencer les mesures rapprochées. Toutefois, le calibre d'un voltmètre doit être ajusté à chaque point et non, fixé pour toute une série de mesures (le calibre serait alors imposé par la plus grande des valeurs de la série, comme nous l'a expliqué un candidat). Rappelons également que pour mesurer à l'ohmmètre la résistance d'un résistor, il faut le déconnecter du reste du circuit.

Beaucoup de candidats mesurent une impédance quelconque en utilisant seulement un ohmmètre, alors que cela ne suffit pas à déterminer toutes les caractéristiques de cette impédance.

Certains candidats répondent dans la précipitation, sans faire de tri dans leurs connaissances ou leurs idées. L'objectif est de répondre d'une manière pertinente, adaptée à la situation proposée, et le plus souvent succinctement. Il ne s'agit pas de réciter sans discrimination un cours complet.

A quelques exceptions près, les TP-cours du programme sont bien connus des candidats. Ce point est satisfaisant. Cette connaissance fournit une base très appréciable aux candidats pour appréhender les expériences proposées. En revanche, 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. Des différences existent en effet le plus souvent par rapport aux expériences qu'ils connaissent.

Pour plusieurs candidats, les liens entre courant électrique, champ magnétique, et tension induite ne sont pas assez clairs pour qu'ils puissent mener à bien des expériences d'induction.

Une proportion importante de candidats manque d'aisance lorsqu'il s'agit de prévoir l'effet d'une lame demi-onde ou quart d'onde sur une polarisation quelconque.

Lors d'une mesure, l'estimation du nombre de chiffres significatifs (et donc de la précision de la mesure) est essentielle, les candidats sont souvent trop généreux et annoncent, par exemple, un facteur de qualité $Q=4963$ alors que la mesure réalisée n'est visiblement précise qu'à un seul chiffre significatif. D'autres affirment que $0,093$ contient 3 chiffres significatifs.

Le jury regrette que certains candidats n'aient pas été habitués à utiliser des câbles BNC-bananes car, bien que mettant un matériel varié à la disposition des candidats (câbles banane-banane, adaptateurs BNC-bananes, ...) pour leur permettre de travailler avec des outils qui leur sont familiers, il est parfois difficile de ne pas utiliser ce type de câble, d'un emploi pourtant courant aujourd'hui au laboratoire. Cette méconnaissance n'est pas sanctionnée par le jury qui explique patiemment au candidat pourquoi, d'un côté, le câble présente deux fiches, alors qu'il n'y en a qu'une seule de l'autre. Cependant, malgré nos paroles rassurantes, cette situation est cause de stress inutile pour le candidat, qui se croit pris en faute ou perd du temps avant de solliciter nos explications.

C'est une bonne chose que la notion de tension superficielle, pourtant hors-programme, fasse partie de la culture des candidats. Le jury était très étonné de voir certains candidats familiers avec cette notion.

La poussée d'Archimède est une notion bien assimilée. De manière plus générale, les TP de mécanique semblent mieux traités qu'auparavant. Le circuit RLC et l'interféromètre de Michelson ne sont plus les seuls montages bien maîtrisés, à la grande satisfaction du jury.

La notion de bande passante reste assez floue dans l'esprit des candidats. Beaucoup ne comprennent pas son utilité et il est arrivé à plusieurs candidats de prendre des points de mesures ou de donner des résultats à l'extérieur de la BP du composant étudié. A peine plus de la moitié des candidats sait donner sa définition et la mesurer.

Le jury a été ravi de constater que les lois d'échelles et l'analyse dimensionnelle n'effraient plus les candidats.

Certains candidats ont découvert le « fonctionnement » d'un niveau à bulle le jour du concours, ce qui nous a surpris.

Devant des expériences d'optique, plusieurs candidats ne se placent pas dans les conditions optimales d'éclairage pour mesurer des signaux à la photodiode (la lampe mise à disposition pour éclairer le candidat reste allumée). Parfois, le spectre de la lumière est méconnu, ainsi que le 50 Hz et le 100 Hz environnants.

Il est dommage que les consignes de sécurité ne soient pas respectées, surtout si cela entraîne la destruction de certains appareils/composants par un trop fort courant par exemple. Il est impératif de bien lire l'énoncé : même s'il est explicitement écrit, que pour ne pas endommager un composant, l'intensité dans le circuit ne doit pas dépasser quelques dixièmes de milliampères, nous avons observé des candidats qui n'hésitent pas à injecter 45 mA. Le jury est bien conscient du stress engendré par le concours, mais il ne peut transiger sur la sécurité et le respect du matériel.

Nous avons également regretté le départ d'un candidat ayant décidé d'abandonner en cours d'épreuve. Nul ne peut préjuger de sa propre performance, ni, d'ailleurs, des notes obtenues aux épreuves précédentes. En tout état de cause, abnégation, pugnacité et optimisme sont des qualités appréciées chez un futur normalien.

Le jury a été véritablement impressionné de voir certains candidats présenter spontanément de belles expériences qualitatives après lecture du sujet, avant de commencer les mesures quantitatives. C'est une réelle preuve de maturité expérimentale.

Le jury encourage les futurs candidats à ne pas négliger l'épreuve de TP face à ses consœurs plus théoriques. Il faut tendre à maîtriser les outils de base et à ne pas apprendre par cœur certains TP-types. La démarche expérimentale est avant tout une affaire de curiosité, de temps, de savoir-faire. Et ce dernier ne peut s'acquérir qu'en s'éloignant des sujets à questions balisées et en passant plus de temps en salle de TP, sur des montages simples et variés. La physique est une science expérimentale d'une grande finesse, que l'on n'appréciera à sa juste valeur qu'avec une certaine maturité pratique.