

Épreuve de Travaux Pratiques de Physique, Filière PC

Lors du concours 2024, 500 candidates et candidats dont 14 candidates et candidats internationaux se sont présentés à l'épreuve de travaux pratiques de physique. Les sujets sont tirés au sort par les candidates et candidats, et se répartissent équitablement entre l'électronique et l'optique.

Tous sujets confondus, moyennes et écart-types des candidates et candidats français et internationaux

- 500 candidates et candidats – 11,45/20 de moyenne et 3,21 d'écart-type

Les histogrammes de notations en optique et en électronique sont équivalents, avec des moyennes et des écarts-types très voisins.

Les épreuves de Travaux-Pratiques des 3 commissions se sont déroulées à l'École Polytechnique. Avant de présenter des commentaires plus spécifiques concernant les sujets d'électronique et d'optique, nous rappelons ici l'esprit général de l'épreuve de Travaux Pratiques de physique, en soulignant fortement qu'il ne s'agit pas d'une épreuve théorique supplémentaire. C'est en particulier un examen où **l'autonomie et l'initiative** individuelle des candidates et candidats sont encore plus largement privilégiées. Il existe certes quelques questions théoriques (notées sur un faible nombre de points), mais elles sont essentiellement destinées à aider dans la démarche expérimentale.

Compétences évaluées

Les compétences expérimentales évaluées lors de cette épreuve sont celles du programme de classes préparatoires de la filière PC de **première** et de deuxième année, compétences permettant de mettre en œuvre une véritable démarche expérimentale :

- **S'approprier** : rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale ; énoncer une problématique d'approche expérimentale ; définir les objectifs correspondants.
- **Analyser** : formuler des hypothèses ; proposer une stratégie pour répondre à la problématique ; proposer un modèle ; choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental ; évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
- **Réaliser** : utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée ; mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates ; effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales.
- **Valider** : exploiter des observations, des mesures en identifiant les sources d'erreurs et en **estimant les incertitudes** ; confronter un modèle à des résultats expérimentaux ; confirmer ou infirmer une hypothèse, une information ; analyser les résultats de manière critique ; proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
- **Communiquer** à l'écrit comme à l'oral : présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible ; utiliser un vocabulaire scientifique adapté ; s'appuyer sur des schémas, des graphes ; faire preuve d'écoute, confronter son point de vue.

- **Être autonome, faire preuve d'initiative** : solliciter une aide de manière pertinente ; s'impliquer, prendre des décisions, anticiper.

A ces compétences expérimentales s'ajoutent des compétences et des connaissances disciplinaires en physique dans les domaines de l'électronique et de l'optique. Les sujets peuvent faire appel à des connaissances plus larges en physique en restant dans le cadre du programme.

Sujets

Les sujets de l'épreuve sont conçus pour susciter la réflexion et guider les candidates et les candidats dans leurs manipulations ainsi que l'interprétation de leurs résultats. Le texte fournit toutes les explications nécessaires afin que le ou la candidate soit autonome. Si le sujet comprend l'étude d'un système non traité en cours d'année l'ensemble des informations utiles pour mener à bien l'étude sont données dans l'énoncé afin qu'aucun prérequis ne soit nécessaire.

Confronté à un problème concret, la candidate ou le candidat doit l'analyser, le mesurer et l'interpréter en utilisant ses connaissances. Elle ou il doit effectuer des mesures en choisissant tel appareil et/ou telle méthode de mesure puis les interpréter en faisant preuve d'un minimum de sens pratique et de compréhension du phénomène ou du système étudié. La candidate ou le candidat peut alors mettre en perspective des résultats expérimentaux avec des modèles théoriques, soit par déduction, soit par analogie, ou encore en expliquant le phénomène observé. Il peut y avoir des calculs théoriques, mais ils restent généralement succincts et ne servent qu'à guider la candidate ou le candidat vers un choix de mesures ou de valeurs de composants.

L'esprit de ces épreuves de Travaux-Pratiques est avant tout de réaliser un travail expérimental concret, d'évaluer les aptitudes de la candidate ou du candidat à conduire une manipulation, observer et comprendre un phénomène physique. Les capacités d'abstraction, la modélisation des phénomènes à étudier sont mineures dans les critères d'évaluation, et la majorité des candidates et des candidats ont bien conscience de tout cela. Le nombre de points attribués pour les calculs théoriques ne représente qu'une faible partie de la note (4 à 6 points au maximum pour une note sur 20). Nous privilégions toujours beaucoup plus les mesures et les manipulations que doivent réaliser les candidates ou candidats.

Conseils aux candidates et candidats

Les candidates et candidats doivent se présenter à l'épreuve avec leur matériel : de quoi écrire et tracer. Une calculatrice de type « collègue » leur est fournie pour la durée de l'épreuve.

Nous rappelons que la lecture intégrale du sujet avant le début des manipulations, son titre, est indispensable, afin d'avoir le recul nécessaire pour mener à bien l'épreuve. Compte tenu du cheminement logique des questions, cela peut largement aider les candidates et candidats à mieux gérer leur temps, ce qui est une condition indispensable pour réussir cette épreuve.

Bien évidemment, les examinatrices et examinateurs apprécient que les candidates et candidats travaillent de manière autonome. Cependant, elles et ils ne doivent pas hésiter à appeler l'examinatrice ou l'examineur en cours d'épreuve si elles ou ils butent sur une partie du sujet. Certaines candidates ou certains candidats, par peur de perdre trop de points, n'osent pas le faire et gaspillent alors une grande partie du temps imparti. Cette perte de temps reste difficile à rattraper et conduit souvent à de mauvaises épreuves.

Lors de cette épreuve, les examinatrices et examinateurs jugent aussi de la qualité de la démarche scientifique. En particulier, la candidate ou le candidat doit honnêtement rendre compte de toutes les mesures, même si elle ou il ne sait pas les analyser facilement. Par ailleurs, les examinatrices et

examineurs **peuvent demander aux candidates et candidats de réaliser à nouveau et en leur présence une mesure pour en vérifier la justesse.**

Dans le rapport écrit remis par les candidates et candidats à la fin de l'épreuve, rappelons qu'il faut avant tout essayer de donner des explications claires et précises, en décrivant la démarche expérimentale qui a conduit aux mesures, sans pour autant retranscrire les indications du texte. Le ou la candidate doit montrer son savoir-faire dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des incertitudes en faisant attention en particulier au nombre de chiffres significatifs utilisés dans le résultat qui doit être en accord avec l'incertitude.

Les diagrammes et les figures doivent être correctement renseignés et explicités. Nous observons trop fréquemment que les graphes, qui doivent être impérativement accompagnés de leurs tableaux de mesures **si cela est demandé dans le sujet**, restent souvent perçus à tort comme archaïques par les candidates et candidats et souffrent trop souvent de nombreux défauts tels que **l'absence de légende, d'unité** et/ou d'échelles, ou l'utilisation d'une échelle inadaptée et peu pratique. Précisons que l'absence de légendes et/ou d'échelles entraîne systématiquement la perte de tout ou de la quasi-totalité des points attribués à la question ! Il faut aussi noter que souvent les paramètres physiques issus de l'exploitation des données expérimentales, pourtant satisfaisantes, conduisent à des ordres de grandeur aberrants, et témoignent du fait que la candidate ou le candidat ne prend pas de recul face à ses mesures. Enfin est-il encore nécessaire de préciser qu'une **présentation soignée** du rapport apporte forcément un plus ?

1. Remarques sur les sujets d'électronique

Le programme de classe préparatoire se concentre sur l'étude des filtres passifs et actifs ; lors des travaux pratiques il est toutefois possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (filtres à capacité commutée, échantillonneur-bloqueur, diodes, photorésistances, etc.) dès lors **qu'aucune connaissance préalable n'est nécessaire** comme le stipule le contenu disciplinaire du programme de PCSI (parties 1.1 à 1.5).

Il est toujours conseillé aux candidates et candidats de passer un peu de temps en début d'épreuve pour se familiariser avec l'appareillage électrique et électronique qui est mis à leur disposition pour la conduite de leurs expérimentations : essentiellement un générateur basses fréquences, un oscilloscope et un multimètre (qui sont les trois principaux appareils qu'ils auront à utiliser). L'aide succincte sur les principaux réglages, fournie avec chaque sujet, leur permet d'accélérer cette prise en main. Rappelons que la candidate ou le candidat n'étant pas censé connaître le matériel précis mis à disposition, **elle ou il peut demander des précisions quant à son utilisation à l'examinatrice ou à l'examineur sans que cela n'entraîne de perte de points.**

Nous rappelons que l'oscilloscope est un appareil de mesure/contrôle essentiel et qu'il convient d'en maîtriser son utilisation générale. En effet, c'est le seul outil à disposition sur la table de manipulation pour éviter des fonctionnements non linéaires et des résultats faux. Lorsque la mesure est effectuée avec un multimètre, il faut toujours veiller à mettre le dipôle d'intérêt en parallèle avec l'oscilloscope (de façon à pouvoir toujours observer la forme du signal sans perturber le fonctionnement du dispositif ...). On rappelle aussi qu'en plus de pouvoir visualiser les signaux, tous les oscilloscopes mis à disposition peuvent faire des mesures (valeur moyenne, efficace, max, etc.). La synchronisation d'une trace à l'écran pose encore des soucis à certains (sélection de la source, mode normal, auto). Le terme de déclenchement (trigger) leur semble encore fréquemment complètement étranger. Le réglage des sensibilités horizontal et vertical est souvent très mal choisi, ce qui engendre alors, de grandes imprécisions de lecture. Le signal est trop fréquemment contenu sur moins d'un carreau à l'oscilloscope, ce qui montre une méconnaissance des erreurs relatives. Enfin, l'utilisation du bouton (généralement nommé « Autoset ») de configuration automatique des réglages horizontaux, verticaux

et de déclenchement en fonction du signal d'entrée est à proscrire car il laisse bien souvent l'oscilloscope dans une configuration parfaitement inadaptée à l'observation souhaitée du signal. Ces connaissances nécessaires en électronique le sont tout autant pour les travaux pratiques d'optique utilisant un oscilloscope.

On peut aussi remarquer que l'utilisation du multimètre mis à disposition des candidates et candidats continue à être de moins en moins fréquente probablement dû au fait que peu d'entre eux et d'entre elles savent l'utiliser correctement. Ceci est bien dommage car dans bien des cas les mesures effectuées sont beaucoup plus rapides et précises, notamment pour réaliser des diagrammes de Bode. En effet les multimètres mis à leur disposition permettent notamment de réaliser des mesures directement en dB mais pour ce faire, il faut penser à bien référencer la mesure par rapport à un signal de références. Certaines candidates et certains candidats s'étonnent de ne pas mesurer l'amplitude crête à crête d'un signal sinusoïdal observé sur l'oscilloscope, d'autres ne parviennent pas à mesurer correctement une valeur de résistance. Il est à noter à ce propos qu'elles et ils ne réalisent pas toujours qu'en mode mesure d'impédance, le multimètre est un générateur qui ne peut pas être mis en parallèle avec un autre générateur sans au mieux fournir des résultats aberrants. Enfin beaucoup trop de candidates et de candidats ne savent pas à quoi correspondent les modes AC ou DC sur un multimètre ou les confondent avec les modes AC et DC de l'oscilloscope. Ils ont en outre que peu d'idée de la bande passante de ces appareils en mode AC.

Les quelques erreurs de câblage concernent presque toujours soit une mauvaise lecture du schéma électrique dans l'énoncé soit l'oubli d'un fil de masse. **Rappelons que si toutes les masses sont reliées entre elles sur les maquettes à étudier, il faut aussi les relier au GBF et à l'oscilloscope. La gestion de la masse dans un circuit est un problème récurrent pour encore trop de candidates et de candidats.**

A titre indicatif, voici nos remarques sur les réussites et les difficultés que nous avons relevées cette année dans les compétences visées :

S'approprier :

- Devant un équipement nouveau pour les candidates et les candidats, ceux-ci ne cherchent pas à observer et à analyser sa façade et les différentes fonctions qu'ils proposent. Ils vont essayer de réaliser des mesures le plus rapidement possible sans chercher à regarder si l'équipement permettrait de les réaliser avec une meilleure précision et/ou plus simplement. L'utilisation non optimisée de l'équipement peut alors engendrer une importante perte de temps.
- Malgré l'insistance des examinatrices et examinateurs, les candidates et candidats n'accordent **toujours** pas suffisamment de temps et d'attention à la lecture de l'énoncé et à l'extraction des informations qu'il apporte pour répondre aux questions.

Analyser :

- De nombreux candidates et candidats continuent à ne pas accorder suffisamment de temps pour **lire attentivement la totalité de l'énoncé** et d'en analyser la structure et le contenu, passant ainsi à côté d'informations utiles, voire précieuses pour répondre aux questions posées ou réaliser les montages demandés.
- La formulation d'hypothèses sur le fonctionnement d'un circuit, encouragées dans certains sujets, est souvent mal traitée.
- Il est surprenant que seule une minorité de candidates et de candidats soit capable d'expliquer l'origine du bruit à 50 Hz.
- Des candidates et candidats confondent ondes acoustiques et ondes électromagnétiques.

Réaliser :

- La prise en main de l'oscilloscope est globalement bonne par la majorité des candidates et candidats, mais le réglage du trigger semble encore poser quelques problèmes.
- L'utilisation de la fonction FFT de l'oscilloscope est bien maîtrisée par une partie de plus en plus importante des candidates et candidats.
- On peut noter une amélioration dans la compréhension de ce qu'est une différence de phase, comment la mesurer et la tracer même si des erreurs de signe persistent encore.
- Quelques rares candidats et candidates, pour réaliser une analyse fréquentielle, placent par erreur des signaux rectangulaires en entrée d'un circuit.
- Certains ou certaines, malgré l'observation d'une saturation, continuent de mesurer le gain en fonction de la fréquence... Il faut penser à diminuer l'amplitude du signal d'entrée.
- Le choix entre papier millimétré ou feuille semi-logarithmique reste une difficulté pour une partie des candidates et candidats. Souvent, elles et ils évitent le papier semi-log et préfèrent le papier millimétré au détriment de la qualité de représentation de la courbe demandée.
- Relevés de courbes parfois beaucoup trop longs (plus d'une heure sur une épreuve de 3 heures), avec des prises de mesure dans une zone où les variations ne sont pas importantes. En revanche, la fréquence d'un filtre à bande étroite peut rester indétectable pour les candidates et les candidats car ils balayent souvent trop vite.
- L'utilisation du multimètre de table reste beaucoup trop occasionnelle.

Valider :

- Les questions portant sur les incertitudes de mesure continuent à être bien traitées.
- Trop d'erreurs dans les calculs littéraux (qui sont rares et souvent simples). Ce n'est pas normal à ce niveau. Également trop d'erreur dans les applications numériques qui montrent aussi une méconnaissance des ordres de grandeur usuels tels que ceux de résistances ou de la puissance dissipée par un composant.
- La confrontation d'un modèle à des résultats de mesure est souvent superficielle, la recherche des paramètres du modèle manque souvent de rigueur, voire de précision en raison de mesures parfois grossières.

Communiquer à l'écrit comme à l'oral :

- Le soin apporté à la rédaction du compte-rendu est très variable selon les candidates et les candidats. Compte-tenu du temps imparti, la qualité reste acceptable.
- Trop de candidates ou de candidats rendent des graphiques brouillon (nombreuses ratures, choix d'échelle inadaptée) rendant leurs lectures trop compliquées pour attribuer l'ensemble des points.
- Malgré les recommandations des examinatrices et des examinateurs, les candidates et candidats continuent à consacrer trop de temps à rédiger des calculs analytiques longs et inutiles pour répondre aux questions posées.

Être autonome, faire preuve d'initiative :

- Une partie des candidates et des candidats n'arrive pas à traiter l'intégralité du sujet car elles/ils passent souvent trop de temps à des activités non expérimentales comme les calculs analytiques.
- Les candidates et candidats savent généralement faire appel à l'examinatrice ou l'examineur de façon pertinente et mesurée. Malgré les explications fournies par les examinatrices et les examinateurs en début de séance, il reste des candidates et des candidats qui ne font pas appel à des moments clés de l'avancement de leur travail et qui doivent être validés.

2. Remarques sur les sujets d'optique

Les montages d'optique font appel à des notions simples du programme des classes préparatoires. Ils consistent à observer un phénomène optique, à l'étudier, à relever des mesures visuellement ou avec un viseur ou encore avec un détecteur de lumière, et à les utiliser pour déterminer des grandeurs physiques. Les interprétations ne font appel qu'à très peu de calculs théoriques, dont les formules à redémontrer sont le plus souvent données dans le texte.

L'ensemble des appareils nécessaires à la manipulation est présenté dans le document et leur utilisation est rappelée individuellement à chaque candidate et à chaque candidat en début d'épreuve par l'examinatrice ou l'examinateur. Les réglages proposés et détaillés dans le texte diffèrent souvent de ceux que les candidates et les candidats ont été amenés à effectuer lors de leur préparation, car l'objectif est de les évaluer face à une situation dont elles ou ils maîtrisent certes les concepts, mais dont la manifestation n'est pas une réplique exacte de ce qui a été vu en classe préparatoire. Nous insistons sur ce point car beaucoup de candidates et de candidats ne répondent pas exactement ou totalement au sujet et n'obtiennent donc pas le maximum de points à ces questions. Rappelons ici que toute interrogation de la candidate ou du candidat en rapport avec le mode de fonctionnement du matériel n'est absolument pas pénalisante, et qu'il est même vivement conseillé de faire appel à l'examinatrice ou à l'examinateur en cas de doute pour éviter une perte de temps inutile, ou une détérioration du matériel, fortement préjudiciable.

Nous avons encore vu des candidates et des candidats bloqués sur des questions, et qui ne demandent pas d'aide pour continuer l'épreuve malgré notre sensibilisation sur ce point. Rappelons qu'en de telles circonstances, un coup de pouce fait certes perdre quelques points, mais permet de poursuivre l'épreuve. L'aide apportée à une question n'impacte en aucun cas l'évaluation des questions suivantes.

Certains montages de type académique (goniomètre, interféromètre de Michelson, etc.) sont généralement connus des candidates ou des candidats mais cela ne les avantage pas pour autant, car les réglages nécessitent toujours beaucoup de soin et font l'objet de l'attribution de points dédiés, tout comme la qualité des mesures qui en découlent.

Pour entrer un peu plus dans le détail, voici ce que nous avons relevé sur les réussites et les difficultés cette année dans les compétences visées :

S'approprier :

- Bonne maîtrise globale des notions de diffraction et d'interférence.
- Certaines candidates et certains candidats rencontrent toujours des difficultés pour utiliser l'oscilloscope (adapter les réglages d'affichage pour améliorer la précision de la mesure, adapter la base de temps au problème lorsqu'on cherche un signal), mais dans l'ensemble, les candidats ont montré une meilleure maîtrise de l'outil. Dans certains cas, un échantillonnage des mesures adapté à la courbe (donc avec un pas éventuellement variable suivant les zones de la courbe) permettrait d'améliorer la qualité des mesures.

Réaliser :

- Globalement, les mesures sont faites assez soigneusement, les graphiques sont souvent bien dimensionnés et bien représentés avec des échelles et des unités appropriées. Toutefois, des mauvais choix d'échelles dans le tracé des graphes au papier millimétré et des graphes sans titre ni unité sont encore présents dans une partie des copies. Dans certains cas, un échantillonnage des mesures adapté à la courbe (donc avec un pas éventuellement variable suivant les zones de la courbe) permettrait d'améliorer la qualité des mesures.

- La technique d'alignement d'un faisceau laser avec deux miroirs est réalisée correctement la plupart du temps. Nous invitons les candidates et candidats à prendre du recul une fois le montage réalisé afin de vérifier que les différents éléments sont à la même hauteur, centrés et orthogonaux à l'axe optique. Souvent, les candidats ne montent pas deux lentilles consécutives à la même hauteur et perpendiculairement à l'axe optique.
- Nous insistons à nouveau sur l'importance de regarder, à l'aide d'un morceau de papier blanc, la qualité du faisceau après chaque élément pour veiller au bon alignement de celui-ci ou des différents éléments et également pour optimiser le flux de photons à travers tout le système. La plupart des candidates et candidats ne se servent que rarement des écrans et carrés de carton blanc mis à leur disposition à cet effet.
- Bonne maîtrise de la technique d'auto-collimation.
- Les tableaux de valeurs associés à un graphe ne sont pas toujours relevés même lorsque c'est explicitement demandé en début d'épreuve par l'examinatrice ou par l'examineur.
- La lecture sur un vernier micrométrique est globalement mieux maîtrisée.

Analyser :

- Les élèves font davantage de dessins pour expliquer leurs observations. Ils sont aussi souvent nécessaires dans l'établissement d'un protocole de mesures.
- Souvent, l'utilisation de schémas pour comprendre et expliquer la trajectoire de la lumière dans ou à travers certaines optiques (prisme, lame à faces parallèles, système afocal ...) n'est pas réalisée correctement, ou de façon peu rigoureuse. Par exemple, on trouve dans certaines copies des tracés de rayons dans un prisme sous incidence normale sur une de ces faces avec des représentations inexactes, voire assez fantaisistes.
- L'utilisation d'un graphique et d'une régression linéaire pour analyser une série de mesures et améliorer la précision du résultat n'est malheureusement pas souvent privilégiée.
- Certaines candidates et certains candidats écrivent ou donnent à l'oral des résultats aberrants sans se remettre en question (par exemple la somme des angles d'un prisme qui vaut 360° , un angle qui vaut 1 mm, une longueur d'onde mesurée de l'ordre de quelques nm, l'indice de réfraction du verre qui vaut environ 3, etc.).

Valider :

- Les calculs d'incertitude sont en général faits de façon systématique et correcte.

Communiquer à l'écrit comme à l'oral :

- Le soin apporté au compte-rendu, que ce soit concernant la propreté ou la rédaction, est très variable selon les candidates et les candidats. L'examinatrice ou l'examineur est bien conscient du temps limité de l'épreuve mais note que certains comptes-rendus sont parfois à la limite de la lisibilité et que d'autres peuvent ne contenir aucune phrase rédigée.
- Il est rappelé oralement au début de l'épreuve que la candidate ou le candidat doit faire appel à l'examinatrice ou à l'examineur pour valider et expliquer des mesures, ce qui est également précisé dans les sujets. Il est toutefois constaté que certaines candidates ou candidats oublient de faire cet appel, ce qui leur est préjudiciable.
- Les candidates et candidats exposent généralement de façon claire les manipulations qu'elles et ils ont effectuées, lorsque cela leur est demandé, attention toutefois à l'utilisation d'un vocabulaire précis.

Être autonome, faire preuve d'initiative :

- Lecture insuffisamment soignée du sujet conduisant à :
 - des appels trop fréquents à l'examinatrice ou à l'examineur ;
 - un non-respect des protocoles de réglages indiqués ;
 - des prises d'initiatives malencontreuses (par exemple démonter un laser et/ou des miroirs alors que cela n'est pas demandé, toucher au réglage d'un diaphragme alors qu'il est bien spécifié qu'il ne le faut pas écrire au feutre sur des optiques).
- Les montages proposés ne sont pas faits pour être utilisés en limite de réglage des composants. Lorsque le candidat ou la candidate s'aperçoit qu'il ou elle a manifestement fait une mauvaise utilisation du matériel (par exemple bloquer une vis en butée ou au contraire continuer à la tourner dans le vide) nous rappelons qu'il faut prévenir l'examinatrice ou l'examineur rapidement plutôt que de continuer à dégrader le matériel.
- Plusieurs candidates ou candidats ont rencontré des difficultés à utiliser le microscope viseur et le placent souvent à très grande distance de l'objet à visualiser.