

Epreuve de Travaux Pratiques de Physique, Filière PC

Lors du concours 2021, 460 candidates et candidats dont 23 candidates et candidats étrangers 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 (à une unité près).

Tous sujets confondus, les moyennes et les écarts-type des candidates françaises et candidats français sont les suivants :

1^{ère} com. : 145 candidats pour une moyenne de 11,82/20 avec un écart-type de 3,35

2^{ème} com. : 147 candidats pour une moyenne de 12,14/20 avec un écart-type de 3,23

3^{ème} com. : 145 candidats pour une moyenne de 11,49/20 avec un écart-type de 3,34

Les épreuves de Travaux-Pratiques des 3 commissions se sont déroulées à l'École polytechnique.

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

1. Remarques générales

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 (peu notées), 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 fourni 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 et 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 examinateurs **peuvent demander aux candidates et candidats de réaliser à nouveau et en sa 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.

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 légendes 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 témoigne 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 ?

2. Remarques sur les sujets d'électronique

Le programme de classe préparatoire se concentre sur l'étude des dipôles R, L et C ; lors des travaux pratiques il est toutefois possible de faire appel à des composants intégrés ou non linéaires (amplificateurs opérationnels, 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 premier semestre du programme de PCSI (bloc 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 trop souvent beaucoup de 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 horizontale et verticale est souvent très mal choisi, ce qui engendre alors, de grandes imprécisions de lecture. 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. 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 beaucoup 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 ou original 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 répondre directement à la première question souvent sans lire les descriptifs fournis et les schémas de circuits inclus dans l'énoncé et qui sont de nature à simplifier la problématique et à les orienter dans la réalisation de montages simplifiés.
- Le phénomène de résonance dans un circuit RLC est, paradoxalement, encore mal compris par beaucoup de candidates et de candidats. C'est aussi le cas pour la bande passante d'un filtre.

Analyser :

- De nombreux candidats et candidates 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.
- L'exploitation des courbes tracées est souvent menée trop superficiellement, voire parfois pas du tout. Les candidates et les candidats refont alors des mesures car ne font pas confiance à leurs propres courbes.
- L'analyse des circuits comportant des composants intégrés tels que des amplificateurs linéaires intégrés, échantillonneur-bloqueur, diodes ou photodiodes, en partant des informations données dans le texte, a été moins bien menée que l'année précédente.

Réaliser :

- La prise en main de l'oscilloscope est globalement bonne par la majorité des candidats, mais le réglage du trigger semble encore poser quelques problèmes.
- Une meilleure utilisation de la fonction FFT de l'oscilloscope.
- Une grande proportion des candidats et candidates ne sait pas déterminer le signe d'un déphasage à l'oscilloscope. Il est souvent toujours positif. La qualité des autres types de mesures est globalement en hausse.
- Quelques candidats et candidates, pour réaliser une analyse fréquentielle, placent par erreur des signaux rectangulaires en entrée d'un circuit. Elles et ils confondent la sortie du générateur et le signal pour la synchronisation avec le générateur.
- Certains, 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 candidats et candidates. 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 trop longs, 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 restée indétectable pour les candidates et les candidats car ils balayent souvent trop vite.

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. Et aussi 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.
- Malgré les recommandations des examinatrices et des examinateurs, les 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 :

- La majorité des candidates et des candidats n'arrivent pas à traiter l'intégralité du sujet car ils passent souvent trop de temps à des activités non expérimentales : calculs analytiques.
- Les candidats et candidates savent généralement faire appel à l'examineur ou examinatrice de façon pertinente et mesurée. Malgré les explications fournies par les examinatrices et 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.

3. 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 détecteur de lumière, et à les utiliser pour déterminer une grandeur physique. 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'examineur. 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 donc 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'examineur 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.

Les montages de type académique (goniomètre, interféromètre de Michelson) 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'interférences.

Réaliser :

- Globalement, les mesures sont faites assez soigneusement, les graphiques sont souvent bien dimensionnés. Toutefois, des mauvais choix d'échelles dans le tracé des graphes au papier millimétré et des graphes sans titre ni unités sont encore présents dans une partie des copies.
- La compréhension de l'alignement d'un faisceau laser sur un banc optique est maîtrisée seulement par une partie des candidats et candidates. 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.
- La plupart des candidats et candidates ne se servent que rarement des écrans et carrés de cartons blancs mis à leur disposition pour observer les faisceaux et leurs retours après chaque élément, ce qui engendre des alignements approximatifs. De plus, l'optimisation du flux lumineux à travers chaque composant optique n'est souvent pas réalisée correctement, en particulier lors de la réalisation d'une source collimatée.
- 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.
- Difficultés parfois présentes dans la lecture sur un vernier micrométrique.

Analyser :

- L'utilisation de schémas pour comprendre et expliquer la trajectoire de la lumière dans ou à travers certaines optiques (prisme, lame à face parallèle, 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 avec des représentations 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.

Valider :

- Les calculs d'erreur 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.

Être autonome, faire :

- Lecture insuffisamment soignée du sujet conduisant à un non-respect des protocoles de réglages indiqués et finalement :
 - à des appels trop fréquents à l'examinatrice ou à l'examineur.
 - ou à 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).