

Les programmes de physique, en ce qui concerne les activités expérimentales, réaffirment l'importance de l'acquisition par les étudiants de compétences spécifiques, ainsi que de capacités dans le domaine de la mesure et des incertitudes et du savoir-faire technique. L'épreuve de Travaux Pratiques de physique de la filière PC, pour la session 2022, s'inscrivait donc dans ce cadre.

Les règles sanitaires mises en place tout au long de la durée des concours ont été suivies par les candidats et les examinateurs pour assurer le meilleur déroulement possible des épreuves.

1/ CONSIGNES GÉNÉRALES ET DÉROULEMENT DE L'ÉPREUVE

Mise en place

Pour l'épreuve de Travaux Pratiques de physique, le candidat a besoin, d'un stylo, d'un crayon à papier, d'une gomme, d'une règle et d'une calculatrice. La copie pour rédiger le compte-rendu, et le papier brouillon lui sont fournis. Les téléphones portables sont formellement interdits dans les salles de TP. Le candidat est accueilli par son examinateur à qui il présente sa convocation ainsi qu'une pièce d'identité. Un numéro de manipulation lui est attribué et il est conduit par son examinateur dans la salle où se déroule l'épreuve. Chaque examinateur a la charge de 4 candidats.

Le début de l'épreuve fait l'objet d'une introduction orale par l'examineur du TP. Le candidat dispose du sujet de l'épreuve incluant une liste de matériels avec un descriptif numérique (consultable sur un ordinateur à son unique disposition) ou papier, de l'utilisation de chaque matériel mis à sa disposition. Un préambule théorique, si nécessaire, en lien avec le TP est aussi fourni au candidat.

☞ Attention : à lire attentivement : déroulement de l'épreuve

L'épreuve dure trois heures. Les étapes attendues du TP sont les suivantes :

- concevoir et justifier un montage expérimental à partir de matériels mis à disposition pour l'observation et les mesures d'un phénomène donné ;
- échanger avec l'examineur sur la manipulation ;
- réaliser le/les montage(s) et observer le/les phénomène(s) ;
- faire des mesures et déterminer les incertitudes associées ;
- exploiter des mesures expérimentales pour la validation d'une loi ou la détermination d'une valeur inconnue ;
- rédiger un compte-rendu de son TP.

Toutes ces opérations ont pour objectif d'évaluer la façon avec laquelle le candidat est capable de mobiliser les compétences « s'approprier », « analyser », « réaliser », « valider », « autonomie » et « communiquer » dans les trois heures imparties pour le TP de Physique.

L'épreuve se déroule en deux parties.

Dans une première partie, en fonction des objectifs définis pour le TP donné, le candidat doit savoir tirer profit du matériel mis à sa disposition, ainsi que du préambule théorique pour proposer le/les montage(s) et mesures à réaliser pour atteindre ces objectifs. **La restitution des connaissances théoriques ne fait pas partie des compétences évaluées dans le cadre des TP.** Cette première partie fait l'objet d'un échange avec l'examineur. Cet échange permet par exemple à l'examineur de valider, si nécessaire, le choix du montage proposé par le candidat ou de débloquer un candidat afin de lui permettre de poursuivre l'épreuve.

Dans une seconde partie, l'épreuve pratique proprement dite permettra de juger des capacités du candidat dans le domaine de la mesure et des incertitudes et du savoir-faire technique. L'outil informatique est utilisé, dans la mesure du possible, non seulement pour l'acquisition, la saisie ou le traitement de données, mais aussi dans le domaine de la simulation. Le candidat devra savoir gérer son temps pour, non seulement faire des mesures et interprétations correctes pour atteindre les objectifs du TP, mais aussi **rédigier un compte-rendu structuré.**

L'examineur pourra ainsi juger le comportement, l'esprit d'initiative et critique du candidat face à une situation qui lui sera inédite.

2/ BILAN DE L'ÉPREUVE ET REMARQUES

Capacité à concevoir et justifier un montage

Cette partie de prise de connaissance des informations théoriques détaillées et du matériel expérimental à la disposition des candidats constitue la première partie de l'épreuve.

Points forts : Globalement les candidats arrivent à bien intégrer le texte qui leur est fourni et à proposer une méthodologie correcte afin de remonter aux grandeurs physiques demandées.

Points faibles :

En optique une part importante des candidats n'arrive pas à terminer cette partie dans les temps et à rendre un rapport correct (problème de gestion du temps). De plus, bien que cela soit clairement précisé dans l'énoncé, un nombre significatif de candidats présente des schémas de montage très incomplets, voire manquants. Certains candidats écrivent un texte très long avec plein de choses inutiles reprises des documents, alors que les différentes questions de cette partie sont très claires et demandent des réponses précises avec justification. Certains candidats ne proposent pas spontanément de déterminer graphiquement des grandeurs physiques à partir des résultats expérimentaux pour améliorer la précision, souvent ils proposent de faire une moyenne de leurs valeurs expérimentales alors que beaucoup de candidats proposent de ne faire qu'une mesure expérimentale pour déterminer une grandeur à partir des formules données dans les documents.

En magnétisme le sujet (liste de matériel + éléments théoriques fournis + questions) fait 5-6 pages. Il est crucial que les candidats parviennent à en comprendre les implications pendant le temps imparti mais cela semble être une difficulté. L'expérience attendue est en général de mesurer une série de points et de tracer une courbe pour en sortir l'information demandée. La validation de la loi consiste à vérifier si la courbe est une droite. D'autres raisonnements ne sont pas exclus mais en général répondent moins bien à la question posée. La notion de champ vectoriel pose des problèmes aux candidats notamment la différence entre « dépend de x » et « orienté suivant (Ox) ». Il semble y avoir une confusion entre les notions « théorique/expérimental » et « analytique/numérique » : la question « quelle est la valeur numérique théorique de ... ? » donne très souvent lieu à une réponse sous forme de formule analytique.

En électronique cet aspect des compétences est assez bien maîtrisé par les candidats mais on rencontre encore quelques candidats perdus dans l'exploitation des documents constructeurs, des appareils de mesures et d'observation. La documentation est pourtant limitée et facile à identifier.

Capacité à réaliser des montages et observer un ou des phénomènes

Utilisation du goniomètre – Les candidats sont généralement capables d'identifier les éléments constitutifs d'un goniomètre (lunette, collimateur, ...) et de les décomposer en leurs composants élémentaires (fente, lentille de collimation, objectif, oculaire, ...). Ils arrivent également à régler l'instrument grâce à la notice fournie, mais peu nombreux sont ceux qui peuvent expliquer le pourquoi de ces réglages : pourquoi a-t-on besoin d'une lumière collimatée ? Qu'est-ce que l'auto-collimation ? À quoi sert-elle ?

Montages sur banc – Les éléments du montage sont montés à la va-vite dans leur support, rarement correctement alignés et les réglages transverses (centrage ou perpendicularité à l'axe optique) ne sont pour ainsi dire jamais considérés. Longitudinalement, rappelons qu'une image doit être nette : il faut bien souvent insister avant d'obtenir une mise au point digne de ce nom.

Optique géométrique – Les candidats maîtrisent mal l'optique géométrique/la formation des images. Beaucoup pensent que les images se forment « au point focal ». Les notions d'objet ou d'image à l'infini ne sont pas maîtrisées, les candidats pensant qu'il suffit de placer l'objet ou l'écran « loin sur le banc ». Le terme de « conjugaison » n'évoque pas grand-chose, et les relations de conjugaison sont souvent appliquées en oubliant qu'elles font intervenir des valeurs algébriques. Lorsqu'ils ont besoin d'un faisceau collimaté, ils ne voient pas toujours comment le réaliser avec une source, une fente et une lentille. La méthode d'auto-collimation est mal connue et/ou mal maîtrisée.

Interférences/diffraction – Le principe de fonctionnement d'un réseau de diffraction est généralement connu mais il reste des candidats pour lesquels un réseau ne fait que « diviser la lumière ». Trop peu de candidats utilisent le banc optique sur toute sa longueur pour établir une figure de diffraction exploitable.

Polarisation/biréfringence/pouvoir rotatoire – Le concept de polarisation en tant que direction du champ électrique est très souvent mal compris ; il en découle que la biréfringence rectiligne dans les milieux n'est pas maîtrisée. Les polarisations non-rectilignes (par ex. elliptique ou circulaire, ou même une absence de polarisation) sont mal connues, si bien que dès qu'une polarisation est considérée comme autre chose que linéaire, de nombreux candidats y voient immédiatement une polarisation circulaire, ce qui est quand même un cas fort particulier. Par ailleurs, la recherche des lignes neutres dans une lame d'onde (ou cristal biréfringent quelconque) semble être quelque chose de très compliqué pour les candidats alors que cette compétence figure explicitement au programme.

Michelson – Beaucoup de candidats négligent de parfaire l'éclairage de l'instrument. Fréquemment les réglages latéraux et/ou en hauteur ne sont pas vérifiés. L'auto-collimation est assez mal maîtrisée.

Magnétisme - Les cas de boucle de masse sont un point très délicat du programme sur lequel les erreurs ont été jugées avec indulgence. Il n'est pas toujours clair que le zéro d'un appareil de mesure doit être fait en l'absence de la source dont on veut mesurer l'effet (exemple : « pour une mesure du champ $B(x)$, je fais le zéro du teslamètre en me plaçant à $x = 0$ »). La maîtrise du multimètre est inégale pour les modes voltmètre et ampèremètre (série/parallèle, AC/DC). En mode ohmmètre, très peu de candidats ont pensé à retirer du circuit la résistance à mesurer.

Electronique – La réalisation de circuits simples (ici sur Labdec) est généralement bien maîtrisée dès le départ ou alors rapidement comprise (80 % des cas). Quasiment aucun étudiant en échec sur la réalisation. Cependant, lorsque les signaux ne sont pas « classiques » (DC, sinusoïde, créneau, ...), les candidats peuvent avoir des difficultés à les observer (ou/et à les décrire). D'autant que dans certains des cas, les réglages automatiques des échelles (type « autoscale ») peuvent ne pas fonctionner : le candidat se fie malgré tout à ce qu'il voit (même si cela est inexploitable) ou n'arrive pas à faire le réglage manuellement. Les câblages sont correctement établis quand le candidat a bien compris le travail demandé dans le sujet. Les erreurs courantes constatées sont :

- une confusion entre un fil et la représentation d'un « vecteur » tension à l'entrée et/ou la sortie du montage (courts-circuits qui n'autorisent pas la mise sous-tension). L'examineur doit trop souvent aiguiller les candidats par des questions afin de corriger ce défaut !
- les masses des appareils non reliées.

Capacité à faire l'acquisition de mesures et à déterminer le cas échéant des incertitudes

Le résultat d'une mesure n'a de sens qu'accompagné de son unité et de son incertitude. Ces deux points sont traités un peu plus systématiquement ces dernières années, mais la prise en compte des incertitudes est loin d'être systématique ; bien souvent, avoir fait une régression semble exonérer les candidats de ce travail.

Du point de vue statistique, lorsqu'il est possible de répéter une mesure, on attend des candidats qu'ils fassent au moins deux relevés pour simplement valider la valeur obtenue ; on souhaiterait ensuite les voir multiplier ces relevés pour en tirer moyenne, écart-type et incertitude statistique.

S'agissant de l'incertitude expérimentale, une identification préalable correcte des sources d'erreurs est aussi importante que leur estimation ultérieure. L'erreur est cependant trop souvent uniquement attribuée à l'outil de mesure en oubliant le relevé lui-même...

Exemple 1 : la position d'une image est annoncée à +/- 0,5 mm au motif qu'elle est repérée avec une règle alors que la plage de mise de point s'étend sur 10 mm.

Exemple 2 : la précision d'un pointé angulaire est annoncée à 10" d'arc (soit la résolution du vernier ou de l'afficheur du goniomètre) malgré une latitude expérimentale de pointé de près de 40".

Calculs d'incertitudes : les formules du type « erreur sur le résultat = moyenne quadratique des erreurs sur les mesures » sont appliquées sans tenir compte des conditions de leur validité. Lorsque l'exploitation des mesures s'effectue via une fonction composée ou non linéaire, discuter avec les candidats de la méthode la plus universelle et la plus élémentaire, à savoir l'estimation de l'incertitude à partir d'un calcul aux dérivées partielles, laisse perplexe la grande majorité d'entre eux. Il est à noter également que beaucoup de candidats utilisent des ajustements, linéaires ou non, pour estimer des grandeurs (le pas du réseau par ex.). Dans ce cas-ci, une propagation d'erreur sur les mesures de chaque point ne tient pas compte du processus de régression – ces incertitudes doivent au contraire apparaître en tant que barre d'erreur sur chaque point à partir desquels la régression est effectuée, ce qui permet d'établir, numériquement ou non, une gamme de validité des paramètres d'ajustement. Ceci n'est pas du tout maîtrisé par les candidats.

Enfin, quand les résultats finaux découlent d'une moyenne par une approche statistique, bien souvent les incertitudes données sont celles associées à la mesure unique, sans considérer que la précision de la moyenne dépend de la distribution des résultats et donc de l'écart-type en première approximation.

Cas particulier de la mesure des angles au moyen du goniomètre

Rappelons que pour définir une déviation il faut deux droites... Pourtant, la mesure de la déviation angulaire d'un faisceau est parfois confondue avec le simple pointé de la direction émergente, de sorte que sont parfois annoncées des « déviations du faisceau de 340 degrés » en raison d'un amalgame entre « angle de déviation » et « position angulaire ».

Capacité à exploiter des mesures expérimentales - valider une loi ou déterminer une valeur inconnue

La mesure d'un paramètre en fonction d'un autre, le tracé d'une courbe, n'est pas un réflexe systématique chez les candidats. La validation graphique d'une loi physique linéaire n'est souvent que partiellement réalisée : les candidats constatent « visuellement » que la variation est linéaire mais ne calculent ni coefficient directeur, ni ordonnée à l'origine afin de les comparer aux paramètres de la relation à démontrer. Cela dit, faire une régression linéaire suppose que la fonction varie bien linéairement avec la variable... Il existe autre chose que des droites pour représenter un phénomène ! Il est également très rare que soient discutées les causes de l'existence d'une ordonnée « parasite » à l'origine (lumière résiduelle ou extinction incomplète dans la loi de Malus par exemple), et plus rare encore qu'en soit proposée la correction.

Cas particulier de la diffraction

Beaucoup de candidats énoncent par cœur des formules du type $\theta = \lambda D/a$, mais peu savent expliquer avec précision à quoi correspond θ . Les candidats énoncent facilement l'approximation des petits angles mais ne lui associent aucune réalité expérimentale.

Cas particulier de la mécanique du transfert thermique

On note toujours des difficultés chez les candidats à expliquer, dans un contexte expérimental, ce qu'est le flux thermique, comment il est généré et comment alors le déterminer. Souvent, les candidats s'attachent à des déterminations indirectes. Le lien entre les variations de la température et du flux thermique sur le banc reste encore une source de difficulté. En mécanique, déterminer la direction d'un moment sur un banc en lien avec une force mesurée est loin d'être assimilée (sans la manipulation d'équation), les unités des moments et des forces ne sont pas encore bien différenciées. La compréhension des liaisons reste mal comprise par de nombreux candidats. En mécanique des fluides, la traduction de l'équation de Bernoulli sur un banc est problématique pour les candidats, surtout quand son expression change de forme (en termes de hauteur par exemple et que les mesures de pression sont faites en hauteur de colonne d'eau). La maîtrise des caractéristiques des fluides (parfait, newtonien) s'est améliorée et la viscosité semble mieux appréhendée par les candidats.

Capacité à faire une restitution écrite ou orale de leur travail de TP

Les candidats perdent beaucoup de points en raison d'un compte-rendu trop souvent minimaliste : quelques phrases pour expliciter le protocole sans aucun commentaire sur la problématique physique, absence quasi-systématique de schémas légendés avec tracé des rayons et grandeurs physiques pertinentes, pas de report des mesures brutes, pas de détail sur la façon dont ces mesures ont été exploitées, et enfin, à peu près aucune analyse critique des résultats. Introduction et conclusion sont négligées alors qu'il faut absolument résumer en entrée le problème posé et se positionner en fin de rapport sur la résolution de celui-ci.

Les comptes-rendus se sont encore appauvris ces dernières années avec l'introduction des moyens informatiques : un fichier de données n'est pas un compte-rendu ! Les étudiants ayant analysé leurs données sur logiciel doivent détailler leur démarche et ne pas simplement poser le résultat. Un ajustement automatique, linéaire ou non, doit être commenté et pas simplement recopié sans explication. Enfin, l'utilisation d'un logiciel pour tracer et analyser des graphes ne dispense pas du respect des règles de présentation habituelles : un tracé, qu'il soit informatique ou papier doit être légendé, les axes doivent être nommés et accompagnés des unités utilisées, les barres d'erreur ne doivent pas être oubliées, et l'échelle doit bien sûr être adaptée ! Rappelons enfin qu'une représentation graphique doit être accompagnée du tableau des valeurs qui a permis de l'établir.

Remarques spécifiques

En début de séance, plutôt que de se précipiter sur le matériel expérimental, les candidats gagneraient à prendre le temps de lire attentivement les sujets afin de comprendre en détail le travail demandé et profiter des informations qui y figurent (suggestion de protocoles, ébauches d'interprétation, etc.).

Il est également à noter que les examinateurs sont parfois excessivement sollicités par des candidats visiblement très peu autonomes et/ou prenant très peu d'initiatives : les candidats devraient se souvenir que ces compétences sont évaluées au même titre que les autres et qu'une épreuve de concours n'est pas une séance de TP.

3/ CONCLUSION - PERSPECTIVES 2023

Il serait souhaitable de profiter des séances de travaux pratiques faites dans les classes préparatoires pour apprendre à être le plus autonome possible, pour développer des capacités d'analyse et d'esprit critique. Nous rappelons, comme l'année précédente, qu'un effort doit être fait sur la présentation des résultats obtenus (restitution orale, comptes-rendus écrit).

En conclusion, les épreuves de TP doivent permettre aux candidats de mettre en valeur leurs aptitudes à s'approprier une expérience, à l'analyser, à réaliser un montage expérimental approprié, à faire des mesures correctes, à déterminer les incertitudes associées et à valider les résultats obtenus en utilisant le(s) loi(s) appropriée(s) avec un sens critique. L'examineur sera toujours aux côtés du candidat en assurant un suivi interactif de l'avancement du travail et de la réflexion du candidat tout au long de l'épreuve de TP de Physique.

Nous souhaitons bonne révision et bonne chance aux candidats de la session 2023 des épreuves orales.