

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 2023, s'inscrivait donc dans ce cadre.

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, le papier brouillon et une calculatrice 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 de son 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 si nécessaire 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 **rédiger 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 un point important dans l'appropriation par le candidat de son 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 :

Certains candidats se contentent trop souvent d'une vague ébauche avant de se lancer dans les montages alors qu'ils devraient anticiper un peu plus précisément ce qu'ils comptent faire/comment le faire. Les protocoles sont souvent présentés alors qu'ils ne sont pas finalisés, et beaucoup de questions de l'examineur sur des points précis du travail à venir se retrouvent alors sans réponse. Il arrive également que des protocoles soient présentés sans aucune maîtrise du phénomène physique à l'origine du processus. Par ailleurs, il est regrettable que les échanges avec l'examineur soient compromis par manque de vocabulaire. Souvent les mots manquent au candidat, ou alors ils sont utilisés sans rigueur.

En optique, des notions de base telles que la diffraction, la réfraction, la dispersion ou les interférences sont invoquées à la légère et rarement à propos. Savoir avec précision de quoi on parle est fondamental avant de vouloir faire ou étudier quoi que ce soit, mais les propositions des candidats sont souvent basées sur un simple « par cœur »

Les difficultés les plus importantes rencontrées cette année dans la conception des montages et leur justification ont concerné les expériences relatives aux phénomènes d'interférences + diffraction (fentes d'Young) en fonction de la source lumineuse, et les expériences relatives à la polarisation de la lumière.

En magnétisme, cette partie de l'épreuve implique de prendre connaissance d'explications théoriques de 3 à 5 pages et d'identifier les éléments pertinents pour la conduite de l'expérience. Il faut ensuite concevoir le montage nécessaire pour mesurer les quantités utiles, mais aussi déterminer les courbes à tracer pour valider la loi théorique. La plupart des candidats ont correctement proposé (étant bien guidés dans ce sens par le sujet) une courbe dont la forme théorique attendue est une droite.

En électronique, c'est assez bien dans l'ensemble. Les documents fabricants sont en général correctement exploités. Quelques candidats ont eu besoin de l'examineur pour démarrer et faire un choix correspondant au sujet. Cette assistance ne se fait qu'à la demande du candidat et l'examineur en tient compte dans l'évaluation du candidat.

Le montage potentiométrique pour régler une tension est quasiment ignoré par tous les candidats (réglage d'une tension de 0 à +V ou de -V à +V). Cependant, les problèmes de masse s'améliorent en électronique

En mécanique, mécanique des fluides et thermodynamique, les candidats sont fortement invités à s'interroger sur le matériel qui est mis à leur disposition, sur son fonctionnement, sur les concepts et grandeurs physiques ou chimiques qu'il mobilise. Cette réflexion leur permettra de mieux poser leurs explications et souvent de trouver des réponses simples aux questions pratiques qui leurs sont posées. Dans le cas des restitutions orales ou écrites, il est important, pour être à l'aise dans les explications, d'utiliser un vocabulaire scientifique, exact et approprié. De nombreux termes sont confus, maladroits.

Capacité à réaliser des montages et observer un ou des phénomènes

Nous rappelons ci-après les erreurs que rencontrées chaque année dans la réalisation des montages et l'observation 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, 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 ? A quoi sert-elle ? De nombreux candidats ne se souviennent plus comment déterminer pratiquement le minimum de déviation. Ils proposent souvent de ne déplacer que la lunette et non le réseau).

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. Certains candidats pensent par exemple qu'il suffit de placer l'objet ou l'écran « loin sur le banc ». 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.

Interférences/diffraction – Le principe de fonctionnement d'un réseau de diffraction est généralement connu. Cependant il y a encore 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 certains candidats alors que cette compétence figure explicitement au programme.

Michelson – Le plus gros problème concerne les difficultés que peuvent rencontrer certains candidats à bien éclairer l'interféromètre de Michelson afin d'observer des figures d'interférences correctes lorsque l'interféromètre est préréglé. Fréquemment les réglages latéraux et/ou en hauteur ne sont pas vérifiés..

Magnétisme –

La manipulation du GBF et de l'oscilloscope a été plutôt bien maîtrisée durant cette session 2023. En revanche, le branchement des bobines de Helmholtz ou du rhéostat crée des difficultés inattendues : certains candidats ne semblent pas comprendre que le courant entre par l'une des bornes et sort par l'autre, si bien qu'ils ne relient que l'une des bornes au circuit.

Electronique –

Pour le câblage, il y a beaucoup trop souvent des confusions entre un fil et un « vecteur » repérant une tension sur un schéma. Cela conduit en pratique à des courts-circuits.

On observe aussi quelque problème avec les masses (réf 0V). Les candidats connaissent bien la définition d'une tension (ddp) mais se préparent à observer à l'oscilloscope une tension... mise en court-circuit par un fil relié à la masse ! Par exemple pour $v_e(t)$ et $v_s(t)$.

Des masses sont aussi oubliées parmi les liaisons « alimentation-GBF-montage-oscilloscope ». On trouve souvent seulement la liaison « alimentation-montage » puis seulement « GBF-oscilloscope » par exemple. Dans ces cas, les phénomènes ne sont pas possibles à observer et les erreurs sont en général longues à corriger.

Mécanique, mécanique des fluides et thermodynamique –

Même si certains candidats n'ont qu'une faible expérience en pratique, ils doivent être attentifs au respect des protocoles, mais aussi s'attacher à réaliser des mesures de qualité en s'interrogeant sur leurs pratiques. Cette démarche réflexive doit leur permettre de trouver le meilleur compromis entre nouveauté du matériel, qualité des résultats de mesure et temps imparti. De nombreux candidats consomment un temps précieux sur des activités et des réflexions accessoires, ou bien ne parallélisent pas certaines tâches, ou encore réalisent les mesures de manière trop lentes ou trop rapides, suivant le contexte, sans évaluer ces incidences sur la suite de l'épreuve.

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

Les nouveaux programmes ont mis à jour les connaissances que doivent acquérir les candidats en métrologie. Le contenu des restitutions orales et écrites des candidats amène à quelques commentaires.

Le calcul d'incertitude correspond à l'analyse physique ou chimique du processus de mesure pour déterminer la qualité d'un résultat, permettant par exemple de poser un jugement de manière la plus objective et documentée. Aucun futur ingénieur ne peut faire l'impasse sur ce sujet.

Cela nécessite d'une part de connaître le processus d'analyse du mesurage, et d'autre part de pouvoir relier les facteurs d'influence du processus de mesure avec les concepts et techniques mathématiques qui permettent de les quantifier.

Par exemple, les modèles de mesurage, certes limités dans le programme, mais associés à des processus d'analyse bien connus, ne sont pas assimilés, ce qui conduit les candidats à propager des variances relatives alors que le modèle est une somme.

Autre exemple, la formule de calcul d'un estimateur de l'écart-type de la population à partir de l'échantillon est connue (alors qu'elle est largement accessible sur les outils numériques) mais son interprétation reste un mystère pour le candidat ; et surtout la confusion entre l'incertitude sur une mesure et l'incertitude sur la moyenne conduit à des erreurs grossières sur le traitement des données.

On peut aussi regretter que les hypothèses qui conduisent à choisir une méthode de détermination (de type A ou B) ou une loi de probabilité (uniforme ou normale), ou un intervalle de confiance (95% ou 99%, loi normale ou non) ne sont ni connues, ni vérifiées (à quoi correspond un z-score de 2 ? Quelle est sa pertinence quand la répétabilité est estimée avec 5 mesures ? Quel est le nombre minimum de mesures pour estimer la loi comme normale à 5% près, etc.).

L'utilisation d'une simulation par une méthode de Monte Carlo est intéressante, mais le candidat doit savoir la positionner dans le processus d'analyse. A ce jour, pour estimer l'incertitude composée, il n'existe qu'une méthode, celle du GUM, mais deux techniques : la propagation des variances et la simulation de Monte Carlo. L'utilisation des deux techniques nécessite d'avoir les estimateurs des paramètres de position et de dispersion, les lois de probabilité associées et le modèle de mesurage. La simulation de Monte Carlo ne peut donc être utilisée pour déterminer l'écart-type d'une grandeur d'entrée.

Concernant la validation de modèle, en particulier linéaire, le choix des variables sur les axes (en lien avec les mesures réalisées et l'objectif visé) et des critères de validation ne sont pas encore maîtrisés par la majorité des candidats.

Quelques exemples pratique :

Exemple 1 : la position d'une image est annoncée à $\pm 0,5$ 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".

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 ».

Electronique –

Pour l'acquisition des mesures, le réglage des appareils est en général fait au hasard avec une grande confusion AC / DC (multimètres et oscilloscopes). Les mesures de valeurs efficaces, moyennes, la détermination d'une composante continue ne sont pas toujours maîtrisées. Les candidats manquent d'autonomie dans ce domaine et cela a pour origine une écriture très approximative des grandeurs électriques (par exemple $u(t)$ est différent de UAC et de UDC et de UAC+DC). Alors qu'une écriture rigoureuse simplifie et donne le choix, le bon réglage de l'appareil pour la mesure.

On entend trop souvent à tort « voltmètre alternatif » et « voltmètre continu » à la place de voltmètre efficace et voltmètre moyen. Pour l'oscilloscope, AC est un réglage pour observation de la composante variable et DC pour l'observation complète du signal (composante continue et composante variable). Ces notions basiques sont fondamentales pour les candidats.

Très peu de candidat ont été capable de justifier l'observation d'un signal variable avec une composante continue. On demande aux candidats de comparer leurs mesures avec les relations théoriques données dans le sujet ou par le fabricant. Les ordres de grandeurs sont souvent suffisants pour valider les résultats.

Mécanique, mécanique des fluides, thermodynamique -

On peut attendre d'un candidat qu'il connaisse les unités des principales grandeurs mécaniques (force, moment d'une force, vitesse angulaire) et qu'il sache identifier ces grandeurs (direction et point d'application pour les grandeurs vectorielles) sur un banc expérimental. Enfin, appréhender ces grandeurs au-delà de leur formule de détermination permet de mieux comprendre les dispositifs expérimentaux.

Concernant l'utilisation de logiciel de mécanique, les candidats doivent être attentifs au système qu'ils modélisent, qui doit être directement lié au banc qu'ils décrivent (sens des actions mécaniques, point d'application).

En thermodynamique, la connaissance des thermomètres (le thermocouple et le thermomètre résistif) devrait être un minimum. Si la distinction entre le régime transitoire et le régime permanent est bien comprise, les raisonnements mobilisant la température, le profil énergétique, la puissance thermique le sont beaucoup moins. L'inconfort des candidats se traduit par un retour systématique aux équations alors que la compréhension réside dans l'observation de ce qui se passe sur le banc d'étude.

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

Des difficultés peuvent être rencontrées parfois pour la modélisation d'une évolution expérimentale même pour une loi simple (cas de la loi de Malus par exemple). L'idée de réaliser une régression linéaire ou de faire une simple moyenne à partir de plusieurs mesures n'est pas automatique chez tous les candidats. La mesure d'un paramètre en fonction d'un autre, le tracé d'une courbe, n'est pas non plus un réflexe systématique chez les candidats. Les candidats constatent souvent « 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. 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 $\theta = \lambda \cdot D/a$, 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.

Cas particulier de l'électronique

L'exploitation des mesures comme les valeurs mesurées avec un multimètre (efficaces ou moyennes ne sont toujours pas précisées sur les schémas de mesures), comme les relevés d'oscillogrammes sans préciser l'origine et le réglage AC-DC sont régulièrement des erreurs qui empêchent de faire une bonne exploitation des résultats et une bonne conclusion.

Cas particulier du magnétisme

L'utilisation du multimètre pose des problèmes récurrents, avec notamment une assez grande incompréhension de la différence entre les grandeurs « AC » et « DC » et de leur lien avec l'amplitude d'un signal sinusoïdal. Néanmoins, le montage du voltmètre en parallèle et de l'ampèremètre en parallèle a posé relativement peu de problèmes cette année. L'utilisation du multimètre comme ohmmètre (à brancher alors sur la résistance seule, retirée du circuit) est une source d'erreur systématique.

L'utilisation du teslamètre renvoie à différentes difficultés conceptuelles. L'objectif de « faire le zéro » n'est pas clair si bien qu'il est parfois fait en présence de la source de champ magnétique que l'on cherche à étudier. La sonde 2 axes crée des confusions entre « mesurer le champ le long de l'axe (Ox) » et « mesurer la composante B_x du champ ». Finalement, le résultat des mesures est souvent assez propre.

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

Le déroulé du TP associé aux nombreux outils mis à disposition doivent permettre aux candidats de faire une restitution orale (durant les échanges planifiés avec l'examineur) et écrite (compte rendu du TP). On constate encore malgré tout que 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 appauvris avec l'introduction des moyens informatiques alors qu'ils devraient permettre aux candidats de mieux organiser leur restitution écrite. Rappelons encore une fois qu'**un tableau de données de mesure 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**. Beaucoup trop de candidats oubli cet aspect du compte rendu.

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 2024

Les candidats doivent tirer profit des séances de travaux pratiques faites en classes préparatoires pour non seulement apprendre à être le plus autonome possible mais aussi 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 2024 des épreuves de travaux pratiques de physique.