

# MANIPULATION DE PHYSIQUE – ORAL COMMUN

## I. RAPPELS SUR L'ORGANISATION

Les épreuves de manipulation de physique 2022 se sont déroulées pour la deuxième année consécutive dans les laboratoires de physique et de physique appliquée de l'École Normale Supérieure de Paris-Saclay. Les candidats sont appelés à se présenter au point de rendez-vous et à l'horaire indiqué sur leur convocation. En cas de retard d'un ou plusieurs candidats, un numéro de téléphone est indiqué afin de leur permettre de rejoindre le jury qui les interrogera. Cette année 2022, trois jurys ont œuvré de conserve.

Comme lors des précédentes sessions, les candidats ont participé au tirage au sort de leur sujet de manipulation, ces sujets appartenant à différents domaines de la physique tels que la mécanique, l'optique, l'électromagnétisme, l'électricité, l'électronique, les ondes, la thermodynamique, la thermique, etc. Les sujets sont régulièrement renouvelés et si certains supports physiques sont conservés, les questions s'y rapportant sont modifiées.

## II. OBJECTIFS

La majeure partie des manipulations proposées repose sur des systèmes physiques élémentaires et cherche à illustrer leurs principes. Les membres du jury rappellent que les objectifs de cette épreuve sont d'évaluer les capacités du candidat à :

- mettre en pratique ses connaissances théoriques ;
- mettre en œuvre un montage expérimental ;
- obtenir, interpréter et exploiter des résultats expérimentaux ;
- s'adapter le cas échéant à un problème expérimental nouveau.

Les sujets proposés sont donc rédigés de manière à :

- vérifier les connaissances théoriques de base ;
- guider le candidat pour établir la démarche expérimentale afin d'obtenir des relevés de bonne qualité ;
- inciter le candidat à interpréter les résultats obtenus. La confrontation des résultats expérimentaux aux prédéterminations théoriques devrait être systématiquement proposée par le candidat.

Nous rappelons aux candidats qu'ils doivent rédiger un compte rendu de manipulation clair et lisible dans lequel il faut :

- répondre brièvement aux questions ;
- détailler le cas échéant les calculs servant à la prédétermination d'une ou plusieurs valeurs de composants ;
- présenter clairement le mode opératoire ;
- quand l'expérimentation s'y prête, privilégier la représentation graphique des mesures,
- effectuer une analyse critique des résultats et surtout faire une synthèse en dressant des conclusions par rapport aux notions essentielles abordées dans le sujet à traiter.

De manière générale, cette épreuve ne doit pas être considérée comme une seconde interrogation orale de physique, mais bien comme un exercice de manipulation, complémentaire à cette dernière. En ce sens, les sujets sont rédigés afin que la phase de prédétermination ne monopolise pas plus d'un quart de la durée de l'épreuve. En cas de blocage, les examinateurs sont même susceptibles de donner des réponses au candidat afin de lui permettre d'aborder au plus tôt la partie manipulation.

### III. DEROULEMENT DE L'EPREUVE

Avant le commencement de l'épreuve, des recommandations et conseils sont donnés au candidat. Ceux-ci portent à la fois sur les attentes du jury concernant les manipulations et le compte rendu, sur l'utilisation du matériel mis à disposition, et d'une manière générale sur le déroulement de l'épreuve. Il est vivement conseillé aux candidats de porter une attention toute particulière à ces recommandations, et surtout de mettre en œuvre les instructions de manipulation qui sont fournies. Au cours de la manipulation, les examinateurs sont amenés à interroger le candidat pour tester ses connaissances, mais aussi éventuellement pour l'orienter dans ses manipulations, et juger de ses capacités à appréhender un problème nouveau. Ces interrogations sont menées de façon progressive, afin de vérifier que le candidat maîtrise les notions de base du domaine, avant d'entrer plus en détail dans l'analyse de la manipulation proposée. Il est rappelé que les interrogations portent sur les programmes de première et de deuxième année de classe préparatoire.

### IV. THEMES

Les thèmes de manipulations portent sur l'électricité, l'électronique, l'optique, les ondes, la mécanique, la thermodynamique et la thermique. A titre d'exemple, citons les thématiques suivantes :

- caractérisation de dipôles (linéaires ou non) et de quadripôles
- analyse harmonique par filtrage,
- oscillateurs (mécaniques et électriques),
- spectroscopie avec prisme ou réseau,
- optique géométrique,
- étude d'un système résonnant mécanique (diapason),
- solide en rotation,
- résonateur mécanique (régime libre et forcé),
- induction, mesure de mutuelles,
- ondes (mécaniques, électromagnétiques, ultrasonores) : propagation, interférences, ...
- conduction thermique,
- filtrage analogique et numérique
- énergie stockée dans des dipôles
- mesure de niveau d'eau par effet capacitif

Certains sujets sont directement issus du programme des classes préparatoires. D'autres abordent des thèmes qui n'ont pas été explicitement vus en travaux pratiques par les candidats. Pour ces derniers, les sujets sont libellés de façon à guider le candidat de telle sorte qu'ils puissent aborder un problème nouveau à partir des connaissances acquises en cours.

### V. CONSEILS GENERAUX

Dès le début de l'épreuve, il est vivement conseillé aux candidats de faire une lecture attentive et complète du sujet. Les indications données dans l'énoncé du sujet ou oralement doivent être prises en compte. Beaucoup de candidats ne lisent pas assez en détail l'énoncé et font souvent ce qu'ils ont l'habitude de faire sans tenir compte de ce qui est demandé. On trouve souvent dans l'énoncé toutes les informations utiles pour effectuer le TP correctement sans être hors sujet. Les candidats doivent également prendre le temps d'analyser les équipements avec lesquels ils vont travailler : domaines d'utilisation, plaques signalétiques, mise en garde, informations relatives à la précision...

L'approche de la manipulation comporte une phase d'observation, une phase d'interprétation et une phase d'analyse critique des résultats. Les éventuelles divergences entre la théorie et la pratique doivent être absolument interprétées et justifiées, ou permettre de rétablir des erreurs éventuelles tant pratiques que théoriques. Le jury insiste sur le fait que le candidat doit remettre en question, s'il y a lieu, ses calculs théoriques, sa mesure ou le modèle théorique utilisé. Dans le cas d'un modèle mal approprié, un nouveau modèle doit être proposé. Toujours de manière générale, le jury souhaite faire remarquer que la connaissance

d'ordres de grandeurs dans les domaines d'applications courantes de la physique, si elle ne constitue pas une obligation, facilite tout de même grandement la détection d'erreurs grossières. Il est rappelé que l'usage de la calculatrice personnelle est autorisé, les candidats doivent donc amener leurs calculatrices.

Bien que pratiques à utiliser, en particulier pour des mesures répétitives, les fonctionnalités automatiques d'un oscilloscope numérique ne dispensent pas les candidats de savoir régler un oscilloscope et mesurer des grandeurs physiques à l'aide de curseurs.

Les mesures sont souvent imprécises et les conditions expérimentales ne sont pas toujours optimales pour réduire les incertitudes. L'évaluation des incertitudes et l'identification des sources principales d'erreur sur des mesures simples doivent être proposées plus spontanément par les candidats. Les candidats doivent exploiter et discuter leurs mesures. La validation d'une loi s'effectue à l'aide d'une régression linéaire adaptée (pas à l'oeil) et discutée.

De manière générale, le jury regrette la lenteur de certains candidats. Si le soin apporté à un relevé de mesure est une qualité appréciée, il est rappelé que les sujets de manipulation sont prévus pour être traités dans leur intégralité pendant les 3 heures d'interrogation. Il ne saurait être une bonne option pour un candidat de n'aborder que partiellement le problème posé ou de ne se focaliser que sur les questions théoriques en délaissant la partie expérimentale pourtant principalement évaluée durant l'épreuve. La partie expérimentale peut intervenir après une étude théorique, ceci afin de valider le modèle proposé, ou avant afin de donner des pistes pour l'étude théorique.

## VI. REMARQUES DU JURY

- Comme les années précédentes, la quasi-totalité des candidats se présentant aux épreuves orales a déjà manipulé. Les périodes de confinement et le contexte particulier lié au covid n'ont pas altéré la bonne préparation des candidats à ces épreuves expérimentales. Plusieurs candidats se sont même tout particulièrement distingués par leur aisance en laboratoire. La plupart d'entre eux s'adapte assez vite au matériel proposé et a connaissance des relevés demandés. Les candidats semblent préparés, et montrent des réflexes manifestement acquis au cours de leurs années de préparation. On peut toutefois regretter que dans de nombreux cas, ces réflexes acquis sont utilisés sans recul, **et éventuellement à mauvais escient**.
- Les candidats doivent utiliser le vocabulaire scientifique de la discipline. Un effort de rigueur est absolument nécessaire.
- Le jury est frappé par le contraste entre le goût des candidats pour les longs développements mathématiques dans lesquels se perd bien souvent le sens physique du problème, et l'incapacité des mêmes candidats à mettre en œuvre (correctement) une opération mathématique élémentaire sur le système ou les données de mesure. De trop nombreux candidats ont ainsi peiné à réaliser la lecture d'un angle modulo  $2\pi$ , utiliser des relations trigonométriques de base dans un triangle, établir le coefficient directeur d'une droite à partir de deux points de mesure, ...
- D'une manière générale, les candidats ne font une analyse spontanée correcte des dispositifs expérimentaux proposés que lorsqu'il s'agit de montages très classiques. Lorsque le montage proposé s'écarte un tant soit peu des figures canoniques - tout en restant bien entendu dans le programme - l'analyse devient approximative voire impossible. La cause vient souvent d'un manque de lecture du sujet lui-même. Bien souvent les réponses attendues sont orientées par des explications présentes dans le sujet qui ne sont pas prises en compte. On note aussi des réponses automatiques « réflexes » qui ne correspondent pas à la question posée. Il en ressort une impression de manque d'autonomie des candidats.
- Les protocoles établis par les candidats sont souvent incomplets et imprécis : absence de signal, de choix de composants, de grandeurs physiques à mesurer, de branchements, choix de matériel non proposé, sélection du type de source d'alimentation non établie ou non justifiée, grille de mesure non adaptée et omettant les points de mesures dimensionnant. Certains étudiants utilisent les affichages des alimentations continues comme mesure de tension au lieu de voltmètres

- La mise en forme du modèle sous la forme linéaire ou affine telle que la grandeur physique à mesurer est la pente n'était pas souvent autonome.
- Le jury évalue aussi la capacité des candidats à réagir à l'aide apportée pendant les épreuves, aussi bien sur la compréhension du sujet que sur les méthodes de mesure.
- Pendant le déroulement de l'épreuve, beaucoup de candidats s'arrêtent à l'observation du fonctionnement des montages proposés et manquent d'esprit critique. Les mesures fausses passent donc complètement inaperçues et quelquefois des fonctionnements de montages complètement erronés sont considérés comme satisfaisants. Trop souvent les énoncés ne sont pas lus complètement et les candidats ne répondent donc pas aux questions posées (pas de relevés expérimentaux, pas de conclusions...). Enfin, il n'est pas rare qu'il y ait confusion entre relevé attendu (théorique) et relevé expérimental issu de la manipulation...
- Peu de candidats connaissent les réglages des oscilloscopes, ni même leur principe de fonctionnement. Il est rappelé que la connaissance d'un modèle particulier d'oscilloscope n'est bien sûr pas exigée. Après la présentation générale du matériel en début de séance, les examinateurs restent à la disposition des candidats pour les guider dans l'utilisation de l'appareil concerné. A charge du candidat d'adapter au mieux les calibres de l'appareil pour réaliser les relevés expérimentaux les plus précis possibles. L'utilisation de la fonction "AutoSet" ne peut constituer la seule stratégie de réglage de cet appareil. De même, et bien que les fonctionnalités des oscilloscopes fassent l'objet de beaucoup de progrès, nous rappelons que le calibre vertical des voies d'un oscilloscope ne sert pas régler l'amplitude du signal.
- Pendant la phase de mesure, beaucoup de candidats confondent résolution d'un appareil et incertitude de mesure, ce qui conduit souvent à passer sous silence les causes principales d'incertitudes et à appliquer des modèles sur des incertitudes négligeables.
- Les caractéristiques d'un capteur, à savoir la linéarité, la sensibilité, la gamme de fonctionnement et le temps de réponse ne sont pas souvent testées lors de l'étude de son comportement.
- Comme les années précédentes, le jury a constaté que les candidats maîtrisaient mal les notations complexes. Ainsi, les candidats ont recours aux notations telles que les impédances symboliques en régime harmonique même si les systèmes sont excités par des signaux non sinusoïdaux. Les candidats doivent aussi être capables d'établir les équations différentielles régissant le fonctionnement d'un système sans passer par le calcul symbolique.
- Dans l'étude des oscillations mécaniques forcées, il est nécessaire d'attendre un certain temps avant de prendre la mesure de l'amplitude en régime établi : il est bon de se rappeler que la durée du régime transitoire peut être évaluée préalablement en étudiant les oscillations libres. D'autre part, on doit s'attendre à ce que la fréquence de résonance en amplitude décroisse quand on renforce l'amortissement. En ce qui concerne l'étude de mouvements accélérés, en translation ou en rotation, le report de la variable de position en fonction du temps sur un graphique ne permet d'évaluer les vitesses instantanées que de façon très imprécise. En tous cas, ce n'est pas la bonne méthode pour démontrer qu'un mouvement est uniformément accéléré. Sur un plan plus général, rappelons que pour établir graphiquement une loi, porter les grandeurs mesurées sur les axes suffit rarement : il faut le plus souvent changer de variables pour obtenir une droite. Cela suppose parfois une réflexion un peu plus approfondie sur la modélisation posée.
- En optique, la notion d'image n'est pas toujours bien maîtrisée, les candidats confondent parfois image et tache lumineuse. Lors de l'étude du réseau, l'usage traditionnel de l'expression « diffraction par un réseau » fait que souvent les candidats ne distinguent pas sur l'écran ce qui provient de la diffraction par une fente (ou un trait du réseau) de ce qui provient des interférences par N fentes, et par suite ils ne savent pas retrouver rapidement les directions d'interférence constructive à l'infini. Le jury tient à signaler que cette année des prestations très satisfaisantes sur l'optique ondulatoire ont été constatées, notamment sur l'interféromètre de Michelson.

- L'interprétation physique des phénomènes en particulier d'induction est parfois très laborieuse.
- Le jury a constaté à plusieurs reprises des relevés expérimentaux ne comportant qu'un seul point de mesure, ou un nombre grandement insuffisant de point de mesures, donnant lieu à une courbe « artistiquement » extrapolée souvent de façon complètement aberrante. Une fois le diagramme complété, trop peu de candidat comparent les résultats expérimentaux avec la théorie, affirmant parfois que les résultats concordaient alors que leur analyse théorique était fausse.
- Le jury a souvent constaté la difficulté qu'ont certains candidats à établir un lien entre une équation théorique juste et des mesures elles aussi justes.
- L'utilisation des outils numériques d'analyse spectrale, et les concepts associés (échantillonnage, unités des mesures...), sont mal maîtrisés par un grand nombre de candidats. Il s'agit pourtant d'outils largement utilisés à l'heure actuelle dans les domaines des sciences de l'ingénieur.
- L'épreuve de manipulation de physique doit être l'occasion pour le candidat de montrer ses capacités à manipuler les notions d'incertitude. Des efforts sont encore à mener par les futurs candidats dans ce sens. Avant de faire des calculs complexes reposant sur des hypothèses de distribution parfois contestables et souvent mal maîtrisées, les candidats doivent avant tout apprendre à déterminer la ou les causes prépondérantes d'incertitudes et à en estimer la valeur. Ils doivent également faire la différence entre précision et justesse mais aussi adapter le nombre de chiffres significatifs par rapport à l'incertitude donnée. Malheureusement, le recours à des calculs compliqués empêche souvent les candidats de faire appel au bon sens.
- Le jury attire l'attention sur le fait qu'il est important de réaliser des mesures en essayant de réduire l'erreur relative. De façon générale, il faut faire en sorte de réaliser les meilleures mesures possibles et ne pas hésiter à expliquer les précautions prises pour atteindre cet objectif. Il est navrant de constater que nombre de candidats confondent vitesse et précipitations, il en résulte des mesures et des caractérisations approximatives, induisant inutilement une augmentation des sources d'incertitudes et d'erreurs.
- Certains candidats ont obtenu de bonnes, voire de très bonnes notes à l'épreuve, soit lorsqu'ils ont montré une aisance dans l'analyse et la réalisation des expériences proposées, soit parce qu'ils ont bien réagi lorsque les examinateurs leur sont venus en aide.