

2 Physique

2.1 Remarques générales

2.1.1 Déroulement de l'épreuve

Comme indiqué dans le règlement, l'oral de physique du concours Mines-Ponts dure environ une heure au tableau et comporte au moins deux parties. Le candidat dispose d'un temps de préparation de 15 minutes sur table pour la première partie. La deuxième partie est cherchée et résolue en direct au tableau. L'interrogation peut comporter une question de cours ou uniquement des exercices. Les modalités de l'interrogation sont annoncées à l'extérieur de la salle et rappelées si besoin au début de l'épreuve. Les examinateurs ont tous les mêmes exigences et les mêmes objectifs, même si la procédure d'interrogation diffère un peu de l'un à l'autre.

Les examinateurs ont pour objectif d'aider les candidats à révéler le meilleur d'eux-mêmes. L'épreuve orale est un échange entre l'examineur et le candidat, et n'est surtout pas un « écrit au tableau ». Le candidat est libre de choisir sa méthode ou le contenu de son exposé lors d'une question de cours. L'examineur s'adapte à ses propositions et intervient régulièrement, indépendamment de la valeur de la prestation. Le candidat n'a pas à s'inquiéter des interventions de l'examineur qui peut à tout moment interrompre l'exposé ou rompre le silence pour de multiples raisons, toutes dans l'intérêt du candidat : demande de précisions, élargissement du sujet, question intermédiaire ou supplémentaire. Ces interventions font partie intégrante de l'interrogation et ne sont jamais malveillantes.

2.1.2 Attentes

Les candidats au concours Mines-Ponts, sont interrogés dans le respect strict du programme des classes MPSI et MP2I, PCSI, puis MP et MPI, PC et PSI. Nous insistons sur le fait que la première année de classe préparatoire fait intégralement partie du programme d'évaluation. L'interrogation peut aborder aussi des aspects expérimentaux vus en travaux pratiques. Notons que la session 2024 du concours a vu l'introduction de la partie « constitution et transformations de la matière » ainsi que les autres parties estampillées « chimie », des programmes de physique-chimie des filières MP et PSI. Il est toujours étonnant de constater que des candidats peuvent avoir fait des impasses totales sur certaines parties du programme, et pas seulement sur celles de première année ! Le volume de connaissances et compétences exigibles est déjà très vaste ; il est donc inutile de se charger avec des connaissances hors programme, particulièrement mal assimilées, surtout si les notions de base ne sont pas connues.

Les examinateurs ont conscience du stress que peut provoquer l'enjeu d'une telle épreuve. Une erreur n'est en soi jamais fatale, surtout si le candidat corrige spontanément ou à la suite d'une petite remarque de l'examineur. De même un contrôle d'homogénéité peut éviter bien des bévues. Néanmoins des erreurs répétitives, ou grossières sur des calculs simples ne sont plus attribuables à de banales étourderies.

La durée de l'épreuve est suffisamment longue. L'oral ne doit pas être une course de vitesse. Il est toujours préférable de prendre un peu de temps pour réfléchir, clarifier ses idées ou vérifier ses calculs, plutôt que de se précipiter ou recommencer plusieurs fois la même tâche, ce qui engendre de la panique. Les examinateurs s'étonnent que des candidats n'écoutent pas leurs questions et même refusent d'y

répondre, en particulier quand ces questions ne sont pas notées sur l'énoncé. Rappelons encore une fois que les interventions de l'examineur font partie de l'interrogation, et que les réponses ou réactions qu'elles suscitent sont évaluées et comptent pour la note finale.

L'attitude au tableau requiert quelque attention. Le candidat ne doit pas rédiger in extenso : c'est un oral, pas un écrit. Néanmoins, il doit gérer l'espace de façon rationnelle, et dire tout haut ce qu'il aurait écrit sur une copie. Trop de candidats restent quasi-muets en gribouillant des choses illisibles. L'usage de schémas est grandement encouragé, même si les droites ou les cercles tracés à la main ne sont pas parfaits. Il est aussi important de ne pas effacer avant d'y être invité par l'examineur. Un langage clair, précis et grammaticalement correct est requis de la part du candidat. Les sigles utilisés sont définis lors de la première utilisation en prononçant les mots qui les constituent (par exemple : « Onde plane progressive harmonique » pour OPPH). Les notations doivent être rigoureuses, notamment en ce qui concerne les éléments infinitésimaux. L'homogénéité concerne également les vecteurs et les scalaires. Les lettres grecques doivent être correctement nommées et dessinées.

Si besoin, les candidats utilisent leur calculatrice personnelle le jour de l'oral et il est judicieux de vérifier avant l'épreuve que celle-ci est bien chargée. Son usage doit rester rationnel car l'application numérique peut souvent se faire de tête. Rappelons aussi qu'un résultat numérique requiert une unité. Une calculatrice sert aussi à tracer des courbes et à les exploiter. Les candidats sont donc invités à mieux savoir utiliser leur calculatrice pour ces applications afin de ne pas tâtonner et s'y reprendre plusieurs fois. Le commentaire argumenté des résultats, qu'ils soient chiffrés ou non, est toujours bienvenu. Il est même parfois intéressant de mettre à jour une contradiction, ce qui permet de critiquer le modèle employé, ou au contraire de valider telle ou telle étape du raisonnement.

Une question de cours vise aussi bien à vérifier la robustesse des connaissances du candidat, qu'à le mettre en confiance afin d'aborder des questions plus approfondies dans les meilleures conditions. Notons qu'une connaissance formelle du cours, sans recul, ne suffit pas. Le traitement d'une question de cours ne peut pas non plus se limiter à une démonstration sans contextualisation, application(s) ou ordre(s) de grandeur, voire sans illustrations expérimentales. Il est vivement conseillé aux candidats de traiter le sujet de façon assez large, et d'élaborer un plan, présenté au début, incluant une phrase d'introduction et une phrase de conclusion. Les examinateurs recommandent enfin aux candidats d'arriver suffisamment à l'avance pour éviter le stress de l'imprévu, d'avoir une tenue correcte et de faire preuve d'un minimum de courtoisie avec les examinateurs, le personnel du concours et les autres candidats. Il est également important de prévoir de quoi boire et s'alimenter avant ou entre les épreuves.

2.1.3 Évaluation

Nous rappelons que l'oral du concours Mines-Ponts classe les candidats au sein de chaque équipe. Les examinateurs sont parfaitement conscients qu'ils interrogent des jeunes gens et des jeunes filles d'un niveau certain, sélectionnés en amont par des épreuves écrites exigeantes. Néanmoins, l'examineur utilise toute l'échelle de notes mises à sa disposition, c'est-à-dire de 1 à 20. La note est un outil de classement et non un strict jugement de valeur absolue.

Les meilleures notes sont attribuées aux candidats ayant manifesté toutes les qualités attendues pour entrer dans les écoles du concours : le cours est non seulement su, mais compris en profondeur, le candidat fait preuve d'autonomie et peut parfaitement justifier les étapes de son raisonnement

ainsi que les éventuelles hypothèses engagées, les calculs sont menés correctement et les éventuelles erreurs corrigées spontanément. Un candidat répond volontiers aux questions de l'examineur sans y voir aucune agression, il est capable de citer ou d'évaluer des ordres de grandeur sans calculatrice, de commenter des résultats littéraux comme numériques, et de se laisser mener sur des questions d'ouverture plus générales.

Au contraire, les notes les plus basses caractérisent des candidats aux connaissances et méthodes très fragiles, superficielles, ou même ayant fait l'impasse sur des parties du programme, dont très fréquemment, celui de première année. Ces notes peuvent caractériser de l'ignorance, mais plus souvent un manque total d'assimilation ou de compréhension des concepts. De nombreux candidats apprennent du cours ou des solutions par cœur, sans aucun recul, et sans être capables de réinvestir ces connaissances dans un contexte différent. Beaucoup de candidats révèlent malheureusement une incapacité à faire le tri dans leurs connaissances et font preuve d'une réelle détresse face à une petite nouveauté ou même une simple question de contrôle.

2.2 Physique - Filière MP

Conseils aux futurs candidats

L'interrogation peut débuter ou terminer par une question de cours. Il faut prendre du recul pour contextualiser sa présentation, donner des ordres de grandeur et analyser la situation physique présentée. Une question ne peut pas se limiter à une suite de calculs sans discussion préalable des modèles mis en jeu et sans interprétation des expressions obtenues.

Pour les exercices le candidat doit prendre de la distance par rapport aux résultats de cours, les situations pouvant être différentes. Il faut faire preuve de réflexion et construire sa démarche de résolution, les expressions devant être justifiées sans réticence aux calculs. Par exemple, en thermodynamique, il est délicat pour les candidats de faire la distinction entre fluide de la PAC et l'air de la maison.

La manipulation des éléments différentiels, avant par exemple le calcul d'une intégrale, doivent être cohérents.

En mécanique et en thermodynamique lorsque l'on aborde un problème il faut identifier le jeu minimal d'inconnues d'un problème donnant le nombre d'équations à établir.

Certains candidats éprouvent des difficultés à utiliser les grandeurs algébriques (bilans thermiques, et induction électromagnétique en particulier).

Il est possible de vérifier le résultat en essayant des valeurs particulières à certains coefficients pour éliminer des formules aberrantes. Cette méthode est peu utilisée.

Les candidats prennent rarement le temps de vérifier l'homogénéité de leurs résultats (en particulier, il est fréquent d'avoir une erreur d'homogénéité puissance/énergie). Ils encadrent alors la formule obtenue sans vérification. Il existe pourtant des méthodes efficaces pour vérifier son résultat. Il est possible d'utiliser une formule provenant d'un résultat du cours. Il est conseillé de s'entraîner en particulier en électromagnétisme et en électrocinétique où les dimensions des grandeurs physiques mises en jeu peuvent être parfois aboutir à des expressions complexes. Le jury a aussi rencontré des candidats qui valident l'homogénéité de leurs expressions alors qu'elle n'est manifestement pas avérée.

Enfin, lors des applications numériques, beaucoup de candidats se trompent sur la conversion des unités, conduisant à des ordres de grandeurs erronés. Il faut prendre le temps d'analyser la cohérence

de la valeur obtenue.

Analyse thématique

- **Optique** : L'optique géométrique est souvent mal maîtrisée y compris pour les notions de base (en particulier pour obtenir l'image d'un objet à l'infini hors axe optique). Le jury note cependant que le recours aux relations de conjugaison n'est plus aussi systématique, les tracés sont souvent utilisés.

Un certain nombre de difficultés sont liées à l'absence de vocabulaire : les notions réel/virtuel, stigmatisme rigoureux/approché ne sont pas toujours maîtrisées, ce qui conduit parfois à des explications très laborieuses.

En optique physique, en dehors des problèmes associés à l'optique géométrique (tracés de rayons, en particulier pour l'observation à l'infini), l'obtention détaillée d'une différence de marche peut être très délicate (théorème de Malus et de la loi de retour inverse de la lumière, dont le rôle simplificateur en présence de lentilles est souvent mal connu).

La notion d'observation d'interférences à l'infini est mal connue (elle est limitée aux réseaux, et son extension aux systèmes interférentiels à 2 ondes pose parfois problème, par exemple des trous d'Young dans le plan focal objet d'une lentille de projection sans condition sur la position de l'écran).

Dans le cas du Michelson en configuration coin d'air la lentille est très souvent placée dans le plan focal image de la lentille et les conditions d'éclairage méconnues.

Certains candidats ne savent pas montrer la formule de Fresnel. La notion de perte de contraste par élargissement angulaire ou spectral de la source est mal maîtrisée.

- **Diffusion** : sur l'ensemble des problèmes de diffusion à une dimension, travailler dans des systèmes de coordonnées autres que cartésiennes s'avère souvent délicat. L'expression de volumes finis ou infinitésimaux ainsi que l'utilisation des opérateurs d'analyse vectorielle sont de réels problèmes pour un nombre non négligeable de candidats. Il est d'ailleurs à rappeler qu'un bilan local permet, en plus d'obtenir des équations aux dérivées partielles, de dégager le sens physique du problème tout en évitant l'utilisation d'opérateurs.

Il convient de ne pas interchanger les lois de Fick et Fourier, que ce soit dans leur dénomination ou dans les termes que ces lois contiennent.

Nombre de candidats ont tendance à utiliser des résultats de cours sans chercher à comprendre le problème proposé. En particulier, l'existence de termes de source doit requérir une attention particulière. Enfin, l'utilisation de la loi de Newton comme condition aux limites n'est que rarement maîtrisée (erreur de signe ou de surface).

Il est enfin rappelé qu'en diffusion thermique, si les hypothèses sont vérifiées, l'utilisation des résistances thermiques allège considérablement les calculs.

- **Thermodynamique** : de manière générale, toute utilisation d'un théorème ou d'un principe thermodynamique requiert la définition rigoureuse d'un système : constitution, fermé ou ouvert, fixe ou mobile, ...

Dans ce domaine le candidat doit faire preuve de rigueur : choix des surfaces d'échange, conventions d'orientation des transferts, utilisation d'un vocabulaire adapté (on ne parle pas de transfert de température par exemple). Il faut penser à définir le système comme en mécanique. Les notions de résistance thermique et d'ARQS sont mal maîtrisées, parfois ignorées. Certains candidats ont du mal à interpréter si le flux se conserve ou s'il faut faire la somme des flux thermiques.

Le jury a noté des difficultés à manipuler les systèmes ouverts en régime permanent à une entrée et une sortie, ainsi que dans l'utilisation des enthalpies massiques de transition de phase.

Les confusions en thermodynamique sont nombreuses. Certains candidats affirment qu'une transformation isotherme est nécessairement adiabatique, ou encore que la puissance dissipée par effet Joule correspond à la puissance thermique traversant une vitre.

- **Mécanique** : Les difficultés rencontrées sont souvent liées à l'analyse du problème étudié : choix des variables cinématiques, des méthodes d'étude (dynamiques ou énergétiques). Parfois les relations cinématiques simples sont oubliées, alors que les relations dynamiques correctes sont obtenues.

De nombreux candidats confondent bases de projection et référentiels. Il est fréquent de voir écrit la loi de la quantité de mouvement dans un référentiel galiléen en ajoutant les forces d'inertie d'entraînement et de Coriolis, ou au contraire de ne pas préciser le référentiel et de les oublier. De manière générale les confusions et difficultés sont nombreuses dans l'utilisation du théorème du moment cinétique, ou lors de la mise en équation avec les ressorts. Certains candidats confondent pendule simple et pendule pesant.

Les lois de Coulomb sont connues, mais le cas de deux solides en contact est souvent délicat : oubli de la loi de l'action et de la réaction, manque de précision sur les orientations et le système étudié, la majorité des candidats citant LA force de contact et LA vitesse de glissement, sans préciser le système étudié.

Certains candidats pensent qu'une corde transmet intégralement le poids d'une masse m accrochée à une extrémité.

- **Électromagnétisme** : Cette partie est relativement bien traitée (car l'aspect calculatoire y est développé), au détriment parfois du sens physique. L'exploitation des symétries et invariances peut être délicate, sans distinction entre les deux aspects. L'ARQS est plus problématique : les courants variables sources de champs électriques (en l'absence de charges) ne sont pas toujours identifiés, l'étude des approximations associées est souvent source de difficultés, de même que l'utilisation d'inductances propres ou de mutuelles.

Les exercices d'induction montrent souvent un manque d'analyse préalable du problème. Trop peu de candidats orientent de manière cohérente les grandeurs électriques algébriques dans les schémas équivalents.

- **Électrocinétique** : Certains candidats ont des difficultés à évaluer le comportement à basses fréquences et à hautes fréquences du circuit étudié. Le rôle d'un filtre comme moyenneur ou l'utilisation des filtres en cascade est méconnu des candidats.

Le jury note une confusion fréquente entre valeur moyenne et fondamental d'un signal, la valeur moyenne est parfois considérée comme étant dans le domaine haute fréquence. L'exploitation d'oscillogrammes expérimentaux pour l'étude de fonctions de transfert est souvent complexe pour les candidats.

On note également des difficultés à utiliser le pont diviseur de tension et les lois d'associations série parallèle des résistances. Il est nécessaire que les résistances soient en série pour appliquer la formule du diviseur de tension.

Pour le régime transitoire, la détermination des conditions initiales et la représentation de l'allure de la tension de sortie en fonction du temps peut sembler complexe pour certains candidats.

- **Mécanique quantique et physique statistique** : En mécanique quantique certains candidats ne savent pas retrouver l'équation de Schrödinger spatiale, et la notion de superposition d'états pose beaucoup de difficultés. L'effet tunnel reste étonnamment méconnu, beaucoup de candidats confondent marche et barrière de potentiel. Le jury rappelle qu'une fonction d'onde n'est pas nécessairement normalisable.

En physique statistique, la difficulté la plus fréquente est le passage d'une particule unique à un système de particules indépendantes, en particulier le calcul de la variance.

- **Ondes** : La relation de structure $\vec{B} = (\vec{u} \wedge \vec{E})/c$ n'est pas toujours valable.

Beaucoup de candidats utilisent $k = \omega/c$. Elle n'est pas toujours valable dans le vide.

Certains candidats ont du mal à définir une vitesse de phase et à justifier pourquoi elle est autorisée à dépasser la vitesse de la lumière. Ils ont du mal à justifier qu'une onde plane monochromatique n'a aucune réalité physique.

- **Chimie** : Certains candidats ont de réelles difficultés à identifier les espèces mises en jeu dans les transformations chimiques et à équilibrer les réactions.

Le jury a noté un manque de rigueur dans les bilans de matière en électrochimie (rôle des coefficients stœchiométriques, passage des grandeurs électriques aux quantités de matière, confusions entre nombre de particules et nombre de moles), et les courbes intensité-potentiel, mal connues.

On note des confusions entre aspects thermodynamiques et aspects cinétiques.

La notion de vitesse de réaction, et la détermination d'une concentration en fonction du temps n'est pas toujours bien maîtrisée

2.3 Physique - Filière MPI

Les remarques générales exposées au début de ce rapport sont applicables à l'oral de physique de la filière MPI. Nous rappelons toutefois ici que Le but des épreuves orales est de produire un classement des candidats admissibles en fonction des compétences suivantes : maîtrise du cours, aptitude à élaborer et à présenter clairement la mise en équation d'un problème à étudier, capacité à mener à bien les calculs correspondants et à examiner d'un œil critique les résultats obtenus. En cas de blocage dans

la résolution ou d'erreurs non détectées par le candidat, l'examineur peut apporter des indications pour faciliter (dynamiser) la réflexion du candidat. Pour une meilleure séparation des prestations orales, cette aide intervient toujours après avoir laissé le temps au candidat de détecter par lui-même les erreurs commises ou les incohérences des résultats obtenus.

Le jury tient à signaler que le niveau en physique des candidats admissibles en filière MPI est satisfaisant dans son ensemble et qu'ils ont été, pour la plupart d'entre eux, bien préparés à cette épreuve.

Analyse thématique

Cette section regroupe les erreurs fréquemment commises afin de faciliter la préparation des futurs candidats.

- **Optique** : De manière générale, l'optique géométrique de première année est bien maîtrisée. En optique ondulatoire, il est important de bien préciser d'une part les conditions d'éclairage du dispositif utilisé et d'autre part les conditions d'observation. Pour les schémas de montage des dispositifs interférentiels, il est nécessaire de soigner l'optique géométrique pour trouver les sources secondaires et le champ interférentiel.

- **Thermodynamique** : Les exercices sur les transferts thermiques relevant de la conduction ou de la convection sont bien traités, mais les ordres de grandeur des conductivités thermiques des différents matériaux qui nous entourent sont trop souvent méconnus.

Les problèmes dont l'analyse repose sur une approche descriptive du rayonnement thermique du corps noir sont très mal traités.

En ce qui concerne les machines thermiques, le principe de la cogénération est très rarement présenté correctement.

- **Mécanique** : Les calculs de moments de forces par rapport à un axe posent des difficultés à une partie des candidats, même dans des cas simples, que le calcul se fasse à partir d'un produit vectoriel ou en passant par le bras de levier dont la définition est parfois floue.

Les expressions des forces d'inertie pour la dynamique en référentiel non galiléen sont mal connues. Dans le cas d'un référentiel en rotation autour d'un axe fixe, certains candidats perdent énormément de temps à calculer la force d'inertie d'entraînement à partir du double produit vectoriel, alors que l'expression faisant intervenir la distance à l'axe de rotation serait bien mieux adaptée. Dans l'étude des mouvements avec frottement/glisement, si l'énoncé des lois de Coulomb est souvent connu, son application échoue parfois à cause de confusions entre vitesse dans le référentiel d'étude et vitesse de glissement d'un solide par rapport à un autre solide.

- **Électromagnétisme** : En électrostatique, les notions de symétries des sources et des champs sont bien maîtrisées. En revanche, on observe souvent des confusions entre lignes de champ et équipotentielles. Le théorème de Gauss est connu, mais pas toujours bien appliqué (surfaces de Gauss inadaptées à la géométrie du problème). Nous rappelons que les systèmes modélisés par une sphère, un cylindre infini ou un plan infini doivent être maîtrisés à la perfection. De même, l'établissement des expressions du champ et du potentiel créés par un doublet de charges dans l'approximation dipolaire fait partie des capacités exigibles.

Dans la partie « propagation et rayonnement », les candidats ont souvent du mal à reconnaître une onde polarisée circulairement. La condition de quantification des solutions stationnaires dans le cas des cavités à une dimension n'est quasiment jamais établie correctement.

L'induction est la partie la moins bien maîtrisée. Lors de l'étude des phénomènes d'induction, l'algébrisation des variables se doit d'être soignée et les bilans énergétiques correctement écrits. Un ordre de grandeur de l'épaisseur de peau dans le cas du cuivre à 50 Hz, mérite d'être connu ou retrouvé rapidement. La formulation locale des équations de Maxwell peut être utile dans des problèmes à géométrie simple. Cependant, de nombreux candidats confondent les systèmes de coordonnées cylindriques et sphériques.

- **Physique quantique** : La maîtrise des concepts de mécanique quantique au programme de la filière est satisfaisante. Les candidats ont bien compris les notions d'états stationnaires et de barrière de potentiel. Ils doivent savoir retrouver rapidement, par la méthode de leur choix, les niveaux d'énergie et les expressions des fonctions d'onde des états stationnaires d'un quanton confiné dans un puits unidimensionnel de hauteur infinie.
- **Électrocinétique** : Les candidats doivent maîtriser les méthodes d'étude d'un circuit simple : loi des noeuds, des mailles, pont diviseur, relations courant-tension des dipôles linéaires classiques. De plus, bien que les relations de continuité dans la bobine ou le condensateur soient connues, celles-ci sont rarement utilisées correctement lors de l'étude de la réponse indicielle d'un système linéaire.

Rappelons aussi que pour être exploitable, le tracé d'un diagramme de Bode doit être réalisé avec un minimum de soin. Il faut renseigner les axes, représenter les points significatifs et faire figurer les asymptotes. Le cas échéant, la calculatrice peut être utilisée pour des tracés de courbes ou des résolutions graphiques complexes.

- **Mécanique quantique** : La maîtrise des concepts de mécanique quantique au programme de la filière est satisfaisante. Les candidats ont bien compris les notions d'états stationnaires et de barrière de potentiel. Les candidats doivent savoir retrouver rapidement, par la méthode de leur choix, les niveaux d'énergie et les expressions des fonctions d'onde des états stationnaires d'un quanton confiné dans un puits unidimensionnel de hauteur infinie.

On ne peut que rappeler que l'utilisation de résultats de cours (relation de dispersion, relations de structure, ...) sans vérification préalable des hypothèses, est souvent source de déconvenue. En particulier, la connaissance de la signification des termes du cours (plane, progressive, stationnaire, évanescence, ...) est un prérequis pour cette vérification.

2.4 Physique - Filière PC

Analyse thématique

- **Optique** : l'optique géométrique est très souvent mal maîtrisée, notamment les constructions, alors qu'elles sont généralement incontournables pour étudier un interféromètre ou un système