

REMARQUES D'ORDRE GÉNÉRAL

Les épreuves orales de physique-chimie se sont correctement déroulées, sans incident particulier. Nous tenons à féliciter les candidats pour le travail accompli et la qualité de leur préparation.

La moyenne de l'épreuve est de 10,75 ; l'écart type de 3,96.

Les candidats sont respectueux de la structure et des modalités de l'épreuve. La ponctualité est respectée, toutefois quelques candidats sont arrivés juste à temps pour leur oral alors qu'ils sont convoqués une demi-heure avant. Un futur ingénieur doit savoir respecter les consignes données.

Quelques conseils à destination des candidats

- Avant d'entrer dans la salle, préparer un stylo, la feuille de passage et la pièce d'identité. Trop de candidats perdent une précieuse minute de préparation à chercher péniblement un stylo ou leur pièce d'identité au fond de leur sac.
- Ne pas frapper à la porte sous peine de déstabiliser le candidat au tableau et l'examineur qui est obligé de se déplacer. Attendre que l'examineur ouvre la porte.
- L'épreuve comporte deux exercices de poids voisins sur deux parties différentes du programme. Il est important de passer du temps de préparation et du temps de présentation sur chacun d'eux.
- L'oral n'est pas un écrit vertical : il ne s'agit absolument pas de tout écrire au tableau, mais de se tourner vers l'examineur pour lui exposer oralement son raisonnement. Il est encore trop fréquent d'assister à des calculs confidentiels sur le tableau masqué par le candidat, accompagnés de marmonnements inaudibles.
- Éviter tout relâchement verbal (du type « koa ? », « hein ? », « keskia ? », « OK », « ouais », « ce truc », l'expression « du coup », comme seul viatique intellectuel, une appropriation infondée des objets à manipuler : « ma » vitesse, « ma » concentration) ainsi que vestimentaire.
- Ne pas être déstabilisé, voire agressif, lorsque l'examineur fait une remarque ou pose une question. Les efforts des examinateurs pour remettre un candidat dans le droit chemin ou pour valoriser une prestation déjà bonne sont parfois mal interprétés.
- L'organisation du tableau est cruciale, de façon à pouvoir embrasser l'ensemble de la progression sans perdre un temps précieux. Ne pas effacer hâtivement des résultats pouvant être ensuite utiles.
- Introduire l'exercice de manière qualitative.

- Faire des schémas clairs pour illustrer le problème, définir les notations appropriées et préciser les conventions d'orientation.
- Vérifier l'homogénéité des formules. Ne pas oublier l'unité pour les applications numériques. Commenter les résultats spontanément est toujours apprécié par l'examinateur.
- Apprendre à se servir de la calculatrice collègue fournie lors de l'oral et indiquée dans la notice du concours. Son utilisation peut s'avérer chronophage lorsque les puissances de dix n'ont pas été réduites au préalable : il est largement préférable et apprécié que le candidat propose de sa propre initiative une évaluation de l'ordre de grandeur quitte, si besoin est, à finaliser par le calcul précis sur machine.

Quelques défauts à corriger en vue des futures épreuves orales de physique-chimie

- Mauvaise définition d'une variation, confondue avec une diminution.
- Difficultés à mettre en œuvre une méthode de séparation des variables.
- Incapacité à évaluer un ordre de grandeur numérique de tête.
- Mauvaise connaissance des solutions des équations différentielles classiques.
- Les conditions initiales sont souvent appliquées à tort sur la solution de l'équation sans second membre et non pas sur la solution complète.
- Remplacement partiel de termes littéraux par leurs valeurs numériques, ce qui fait disparaître l'homogénéité.
- Un manque de connaissances physiques surprenant : ordres de grandeur de puissances usuelles méconnus (tranche nucléaire, fer à repasser...). Difficile dans ces conditions d'apprécier la pertinence d'un résultat numérique.
- La connaissance des expressions des opérateurs en cartésiennes fait partie des capacités exigibles. Ces expressions ne sont pas toujours écrites correctement.
- Difficulté à tracer rapidement une courbe.
- Chiffres significatifs pléthoriques. Il faut se limiter à 2 ou 3.
- Mauvaise connaissance des volumes et surfaces relatifs aux sphères et cylindres.
- Manque d'attention dans le choix des notations avec apparition de dénominations conflictuelles (noter B une constante d'intégration dans un calcul de champ magnétique).
- Incapacité totale ou partielle à utiliser l'outil complexe en régime forcé harmonique.
- L'utilité de l'algébrisation des distances et des angles en mécanique, en optique n'est pas perçue.
- Nombreux sont les candidats qui veulent systématiquement et à tort raisonner en norme.

REMARQUES PAR MATIÈRE

Les remarques qui vont suivre ne doivent pas donner l'impression que les examinateurs ont une perception négative du travail des candidats. Elles ont pour objectifs d'aider ceux-ci à mieux se préparer à l'épreuve en évitant les erreurs les plus classiques. Elles ne doivent pas masquer le grand nombre de bons, voire très bons exposés, proposés par les candidats.

CIRCUITS

- Une bonne maîtrise du diviseur de tension permet souvent d'éviter des calculs inextricables.
- L'étude du régime transitoire est mal maîtrisée, souvent la forme des solutions des différents régimes n'est pas connue et doit être laborieusement retrouvée.
- Les questions expérimentales posent toujours des problèmes (résistance interne d'un GBF ou d'un oscilloscope, branchement d'un appareil de mesure, ...).
- Méthodes de calculs et étude de la résonance en RSF souvent mal connues, les complexes ne sont pas toujours bien utilisés. Les informations physiques que l'on peut déduire de la notation complexe manquent encore de précision.
- Il faut parfaitement connaître les diagrammes de Bode des filtres au programme, en particulier savoir tracer rapidement au moins les diagrammes asymptotiques et identifier à vue l'éventuel caractère intégrateur ou dérivateur d'un filtre.
- Pour les équivalents asymptotiques (souvent confondus avec la limite), mieux vaut passer par les équivalents de la fonction de transfert et non pas du gain, on obtient ainsi directement et rapidement les équivalents du gain et de la phase. Les équivalents basse fréquence et haute fréquence des circuits doivent être dessinés proprement et systématiquement lors de l'étude d'un filtre ou du régime permanent associés à un circuit. Le gain en temps et en clarté est précieux.
- La réponse d'un filtre à un signal formé de plusieurs composantes (même 2 !) pose toujours autant de problèmes.
- L'échantillonnage et le repliement du spectre sont des notions qui restent vagues, jamais exposées en des termes précis et clairs.
- Dans le cas particulier de la filière MPI, les exercices comportant des portes logiques sont plutôt bien réussis dans l'ensemble.

ÉLECTROMAGNÉTISME

a) Électrostatique – Magnétostatique

- Les propriétés de symétrie et invariance sont en général bien appliquées.
- En revanche, les propriétés de parité (ou d'imparité) du champ électrostatique ou magnétostatique ne sont que très rarement établies alors qu'elles peuvent être utiles pour la suite du raisonnement.
- Attention à ne pas confondre les notions de flux et de circulation.
- Exceptés pour les problèmes à une dimension en coordonnées cartésiennes, les examinateurs engagent les candidats à toujours préférer un calcul des champs via les formes intégrales des

équations de Maxwell (Gauss, Ampère, Faraday...) plutôt que par l'utilisation des équations de Maxwell (locales) et des formulaires fournis (en coordonnées cylindriques, sphériques).

b) Propagation

- L'écriture des équations de Maxwell fait parfois apparaître une grande créativité qui va être sévèrement sanctionnée et marquer un point d'arrêt complet dans l'oral jusqu'à leur élucidation complète.
- Il faut savoir, en justifiant, identifier une onde : plane, progressive, progressive amortie, stationnaire, stationnaire évanescence, monochromatique (= sinusoïdale = harmonique). Savoir aussi quel type de vecteur d'onde (réel, complexe, imaginaire pur) correspond à quel type d'onde (progressive, progressive amortie, stationnaire évanescence).
- La planéité ou non de l'onde progressive n'est pas comprise le plus souvent et les candidats tombent dans le piège en appliquant une relation de structure non appropriée entre E et B. L'étude de la nature de l'onde (TE, TM, TEM) pose également problème.
- Attention à ne pas confondre l'énergie électromagnétique avec la densité volumique d'énergie électromagnétique.
- Vecteur de Poynting et valeur moyenne : attention à l'usage de la notation complexe.

c) Induction

- Aucun candidat ne peut espérer avancer dans la résolution d'un exercice d'induction sans une étude qualitative préalable des différents phénomènes électriques et mécaniques couplés.
- En induction, il convient de ne pas intégrer l'équation mécanique non découplée à l'aide de l'équation électrique : l'intensité n'est pas constante dans le circuit.
- Attention à bien orienter les circuits. L'orientation posée doit être respectée pour le sens de la force électromotrice (f_{em}), pour le calcul du flux magnétique et pour le calcul de la force de Laplace. Attention à systématiquement prendre le temps de représenter l'équivalent électrique du circuit en faisant figurer la f_{em} et l'intensité bien orientées.
- Le couplage par inductance mutuel n'est absolument pas maîtrisé...
- Le moment dipolaire magnétique d'une boucle plane parcourue par un courant est à connaître.

MÉCANIQUE

- Toujours les mêmes difficultés récurrentes : opérations sur les vecteurs, différence entre repère de projection et référentiel, absence de bilan des forces clair et bien schématisé. La compréhension du problème gagnerait en efficacité avec parfois du simple bon sens plutôt qu'en se perdant dans les calculs.
- L'expression de l'accélération en polaires fait partie des capacités exigibles. Il n'est donc pas normal de perdre un temps précieux en calculs approximatifs, de surcroît sur un paramétrage faux (en particulier définition de la base polaire).
- Trop de candidats partent systématiquement du théorème de la résultante cinétique et oublient certaines forces inconnues.

- Le théorème du moment cinétique est doublement mal traduit : méconnaissance de la signification du moment d'inertie et calcul faux des moments des forces. Une définition aussi fondamentale que le moment d'une force n'est souvent pas acquise.
- Les théorèmes énergétiques sont souvent confus et erronés, en particulier la distinction énergie/puissance n'est pas faite. La notion d'intégrale première du mouvement (qui fait partie des capacités exigibles) est ignorée de la plupart des candidats.
- Les raisonnements visant à minimiser l'énergie potentielle restent obscurs et donnent lieu à des calculs mathématiques qui éloignent d'une réflexion qualitative et physique.
- Le mouvement du solide est souvent confondu avec celui d'un point matériel dans la définition d'un moment cinétique ou de l'énergie cinétique.
- Les mouvements de satellites terrestres s'étudient dans le référentiel géocentrique supposé galiléen. Il ne faut pas parler de poids dans ce référentiel, mais de force gravitationnelle.
- Les référentiels non galiléens posent toujours autant de problèmes : confusions sur le référentiel d'étude, erreur de signe pour la force d'inertie d'entraînement, mauvaise expression de la force d'inertie de Coriolis. L'effet de la force d'inertie d'entraînement pourrait être amplement plus commenté, en particulier son caractère axifuge.
- La question « qu'est-ce que le poids ? » ne reçoit que rarement une réponse satisfaisante. Par ailleurs, le poids ne s'applique pas à l'extrémité d'un solide mais en son centre d'inertie.
- Les énergies potentielles de pesanteur, élastiques et gravitationnelles sont à connaître (le programme précise : « citer les expressions »). Il est exclu de refaire un calcul de ces expressions à partir du travail ou de la force. C'est d'ailleurs à cela que sert l'énergie potentielle entre autres : simplifier l'étude d'un mouvement conservatif par l'écriture directe de l'intégrale première de l'énergie.
- L'étude des trajectoires de particules chargées dans des champs magnétiques est rarement bien effectuée. Ce point très classique du programme de première mériterait une attention plus soutenue.

OPTIQUE

- Il est impératif en optique de réaliser des schémas. Et que ceux-ci soient de qualité.
- Pour les Trous d'Young, le tracé de rayons et le calcul de la différence de marche dans les deux cas (écran à distance finie ou écran dans le plan focal image d'une lentille) sont très différents (Pythagore ou surfaces d'ondes). Il convient de ne pas les confondre et en particulier de ne pas placer des points intermédiaires sur la lentille.
- Certains candidats procèdent avec brio au calcul de la différence de marche puis de l'éclairement d'un système d'interférences, sans avoir la moindre idée du phénomène observable sur l'écran !
- Le critère de brouillage avec la différence d'ordre d'interférences est la méthode explicitement écrite dans le programme pour étudier le brouillage dû à 2 sources ou une source étendue. Il est indispensable de connaître cette méthode.
- Les équivalents du Michelson sont sous-utilisés, ce qui fait perdre beaucoup de temps au candidat.
- Rappelons que la lame séparatrice ne doit pas apparaître dans le schéma équivalent lame d'air/coïn d'air. La configuration de l'interféromètre de Michelson en coin d'air est souvent mal comprise.

- La localisation des franges pose problème : des candidats observent les interférences du coin d'air sur le plan focal de la lentille de sortie.
- La détermination des rayons brillants ou sombres de la lame d'air est souvent fautive, l'ordre au centre est souvent pris nul et croissant quand on s'éloigne.
- Il ne suffit pas pour les réseaux (programme MP) d'exprimer la différence de marche entre deux rayons successifs, encore faut-il exprimer la condition d'interférences constructives. Il est rappelé que les réseaux sont étudiés en diffraction de Fraunhofer avec des rayons diffractés parallèles qui interfèrent à l'infini. Or on voit souvent dessinés des rayons qui se croisent à proximité du réseau.
- Sur l'optique géométrique de première année, beaucoup d'erreurs de signes dans les grandeurs algébriques.
- La construction de la marche des rayons lumineux à travers une ou plusieurs lentilles, en particulier divergentes, pose problème. Déterminer l'image d'un point à l'infini hors de l'axe pose problème.

THERMODYNAMIQUE

- Une analyse du problème est nécessaire. Les exercices démarrent en général directement sur des calculs, souvent des restitutions de la mémoire, non adaptées au dispositif proposé. Une étude rigoureuse doit être menée pour considérer l'état du système avant la transformation et à la fin de la transformation.
- La loi de Laplace continue d'être appliquée sans vérification des hypothèses associées.
- Les cycles ne sont pas toujours tracés correctement. Rappelons par exemple que lors d'une compression, la pression doit forcément augmenter et le volume baisser.
- Les changements d'état sont toujours aussi peu compris.
- Il est impératif de maîtriser parfaitement le fonctionnement des moteurs et récepteurs thermiques avec en particulier le signe des échanges énergétiques associés à la convention choisie, sans quoi aucun exercice ne peut démarrer. On voit cependant certains candidats faire preuve d'une certaine aisance dans le calcul des transferts thermiques étape par étape, alors qu'ils n'ont aucune idée du fonctionnement de la machine.
- Les machines thermiques avec pseudo-sources posent un problème insurmontable à la plupart des candidats qui n'ont en général pas la moindre idée de la méthode de résolution : soit en considérant toute la machine sur une durée infinitésimale, soit en considérant les cycles de la masse élémentaire de fluide caloporteur et le premier principe appliqué à la/les pseudo-source(s). Il est nécessaire d'avoir réfléchi à ce type de problématique somme toute assez courante avant de se présenter aux oraux.
- Les systèmes en écoulement sont nécessairement traités par le premier principe pour un système ouvert (programme MP). Il est regrettable que les candidats ne sachent pas passer de la version massique à la version en terme de puissance. Il est par ailleurs important de savoir lire un diagramme (P,h) et d'identifier les étapes de contact avec source froide et source chaude dans un cycle.
- La distinction entre les études « macroscopiques », où on considère la température uniforme et on cherche son évolution au cours du temps et les études « locales », où on est en régime permanent et on étudie son évolution spatiale, est parfois non maîtrisée, ce qui fait partir l'exercice dans des directions qui ne correspondent pas à l'énoncé.

- Pour la conduction thermique, comme en électromagnétisme, il faut tout d'abord s'intéresser aux symétries du système avant d'effectuer un bilan thermique. La direction du vecteur densité de courant thermique peut être donnée immédiatement dès qu'on a des informations sur les variables dont dépend le champ de température $T(M)$.
- Dans le cas où le sujet demande de réaliser un bilan (conduction en particulier), l'équation vérifiée par la température s'obtient par un bilan thermique sur un système dont la géométrie dépend de la symétrie du problème. Les candidats partent souvent d'une équation déjà « avancée », sans réussir à expliciter d'où vient cette équation. Peu ont assez de recul pour comprendre que tout part du premier principe. Il importe également de savoir expliquer « par des mots et des phrases » la signification des termes écrits.
- Lorsqu'on a établi la conservation d'un flux en régime stationnaire sans terme source, il faut introduire le flux comme constante et pas une constante quelconque non dimensionnée à un flux.
- Un échange conducto-convectif n'apparaît pas dans le bilan en volume mais seulement dans la condition aux limites.
- Il convient de savoir repérer les résistances thermiques en série et en parallèle, c'est un outil très puissant.
- Le terme de source de la puissance volumique de l'effet Joule doit être connu, en lien avec l'électromagnétisme.

PHYSIQUE QUANTIQUE

- Le modèle de Bohr ainsi que la notion de photon font partie des capacités exigibles du cours de MPSI. Peu de candidats cependant sont en capacité de relier les deux niveaux d'énergie d'une transition électronique et l'énergie du photon émis ou absorbé.
- L'équation de Schrödinger n'est pas systématiquement fournie par l'énoncé. Il importe donc de la connaître, en particulier sa forme indépendante du temps.
- Le principe d'indétermination de Heisenberg n'est pas encore maîtrisé. Son application dans l'étude de situations « simples » (énergie de confinement, diffraction) donne toujours lieu à des développements extrêmement maladroits.
- Confusion fréquente entre le photon et les particules matérielles. La relation de de Broglie sur la quantité de mouvement est souvent méconnue, voire souvent confondue avec la relation d'Einstein.
- Dans le cas des marches ou barrières de potentiel, les solutions de l'équation stationnaire de Schrödinger ne doivent pas être données sous la forme d'un $A\cos(kx) + B\sin(kx)$, mais sous la forme $A\exp(ikx) + B\exp(-ikx)$, autrement dit sous la forme d'ondes progressive et régressive. Il est, entre autres, impossible de faire apparaître un coefficient de réflexion si l'on n'a pas opté pour le bon formalisme.
- L'analyse des ondes de de Broglie (incidente ou réfléchie) ne peut se faire sur la partie spatiale seule : le terme temporel est nécessaire pour comprendre le sens de propagation de l'onde de matière.
- Par ailleurs, les candidats confondent parfois exponentielle complexe ou réelle dans l'application de conditions aux limites « à l'infini » : une exponentielle complexe ne diverge jamais !

- Nombreux sont les candidats qui ignorent ce qu'est un électronvolt.
- D'assez grosses difficultés avec la statistique de Boltzmann (programme MP) pour passer du facteur de Boltzmann à la probabilité, même pour deux états seulement.

CHIMIE

On a rappelé dans les rapports successifs que la chimie 'tombait' à hauteur de son importance dans le programme. Les candidats donnent cependant très souvent l'impression d'être pris de cours.

En MPI la chimie, pourtant réduite, se révèle très clivante. Un investissement minimal en chimie peut se révéler fructueux.

Les questions posées sont systématiquement les mêmes d'un exercice à l'autre, ce qui permet d'engranger facilement des points, typiquement :

En thermodynamique chimique (programme MP) :

- calcul des grandeurs thermodynamiques de réaction standard, commentaires sur leurs signes,
- calcul d'une constante de réaction, définition d'un éventuel état d'équilibre final.

En oxydo-réduction :

- étude d'une électrolyse, d'une pile, avec écriture des réactions anodique et cathodique possibles,
- identification de la réaction par une étude cinétique sur courbes intensité-potentiel (programme MP),
- étude d'un diagramme E-pH (programme MP) avec mise en place des espèces, détermination d'un potentiel standard, de la valeur d'un K_s , de la pente d'un segment, étude d'une éventuelle attaque par l'eau (dont on doit bien sûr connaître les couples).

Voici les principaux défauts qui ont été relevés :

- en oxydo-réduction, les candidats peinent à trouver parmi deux couples l'oxydant ou le réducteur le plus fort ;
- ne pas connaître les couples de l'eau en électrolyse est rédhibitoire ;
- on attend un raisonnement clair pour la masse de métal déposée à la cathode en électrolyse, et non une formule toute faite non maîtrisée ;
- la formule de Nernst est à savoir dans les deux filières ;
- le calcul des constantes d'équilibre redox par les potentiels d'équilibre est une véritable usine à gaz. Mieux vaut passer par les enthalpies libres standard de réaction associées à un potentiel redox. Cette approche par enthalpie libre standard fait d'ailleurs l'objet d'un paragraphe dédié dans le programme de 2021 ;
- l'équilibrage d'une demi-équation redox doit se faire avec des H^+ et non des HO^- car les potentiels standard sont donnés à $pH = 0$;
- les espèces réagissant dans une réaction de pile ou d'électrolyse ne peuvent être bien sûr que des espèces effectivement introduites dans le milieu réactionnel. Les demi-équations redox à la cathode et l'anode doivent être écrites dans le sens effectif de la réaction ;
- attention au fait que les enthalpies standard de réaction sont exprimées en général en $kJ.mol^{-1}$ et les entropies standard de réaction en $J.K^{-1}.mol^{-1}$;

Le programme de première année est souvent moins bien appliqué, en particulier :

- les problèmes de précipitation ou de calcul de pH ;
- l'allure des courbes de dosage qui ont pourtant été vues dans le secondaire et ont été certainement tracées en travaux pratiques ;
- en cinétique chimique, les méthodes et les définitions semblent assez lointaines...