PC

CONCOURS COMMUN INP

RAPPORT DE L'ÉPREUVE ÉCRITE DE MODÉLISATION

1/ REMARQUES GÉNÉRALES

1.1 – PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'étude d'un spectromètre infrarouge et comportait deux parties indépendantes.
La première partie était consacrée à l'étude de l'absorption vibrationnelle selon trois approches complémentaires : classique, quantique puis ondulatoire.

Dans un premier temps, la vibration d'une molécule diatomique était modélisée dans le cadre de la mécanique classique à l'aide du potentiel de Morse. Une approximation au voisinage de la position d'équilibre stable conduisait à un comportement harmonique et permettait de retrouver la loi de Hooke ainsi que son application à la multiplicité des liaisons.

Une seconde approche, fondée sur la mécanique quantique, permettait de mettre en évidence la quantification des niveaux d'énergie associés aux vibrations moléculaires soumises à une onde électromagnétique. Une résolution numérique de l'équation de Schrödinger dans le cas d'un potentiel harmonique était également proposée.

Enfin, le modèle ondulatoire décrivait l'interaction entre une onde électromagnétique et une solution chimique absorbante, conduisant à l'établissement de la loi de Beer-Lambert.

La seconde partie portait sur le principe de fonctionnement du spectromètre infrarouge. Elle abordait successivement l'étude cristallographique puis thermique de la source infrarouge, avant de s'intéresser au monochromateur à réseau.

Un aide-mémoire consacré aux bibliothèques Python NumPy et Matplotlib était fourni en annexe.
Le sujet mobilisait des compétences transversales en physique, chimie et informatique. Sa structure permettait aux candidats de ne pas rester bloqués en proposant de nombreuses questions indépendantes. Sa longueur était adaptée au temps imparti : la majorité des candidats a pu traiter ou au moins aborder l'essentiel des questions. La diversité des niveaux de difficulté a permis un bon classement des candidats.

1.2 – PROBLÈMES CONSTATÉS PAR LES CORRECTEURS

Aucun problème constaté.

1.3 – SOIN APPORTÉ À LA RÉDACTION

Certaines copies manquent de soin. Il est important de conserver une présentation claire et lisible jusqu'à la fin de l'épreuve, malgré la fatigue.

La numérotation des questions n'est pas toujours respectée. Il convient également de numéroter les pages laissées blanches.

1.4 – RÉDACTION DES RÉPONSES

De nombreuses copies présentent des résultats ou des formules « parachutés », sans justification ni introduction. Les formulations du type « on a » sont trop souvent utilisées en lieu et place d'un raisonnement. Il est recommandé de citer explicitement les définitions, théorèmes, lois ou relations utilisés. Plusieurs erreurs d'homogénéité, pourtant facilement évitables, ont ainsi été relevées (par exemple dans les expressions de la fréquence propre d'un oscillateur masse-ressort).

Certaines copies révèlent également des difficultés sur des outils mathématiques élémentaires : calculs de dérivées, manipulations de nombres complexes, combinaisons linéaires ou encore développements limités.

De nombreux candidats ont su tirer profit de l'indépendance des questions pour poursuivre leur progression malgré une difficulté ponctuelle. D'autres, en revanche, se sont découragés après un blocage et ont laissé de côté un grand nombre de questions pourtant accessibles. Cette stratégie s'est souvent révélée pénalisante.

Dès que les questions de programmation deviennent plus élaborées, il est conseillé de préparer le raisonnement au brouillon avant de rédiger le code sur la copie. On observe fréquemment une dégradation de la lisibilité et de la rigueur dès que les candidats passent à l'écriture du code.
Lorsque la solution proposée s'écarte de l'approche classique implicitement attendue, quelques commentaires explicatifs sont toujours appréciés. Une démarche originale peut être pertinente, à condition qu'elle demeure claire, justifiée et vérifiable.

Il est également recommandé de tester mentalement son code sur des cas simples avant de poursuivre. Une boucle, une condition ou une fonction peuvent souvent être vérifiées sur un exemple élémentaire comportant seulement quelques valeurs. Cette démarche permet de détecter de nombreuses erreurs récurrentes : bornes incorrectes, confusion entre borne incluse et borne exclue, mauvaise initialisation d'une variable, etc. Elle témoigne également d'une compréhension réelle du fonctionnement du programme, au-delà de la simple écriture d'un code formellement plausible.

2/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Partie I - Absorption vibrationnelle

I.1 - Modèle classique de la vibration d'une molécule diatomique

I.1.1 - Potentiel de Morse

Q1 Globalement bien traitée même si D est trop souvent restée en J. Certains ne sont trop clair entre l'adimensionnement de l'exponentielle et de son argument.

Q2 La grande partie des candidats ne font pas la différence entre équilibre et stabilité de l'équilibre. Beaucoup de copies semblent considérer que la seule façon d'avoir un équilibre est d'être à un minimum d'énergie potentielle. Trop de candidats associent la notion d'équilibre à $Ep(x_e) = 0$ et non à $dE_P/dx = 0$

Q3 Globalement bien traitée mais la notion d'asymptote apparaît rarement.

I.1.2 - Modèle élastique

Q4-5 Très confus. Le DL est trop souvent non explicitement donné. Quand le DL est présent, les 2 premiers termes disparaissent sans justifications ou calculs.
Le calcul des dérivées premières et secondes est très souvent absent des copies.
Il y a des erreurs dans le calcul de la dérivée seconde.

Q6-7 Question diversement traitée. Beaucoup d'erreur de signes sur les forces de rappel élastiques et x_A /x_B à la place de x dans l'expression. Un grand nombre ne font pas l'effort de citer le référentiel et de faire le bilan des forces.

Q8 Très souvent fausse même si Q6 etQ7 sont justes, les candidats n'étant pas à l'aise avec le calcul de combinaison linéaire.

Q9 Peu de candidats citent l'analogie avec l'oscillateur harmonique. Certains ne connaissent pas le lien entre la pulsation et la fréquence ou font des erreurs d'homogénéité.

Q10 Globalement bien traitée.

I.1.3 - Validité de la loi de Hooke sur la multiplicité de la liaison

Q11 - Q12 Le cas 2 ressorts est généralement bien traitée mais celui à 3 ressorts souvent parachuté sans explication : $k_{eq} = 3k$
Certains candidats ont voulu faire une analogie électrique avec les inductances qui amène de fait à un résultat faux.

Q13 Question traitée en accord avec les résultats obtenus précédemment.

Q14 Question traitée en accord avec les résultats obtenus précédemment ou selon leur connaissance du cours de chimie.

I.2 - Le modèle quantique

Q15 Globalement bien traitée. Tous n'expliquent pas leur calcul, il n'est pas rare que les calculs de dérivées ne soient pas explicites ou les calculs pas détaillés (il est bienvenu d'introduire les calculs par « en injectant, on trouve... »). Les candidats qui ont répondu en séparant les fonctions temporelles et spatiales ont souvent présenté un calcul peu clair et mal justifié.

Q16 Globalement correct mais l'emploi de ≈ pratiquement tout le temps absent.

Q17-18 Globalement bien traitée mais la démarche est rarement expliquée.

Q19 Globalement bien traitée

Q20 Des candidats n'ont pas détaillé comment ils avaient trouvé cette expression. De plus ceux qui ont pris la peine de déterminer l'égalité n'ont pas toujours respecter ν=5.

Q21 Globalement bien traitée**.** Ceux qui n'ont pas utilisé linspace ont souvent des code faux (erreur de range, de pas)

Q22 Globalement bien traitée quand les candidats ont calculé l'écart entre deux éléments successifs. Les autres propositions de code sont presque toujours fausses (confusion entre 'poteaux' et écart entre les poteaux).

Q23 Question diversement traitée. Beaucoup d'erreur sur les range et incrémentation des éléments de la fonction de récurrence. Des confusions entre les traitements des outils liste et tableau.

Q24 Question diversement traitée quand elle est présente. Beaucoup de candidats ont intégré phi au lieu de phi^2**.** Les candidats ont plutôt préféré utiliser une boucle pour le calcul à la place de la commande sum. Beaucoup d'erreurs comme : range non correct, le code ne fait pas la somme.

Q25 Question correcte quand elle est abordée. Une partie des candidats ont bien pensé à utiliser la propriété de numpy pour la division de tableaux, d'autres ont fait des boucles. Par contre, un certain nombre ont oublier la racine.

Q26 Question correctement traitée dans l'ensemble quand elle est abordée, même si ce n'est pas évidemment pour tout le monde de faire un plot. Peu ont pensé à faire une boucle.

I.3 -Le modèle ondulatoire : absorption d'une onde électromagnétique par une solution chimique

Cette partie plus calculatoire a posé des problèmes à un grand nombre de candidats surtout par mauvaise maitrise du calcul avec les complexes.
Beaucoup ont traité les questions de cours Q27-Q28 , mais Q29 à Q33 souvent absentes ou à peine abordées.

Q27 Question de cours globalement bien traitée**.** Beaucoup ont fait l'effort de bien argumenter les différentes étapes. Par contre, certains ont voulu à tout prix introduire une célérité de l'onde ce qui les conduit en erreur dans les questions suivantes où l'onde n'est pas dans le vide.

Q28 Question globalement bien traitée mais l'argumentation n'est pas toujours très rigoureuse. Des erreurs dans les signes au passage aux complexes.

Q29 Question qui a posé beaucoup de difficultés et souvent qui n'a pas abouti. Les candidats ont beaucoup de difficultés pour faire des calculs avec les complexes. Certains se sont lancés dans des calculs très compliqués, pour d'autres, la condition $\varepsilon_i << \varepsilon_0$ a tout simplement conduit à annuler la partie imaginaire. On trouve également des erreurs comme ne pas factoriser correctement par ε_0 ou écrivent que $\sqrt{a+b} = \sqrt{a} + \sqrt{b}$. Ceux qui ont fait un calcul correct n'ont pas toujours expliquer qu'ils faisaient un DL.

Q30 Question souvent non traitée. Passer de la forme complexe à la forme réelle n'est pas une évidence pour tous. Une forme réelle correcte a toujours donnée une bonne réponse sur l'absorbance du milieu.

Q31 Des confusions entre vitesse de phase et vitesse de groupe, calcul avec $\underline{k}$ et pas Re($\underline{k}$).
La condition de milieu dispersif est, elle, globalement bien connue.

Q32 Question souvent correctement traitée quand elle a été abordée. La condition de pseudo-OOPH peu souvent citée, mais surtout le résultat reste évasif : beaucoup ne détaille pas le $\underline{k}$, ce qui était important pour traiter la question suivante.

Q33 Question souvent non aboutie quand elle a été abordée. Les candidats ont beaucoup de mal avec les complexes. Beaucoup ne détaillent pas les calculs et parachutent un résultat (très souvent faux).
Pour ceux qui ont pris la peine d'essayer de faire les calculs, très peu ont été capable d'écrire correctement le complexe conjugué de$\vec{B}$.
Des candidats n'ont pas utilisé la formule donnée et on fait directement le calcul. Cependant dans ce cas, ils calculent souvent le vecteur de Poynting avec les grandeurs complexes. Ceux qui ont pensé à passer en réel$\vec{B}$ et $\vec{E}$sont toujours arrivés au bon résultat.

Q34 Question globalement bien traitée même si l'expression apparaît souvent sans explication.

Q35 - Q36 Il y a eu parfois une mauvaise lecture des expressions de A et T données, des confusions de calculs entre log et ln pour l'appliquer à l'exponentielle.
Presque tous ont cependant cité Beer- Lambert.

Partie II - Principe de fonctionnement d'un spectrophotomètre infrarouge

II.1 - Étude de la source infrarouge

II.1.1 - Étude cristalline de la source infrarouge

Q37 Globalement bien traitée. Les erreurs ont surtout porté sur la colonne (un étudiant de filière PC devrait se poser des questions quand il positionne le Ni par exemple dans la colonne des halogènes.)

Q38 Globalement bien traitée, même si les justifications ne sont pas toujours rigoureuses.

Q39 Beaucoup d'erreurs : volume de la maille, absence du nombre d'Avogadro, absence de la population propre des atomes, erreur de calcul pour extraire a.

Q40 Cette question n'a souvent pas été traitée et est souvent fausse. Beaucoup de candidats ont apparemment mal lu l'énoncé et se sont lancés dans des calculs de plus proche voisin entre Ni/Cr.
Pour ceux qui ont bien lu l'énoncé, des erreurs sur le lieu de tangence ou sur le calcul de la diagonale de la face.

II.1.2 - Évaluation de la température ambiante autour de la source infrarouge

Q41 à Q44 Une réponse globale est souvent parachutée sans explication. Présentation très brouillonne de ces questions car beaucoup ont « bricolé » pour coller au résultat de Q44.
On aurait aimé avoir une analyse d'échange thermique : quel est le système, application du premier principe de la thermodynamique, le transfert thermique est-il gagné ou perdu par le système ? Enlever la valeur absolue à Q43.

Q44 Pratiquement aucun candidat n'a suggéré l'application du 1er principe, ni expliquer ce qu'impliquait le régime stationnaire.

II.1.3 - Détermination de la température T_a par dichotomie

Q45 Très rare sont les candidats qui ont pris la peine d'expliquer qu'il fallait mettre sous la forme f(x) = 0 .
Un certain nombre ont codé l'expression de Q44 sans prendre la peine de passer tous les termes dans le premier membre, d'autres oublient le return.

Q46 Question diversement traitée, souvent absente dans les copies moyennes et faibles. Beaucoup d'erreurs : la condition d'arrêt liée à la précision p est souvent absente, les conditions sur les différents intervalles et réaffectation de m sont souvent fausses, ne retournent pas m.

Q47 Beaucoup de commentaires sans que les candidats ne sachent vraiment à quoi rattacher cette valeur.

II.2 - Monochromateur à réseau

Q48 Question de cours mal traitée et confuse. Beaucoup se rappellent par cœur du résultat (certains candidats ont écrit : « d'après Malus, on a $\delta = \frac{ax}{f'}$ ») et vaguement qu'il y a un $\sin\theta$ et $\tan\theta$, par contre plus rarement les différentes étapes du raisonnement.
Peu donnent l'expression de la différence de chemin optique ; Malus +retour du chemin optique, quand ils sont cités, sont rarement associés aux notions de surface d'onde et invariance de chemin optique. Quand il y a un schéma, la surface d'onde permettant de faire le calcul est souvent mal placée. Confusion entre les deux triangles-rectangles l'un donnant $\sin\theta$ et l'autre $\tan\theta$(il a été lu : « $\sin\theta = \frac{ax}{f'}$ »). Peu citent les conditions de Gauss pour l'approximation des petits angles.

Q49 Dans une partie des copies absence du return.

Les questions de code suivantes ont surtout été abordées dans les bonnes copies.
Q50 Question diversement traitée. Certains oublient de mettre l'incrément dans leurs expressions ou de faire la somme. L'utilisation de a.conjugate() est bien comprise.

Q51 Question souvent non abordée et mal comprise.
Les erreurs ont porté sur la largeur de la fente (2b au lieu de b) mais surtout alors que c'était une simple analyse de figure, certains ont fait des codes compliqués de recherche de max et de min dans une liste x .

Q52 Question diversement traitée et peu abordée. Ceux qui ont utilisé linspace ont la plupart du temps proposé le code correct. D'autres ont proposé des codes compliqués avec des boucles qui ne remplissait pas le cahier des charges imposé dans l'énoncé.

Q53 Question diversement traitée. A part ceux qui n'ont pas compris la question et juste noté 0,1*I, l'erreur la plus courante a été de ne pas faire une double boucle. Les candidats ont rarement utilisé la commande « max ».

Q54 Question peu abordée mais généralement traitée correctement. L'erreur la plus courante a été de nouveau de ne pas faire une double boucle. Les candidats sont beaucoup plus à l'aise avec l'utilisation des listes que celle des tableaux numpy.

Q55 Question peu abordée mais généralement traitée correctement. Beaucoup ont utilisé les commandes max et min, d'autres ont proposés des codes plus compliqués.

Q56 Question de fin de sujet. A nouveau beaucoup de proses diverses et variées. Les candidats ne savent pas à quoi comparer cette valeur. Très peu abordent la notion de sélectivité ou filtre.

3/ CONCLUSION

En conclusion, la réussite de l'épreuve repose autant sur la maîtrise des connaissances que sur la rigueur de la démarche et la qualité de la rédaction. Les candidats doivent veiller à présenter des raisonnements complets, justifiés et clairement structurés, en évitant les résultats ou codes insuffisamment expliqués. Une préparation régulière des outils mathématiques fondamentaux, associée à une attention particulière aux détails de présentation et de vérification, permettrait d'améliorer significativement les performances. Enfin, il est essentiel de conserver une attitude persévérante face aux difficultés et d'exploiter pleinement les questions accessibles afin de valoriser au mieux ses compétences.