

Q 3 : quelques confusions sur les éléments différentiels pour certains candidats.

Q 4 : il est recommandé de donner le résultat sous une forme usuelle ou à partir des unités du système international.

Q 5 : de nombreux candidats confondent montages série et parallèle. Une réponse justifiée était attendue, comme suggéré par l'énoncé, et non un simple résultat de l'association série ou parallèle dans le cas d'une résistance.

Q 6 : dans de très nombreuses copies, les conditions initiales ont été tout simplement omises, et certaines copies proposent des résultats d'intégration tout à fait farfelus. Les tracés de courbe sont parfois négligés.

Q 7 : Les tracés de courbe sont parfois négligés.

QQ 8, 9, 10 : ces questions nécessitaient de développer une argumentation claire et concise. Beaucoup de candidats paraphrasent l'énoncé et répondent la même chose aux trois questions.

Q 11 : de nombreuses erreurs pour cette question : oubli de la force de frottement, oubli de la force électrique, confusion régime permanent/régime transitoire, erreur fréquente dans détermination de la vitesse en régime permanent (oubli de la masse et résultat non homogène).

Q 12 : de nombreuses erreurs sur l'expression de la mobilité et de la conductivité (souvent consécutives à l'erreur d'homogénéité de la question précédente).

Q 13 : de nombreuses erreurs sur l'expression de la résistance et pas de vérification sur l'homogénéité de la formule.

Q 14 : peu de candidats ont mentionné l'absence de déphasage pour justifier leur réponse.

Q 15 : de nombreuses erreurs dans l'établissement de la conductivité en régime dynamique, ou sur la résistance. L'analyse du comportement du conducteur est souvent erronée.

Q 16 : confusion fréquente entre puissance transférée à une charge et puissance volumique.

Q 17 : assez peu de justifications sur le passage entre description locale et description sur tout le conducteur.

Q 19 : beaucoup d'erreurs d'homogénéité constatées à cette question.

Q 20 : peu de candidats ont proposé une réelle interprétation de la formule, en faisant le lien avec les notions abordées précédemment.

Q 21 : de nombreuses erreurs sur la prise en compte de conditions initiales/aux limites.

Q 22 : peu de candidats ont obtenu l'expression qui permettait de justifier que l'expérience devait être menée à l'échelle nanométrique pour constater l'effet memristor.

Q 23 : cette question a été peu traitée. Un certain nombre de candidats se sont lancés dans les calculs, mais n'ont pas abouti.

Q 25 : en général, cette question a été correctement abordée, sauf dans de rares cas.

Q 26 : de nombreuses erreurs sur l'expression des solutions cohérentes avec les deux domaines du potentiel, pour l'équation différentielle obtenue. De nombreuses confusions entre les types de solutions.

QQ 27, 28 : certains candidats ne font pas la différence entre  $r$  et  $R$ , et  $t$  et  $T$ . De nombreuses erreurs sur l'expression de  $T$ , dû à la non-prise en compte des courants de probabilité.

La première partie, intitulée « De la molécule à l'oscillateur harmonique », reprenait la démarche classique de modélisation de la liaison chimique par un oscillateur harmonique. Bien que très classique, cette partie a posé des problèmes à de trop nombreux candidats qui ont du mal à citer complètement un théorème (équipartition) ou des ordres de grandeur convenables (liaison moléculaire). Rappelons que ces connaissances figurent explicitement dans les programmes des classes MPSI ou MP.

La deuxième partie, intitulée, « Capacité thermique d'un gaz parfait diatomique », abordait les degrés de liberté de la molécule. Il s'agissait de citer le théorème d'équipartition, de dénombrer les degrés de liberté, puis de confronter cette analyse à des résultats expérimentaux. Cette partie était donc aussi très proche du cours et classique. Le théorème d'équipartition ne fut cité complètement et avec la rigueur nécessaire que trop peu de fois. Par ailleurs, analyser des résultats expérimentaux ne peut pas se limiter à des banalités telles que : « on remarque que la courbe monte, puis est constante » !

La troisième partie, intitulée « L'oscillateur harmonique en physique quantique », laissait encore une large part aux questions de cours, et à des applications directes. Les capacités calculatoires des candidats étaient davantage mobilisées dans cette partie. Ces questions ont été abordées quasiment systématiquement. Remarquons que l'analyse dimensionnelle pose encore des difficultés insurmontables à nombre de candidats. Les combinaisons les plus improbables d'unités ont été proposées.

La quatrième et dernière partie, intitulée « Capacité thermique et quantification », permettait d'aboutir à une expression quantique de la capacité thermique, et de confronter encore ce modèle à la réalité expérimentale. Les difficultés rencontrées dans cette analyse sont les mêmes qu'à la fin de la deuxième partie.

- Remarques particulières

Voici quelques remarques regroupées par question.

Très grande imagination des candidats pour ce profil pourtant classique ! Nous avons vu des profils paraboliques, linéaires, mais aussi périodiques ! Souvent aussi, malgré une allure à peu près convenable, les asymptotes n'apparaissent pas clairement.

Ordres de grandeur souvent trop approximatifs pour être acceptables : si l'énergie de liaison covalente était de l'ordre de 1 ou 10 kJ, nous n'existerions pas !

Encore une méthode classique, souvent oubliée au « profit » d'affirmations naïves comme « puisque c'est une liaison on peut imaginer que c'est un ressort ». Ainsi, la relation entre la raideur  $k$  et l'énergie potentielle  $E_p$  est souvent fantaisiste et témoigne aussi d'une incompréhension de la signification des notations mathématiques ainsi malmenées. Dans de nombreuses copies, l'expression de la constante  $k$  contient la variable  $l$ ...

que beaucoup aussi pensent que la translation du référentiel barycentrique par rapport au référentiel du laboratoire suffit à le rendre galiléen ou à l'inverse que le mouvement d'un référentiel par rapport à un autre suffit à le rendre non galiléen.

Sans être fréquentes, les bonnes réponses ne sont pas si rares ; à noter qu'il était demandé, de démontrer la relation et non d'affirmer directement les valeurs de  $m$  et  $\mu$ . Une perle : « puisque  $m = m_A + m_B$ , alors on pose  $\mu = m_A - m_B$  ».

On trouve deux catégories de réponses : soit le candidat n'a rien compris et tente un coup de bluff en associant plus ou moins heureusement des termes, soit il justifie assez correctement les différents termes (le plus délicat étant d'explicitier  $E_{\text{rot}}$ ).

Très simple, réponse en général correcte.

Trop de réponses d'une naïveté sidérante : « c'est l'égalité répartition de l'énergie » ! Parmi les « bonnes » réponses, relevons toutefois que la condition préalable d'équilibre thermique est très rarement citée. À côté de cela, les quelques candidats qui citent le caractère classique et continu des énergies concernées font figure de phénix !

Le dénombrement des degrés de liberté est souvent erroné. Beaucoup de candidats se cantonnent à une réponse telle que : « le gaz est diatomique, donc  $C_v = 5/2 nR$  ».

Ces questions ont donné du fil à retordre à beaucoup de candidats qui ont (heureusement par ailleurs) en tête l'expression usuelle  $C_v = 5/2 nR$  pour un gaz parfait diatomique.

Très classique, réponse en général correcte.

Voir remarques du paragraphe précédent.

Changement de variable souvent fait.

Recherche de solutions approchées très mal traitée ! Fréquentes affirmations du résultat sans démonstration.

Assez souvent traitée correctement, mais aussi souvent de façon incomplète, en disant que « la fonction ne doit pas diverger », mais sans justifier cette interdiction par une condition de normalisation. Il y a souvent confusion entre probabilité et densité de probabilité. L'argument selon lequel une probabilité est inférieure à 1 est souvent invoqué à tort.

Souvent traitée, mais il y a de fréquentes erreurs de calcul.

Assez fréquemment traitée pour ceux qui avaient obtenu l'équation précédente.

Résultats parfois donnés sans justification, ou avec l'analyse dimensionnelle pour  $\omega$ .

Beaucoup de réponses fausses pour une question très classique ! La justification n'est pas toujours faite ; attention, écrire sans autre argument que « L'analyse dimensionnelle montre que  $\beta = 1 / kT$  » ne vaut rien !

Question assez souvent traitée

Question souvent traitée par les candidats qui avaient répondu à la question précédente. Toutefois, la relation  $\langle E \rangle = \frac{d(\ln Z)}{d\beta}$  est souvent affirmée sans la moindre justification. À ce propos, la notation dérivée partielle est souvent utilisée pour une fonction d'une variable.

Les méthodes sont connues, mais la mise en forme des résultats ( $A$  et  $\langle E \rangle$ ) n'est pas toujours des plus

- Conseils aux candidats

Afin de faciliter l'utilisation des conseils et pistes de réflexion suivantes, elles sont regroupées selon les compétences de la démarche scientifique habituellement utilisées au cours de l'année.

**Analyser / S'approprier** : les deux compétences étant souvent fortement liées dans les questions proposées, elles sont ici traitées ensemble. La modélisation est une démarche complexe, qui se décompose en plusieurs étapes. Il ne suffit pas d'affirmer qu'on peut assimiler un système réel à un autre, et donc lui associer un résultat. Analyser une situation, puis se l'approprier, suppose d'identifier dans une situation réelle des grandeurs pertinentes ou un comportement typique et de le mettre en relation avec un outil adéquat. Ainsi, on comprend bien qu'une réponse telle que « on peut modéliser la molécule par un ressort » constitue un raccourci qui ne permet pas au correcteur d'être certain que le candidat comprenne bien ce dont il parle.

**Réaliser** : les calculs doivent être clairement posés sur la copie, et il convient d'éviter toute précipitation (même si cela est difficile lors d'une épreuve en temps limité) afin de limiter les risques d'erreur basique de calcul. Cela permet aussi au candidat qui parvient à un résultat dont l'expression, jugée trop complexe, semble douteuse, de vérifier efficacement le calcul.

**Valider** : valider un modèle en le confrontant à des résultats expérimentaux est un aspect fondamental de la démarche scientifique. À ce titre, une simple description de la courbe « ça monte puis ça descend » ne cache pas une vacuité totale de la réponse. Le candidat doit s'interroger selon le schéma habituel : « que prévoit le modèle ? Que montrent les résultats ? D'où proviennent les différences ? » Des affirmations telles que « le modèle n'est pas satisfaisant » renforcent la vacuité déjà signalée.

**Communiquer** : les candidats font souvent des efforts de présentation : réponses clairement numérotées, usage pertinent des couleurs, etc. Ces efforts doivent bien sûr être soulignés et encouragés. Toutefois, il convient d'insister sur la nécessaire rigueur de la rédaction des questions de cours. Un vocabulaire approximatif n'est pas acceptable dans une restitution de connaissances.

### 2.3.3. Physique I — PC

- Remarques générales

L'épreuve avait pour but d'étudier différents aspects de la physique d'un nouveau composant électronique, le memristor. Ce dipôle passif d'un genre nouveau, capable de modifier de façon durable sa résistance en fonction du courant appliqué, a été proposé en 1971 sur des arguments théoriques, mais ce n'est qu'en 2008 qu'un premier prototype de memristor a enfin été réalisé.

Le problème comportait trois parties largement indépendantes et de difficulté croissante. La première partie proposait d'étudier les caractéristiques générales et le fonctionnement d'un memristor : caractéristique courant-tension  $u(i)$ , modèle de conductivité, impédance, transfert de puissance. La deuxième partie présentait une analogie hydrodynamique et enfin la troisième partie montrait différents aspects du premier prototype réalisé qu'il s'agissait de relier aux principes généraux de la première partie. Ce problème ne présentait aucune difficulté technique particulière et, curieusement, aucune application numérique.