

## EPREUVE DE PHYSIQUE - CHIMIE

Durée : 4 heures

### PRESENTATION DU SUJET

Le problème illustre le fonctionnement d'une cellule à effet Peltier et était constitué de deux parties totalement indépendantes :

- Le fonctionnement de la cellule et sa régulation en température,
- L'épitaxie des alliages  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  sur silicium, matériaux constitutifs de la cellule Peltier.

### COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE :

La résolution du sujet ne nécessitait qu'un minimum de technicité calculatoire, réduite aux équations du second degré et aux équations différentielles du premier ordre. Dans leur grande majorité, les questions relevaient du bon sens ou étaient de simples applications du cours et des relations (à justifier) étaient glissées dans l'énoncé comme autant de bouées tendues aux candidats. L'épreuve privilégiait la réflexion, le sens physique et l'analyse des phénomènes, elle s'enrichissait pour cela de nombreuses questions qualitatives et synthétiques.

Si toutes les questions, prises individuellement, ont été correctement résolues par un certain nombre de candidats, malheureusement un trop grand nombre d'entre eux a connu les pires difficultés à s'approprier, à exploiter l'énoncé (les réponses à un nombre significatif de questions étaient implicitement contenues dans les paragraphes introductifs ou de liaison entre les diverses parties) et à rédiger leurs solutions de façon simple et compréhensible. Au-delà des questions purement qualitatives souvent mal exposées, l'interprétation des résultats fut absente ou insuffisante, la rédaction se réduisant trop souvent à une succession d'équations sans explication ni articulation ; de nombreux candidats se sont contentés de survoler le sujet dans le seul objectif de compiler un maximum de points.

### ANALYSE PAR PARTIE

#### 1<sup>ère</sup> Partie : Cellule à effet Peltier

A / L'effet Peltier

Cette première partie, très proche du cours, a été largement abordée par les candidats. Les lois d'Ohm et de Fourier leur sont en général bien connues ainsi que les notions de résistance électrique et de conductance thermique. Le bilan énergétique sur une tranche élémentaire du conducteur a été très rarement correctement abordé et beaucoup ont fait preuve d'une certaine malhonnêteté intellectuelle pour arriver coûte que coûte au résultat. L'équation différentielle du premier ordre, essentielle pour la suite de la résolution du problème, a été donnée afin d'éviter un éventuel blocage. Elle constituait néanmoins un premier filtre pour le classement des candidats, tout candidat dans l'incapacité de la résoudre ne pouvant avancer efficacement dans le problème. La très grande difficulté, pour beaucoup, fut d'évaluer le sens et donc le signe du transfert de puissance.

L'effet Peltier a bien été compris par les candidats, le texte de l'énoncé se voulait très explicite et la difficulté a été soulignée dans le texte.

#### B / Le réfrigérateur thermoélectrique

L'objectif de cette partie était d'évaluer la capacité des candidats à analyser le texte pour comprendre le fonctionnement du dispositif étudié. Il fallait à chaque étape du raisonnement discerner les divers transferts de puissance et en préciser le sens. Une lecture très attentive de l'énoncé était nécessaire. Beaucoup de candidats ont effectivement bien considéré les termes dus au flux thermique conductif, à l'effet Peltier et à l'effet Joule, mais de nombreuses erreurs de signes ne leur ont pas permis d'aboutir. C'est pour cette raison fondamentale que la résolution du problème a été très laborieuse et que les performances théoriques de la cellule n'ont été que très peu correctement précisées.

L'optimisation de l'écart de température n'a que très rarement été convenablement abordée.

La partie relative au refroidissement d'un capteur CCD était très qualitative et de compréhension générale. Elle mettait à l'épreuve le sens physique, voire plus simplement le bon sens des candidats et posait le problème des limites de fonctionnement de la cellule à effet Peltier. Les réponses ont souvent été confuses ou mal exprimées. Il est à noter que l'analyse des graphiques et l'exploitation des données numériques ont favorablement inspiré les candidats mais que leur expression dans un langage concis et clair leur a fait défaut.

#### C / La régulation en température

Son étude débutait par l'expression du transfert de puissance, utile pour évaluer l'exactitude de certaines réponses antérieures ; ceci prouve une fois de plus qu'il n'est pas absurde de lire (rapidement) la totalité de l'énoncé, la réponse à une question pouvant se trouver quelques paragraphes plus loin. L'équation différentielle était une fois de plus donnée pour ne pas bloquer les candidats. Son analyse était néanmoins demandée afin d'en préciser les différents termes mais elle fut très rarement bien comprise. Les questions suivantes, pourtant très classiques, ont montré des lacunes inquiétantes sur la résolution d'une équation différentielle du premier ordre. Des constantes de temps de l'ordre de la nanoseconde ou de quelques dizaines de minutes n'effraient pas certains candidats.

L'étude du circuit électronique a souvent été traitée convenablement. La justification du rôle suiveur des amplificateurs opérationnels 1 et 2 et le caractère convertisseur tension-courant de l'amplificateur opérationnel 5 apparaissent rarement. Encore beaucoup d'erreurs de signe, ici sur l'expression de  $I$ , ont été constatées.

### **2<sup>ème</sup> Partie : Epitaxie des alliages $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ sur silicium**

Les candidats se sont bien répartis entre physique et chimie.

#### A/ Analyse structurale de $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$

Cette partie a été largement abordée par les candidats mais ils eurent les pires difficultés à représenter en perspective la maille élémentaire du germanium et à matérialiser la liaison Ge-Ge. Les questions, pourtant élémentaires et classiques, ont donné lieu à quelques perles : la masse volumique du germanium  $\rho(\text{Ge}) = 10^{-9} \text{ g.m}^{-3}$  ou un nombre d'atomes par unité de volume  $n^* = 10^{-2} \text{ atomes.m}^{-3}$ . Soulignons une fois encore qu'il est important de se soucier du réalisme des résultats numériques obtenus et d'en dégager les conséquences.

La loi de Vegard a bien été comprise par les candidats.

#### B/ Dépôts de l'alliage $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ sur silicium

Ce fut la partie de l'épreuve la mieux traitée. Elle a souffert néanmoins d'applications numériques sans unités ou associées à des unités mal adaptées : il est rappelé que, dans ce cas, le résultat ne permet pas l'attribution du moindre point. Les unités erronées ont eu pour conséquence des erreurs dans le calcul des constantes d'équilibre.

Le calcul de la variance est souvent très correct mais son interprétation fut maladroitement commentée. La notion de pression de corrosion est trop souvent méconnue des candidats.

A signaler une erreur assez fréquente qui consiste à dire qu'une constante d'équilibre élevée équivaut à une réaction rapide : il y a confusion entre déplacement d'un équilibre et cinétique, entre aspect thermodynamique et aspect cinétique.

Pour la détermination de l'énergie d'activation liée à la croissance du silicium, il est étonnant que l'utilisation de la calculatrice en tant que tableur puis pour le tracé de la régression linéaire soit si peu constatée. Les rares candidats qui ont utilisé cette méthode ont obtenu le bon résultat.

Pour le choix de la pression et de la température favorisant le dépôt de SiGe, une grande variété de réponses a pu être constatée : soit les lois de Le Chatelier et de Van't Hoff sont citées mais c'est au correcteur d'interpréter, soit les résultats sont énoncés sans la moindre explication ni support théorique, soit les justifications apportées sont totalement antagonistes à leur élément de réponse.

Très peu de candidats ont conclu le problème sur les calculs des différentes pressions.

#### **ANALYSE DES RESULTATS**

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 8,66 sur 20, avec un écart-type de 3,19. Quelques bonnes copies ne font malheureusement pas oublier le niveau insuffisant d'un grand nombre de candidats. Beaucoup de réponses demeurent très approximatives, non justifiées, dénotant des connaissances très superficielles. La simple lecture de graphes a pu poser des difficultés.

Toutes les questions, prises individuellement, ont été correctement résolues par un certain nombre de candidats. Les meilleurs d'entre eux sont parvenus à résoudre 80 % du problème.

Traiter un problème de physique, c'est exposer la solution de façon claire et concise. Il reste trop difficile pour beaucoup de candidats de rédiger leurs réponses de façon simple et compréhensible. La rédaction se réduit trop souvent à une succession d'équations sans explication ni articulation. Rappelons que le résultat littéral doit être homogène et qu'il est intéressant de commenter, d'interpréter un résultat numérique et, au moins, de s'assurer de sa vraisemblance.

## CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

L'apprentissage régulier, tout au long de l'année, du cours et des travaux dirigés constitue un passage incontournable pour les candidats à ce concours, chacune des parties de la majorité des épreuves démarrant par des questions très proches du cours.

Le concours peut être avantageusement préparé par une étude et une analyse des épreuves proposées, dans la même section, au cours des années précédentes.

Une première recommandation est la lecture soigneuse et réfléchie de l'énoncé avant toute rédaction : les réponses à de nombreuses questions ou des informations relatives à la bonne démarche à suivre sont régulièrement glissées par le concepteur dans les phrases introductives aux diverses parties, dans la formulation proprement dite des questions, sur des schémas explicatifs ou des graphes de résultats et même, souvent, dans les données numériques.

La préparation à la formation d'ingénieur ne consiste pas à apprendre une collection de formules, ni à les récrire sans justification avec l'aide précieuse de la calculatrice ; elle consiste en revanche à savoir analyser les résultats des expériences et leur modélisation. Les candidats ne devront pas se contenter de répondre mathématiquement aux questions posées, mais plutôt de s'attacher à donner un sens (chimique ou physique) à leurs réponses et leurs analyses.

Puissent également les candidats réaliser qu'en se présentant aux concours avec un bagage en mathématiques (utiles aux sciences physiques) aussi déficient que celui qui a été constaté (calcul différentiel et intégral, résolution des équations différentielles élémentaires), ils hypothèquent fortement leurs chances de réussite.