

EPREUVE DE PHYSIQUE-CHIMIE

Durée : 4 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet évoque les problèmes liés à l'élaboration de l'acier, dans une optique très simplifiée et adaptée aux élèves de classes préparatoires. Il débute par une étude chimique des propriétés de l'élément fer pour traiter ensuite du chauffage d'une plaque d'acier permettant de réaliser la transition austénitique.

- tout d'abord, une partie de cristallographie présentait les difficultés que pose le phénomène d'insertion d'un atome de carbone dans un cristal de fer ;
- suivait une étude élémentaire de la purification des oxydes de fer par pyrométallurgie où la structure du diagramme d'Ellingham jouait un rôle central ;
- la partie physique débutait par l'évaluation du champ électromagnétique dans un conducteur réel et de la puissance qui s'y dissipe sous l'effet des courants de Foucault ;
- enfin, l'étude thermique proprement dite permettait de fixer quelques conditions pour la réalisation technique de la transition désirée.

COMMENTAIRES GENERAUX

Les candidats doivent comprendre qu'une composition de physique n'est pas simplement un étalage de physique. Un correcteur est chargé d'évaluer la capacité que peut avoir un étudiant non seulement à résoudre un problème mais aussi à présenter ses résultats avec pertinence. Il n'est certainement pas là pour juger des compétences de cet étudiant à recopier les formules qu'il aura laborieusement rentrées dans sa calculatrice tout au long de l'année et qu'il fournit sans commentaire ni appréciation ; il n'est pas là non plus pour imaginer ce qu'aurait pu être la copie si son rédacteur avait eu l'idée toute simple de ranger les questions dans l'ordre où elles sont posées. Enfin et surtout, ses réserves d'indulgence fondront comme neige au soleil lorsqu'il aura l'impression que l'embrouillamini d'un calcul n'est là que pour permettre au candidat de glisser le facteur 2 ou la puissance 4 qui lui fera retrouver le résultat donné dans l'énoncé. Les correcteurs lisent TOUTE la copie et les calculs frelatés, les raccourcis du style « après calcul on trouve » (qui suivent en général une série d'erreurs) ne les abuseront jamais.

Le rôle du correcteur n'est pas de déchiffrer une copie mais de la lire et de la noter.

À ce titre, il tout à fait symptomatique de constater, à la question B3*c, que la majeure partie des candidats est incapable de tracer proprement la droite relative à l'équilibre C/CO. L'équation de cette droite est donnée ; l'énoncé fournit un graphique avec une échelle prédéterminée pour y reporter cette droite. Le résultat relève pourtant du n'importe quoi : quand la droite n'a pas une pente positive, un décalage de 100 ou 200 K avec la courbe attendue n'est pas rare. Cela rend évidemment impossible la lecture graphique des résultats demandés.

Cela ne signifie pas que ces étudiants soient incapables de tracer une droite, mais simplement qu'ils n'ont porté aucune attention à cette tâche. Cette attitude ne peut que donner une impression négative au correcteur.

Lorsqu'un correcteur corrige une copie lisible, aux résultats encadrés ou soulignés, aux indications claires (même si cette indication évoque les doutes ou l'incompréhension du candidat), la bonne disposition du correcteur le conduira à plus d'indulgence quant aux petites imprécisions ou erreurs de calculs inévitables dans une copie.

Enfin, un ingénieur peut toujours se tromper dans telle ou telle évaluation ; tout le monde se trompe un jour. Cependant, une attitude critique devant un résultat aberrant lui permettra souvent de déceler cette erreur et de la corriger.

Une telle prise de conscience est souhaitable, par exemple, si la taille d'un interstice cristallin est supérieure à la taille de la maille !

Les quelques (trop rares) candidats capables d'un tel esprit critique ont bénéficié d'un bonus certain au moment de la notation.

ANALYSE PAR PARTIE

I-A : Cristallographie

Cette partie proposait une suite assez classique de calculs de paramètres de maille et de rayons atomiques sur les deux types cristallins du fer.

La grande majorité ne sait pas préciser la notion de maille élémentaire. Le mot « périodique » n'est presque jamais cité. Mais, très souvent, les candidats reconstruisent « la molécule » ou « l'atome » en « répétant à l'infini » une maille dont la constitution est dès lors assez ésotérique.

Aucun résultat sans calcul n'a été admis ici. Les compacités directement issues des calculatrices n'ont donc donné lieu à aucun point.

Les définitions des paramètres α et χ_T sont assez aléatoires. Plus surprenant encore : même quand l'expression de χ_T est correcte, le facteur $1/V$ est souvent omis dans le calcul numérique.

Malgré le titre de la partie A4 et malgré le schéma, certains ont identifié le site proposé en A4*a comme un site tétraédrique (?) et, dans l'étude de la structure CFC, beaucoup confondent les deux catégories de sites interstitiels.

Après avoir évalué la « difficulté » de l'insertion carbone-fer, la partie s'achevait par la critique de l'expansion uniforme du cristal.

I-B : Diagramme d'Ellingham

Si l'approximation d'Ellingham est correctement citée (en dehors de la confusion classique « $\Delta_f H^\circ$ indépendant du temps »), la contrainte vis à vis de la quantité de matière de dioxygène mise en jeu est relativement méconnue.

La question B2*b appelait une discussion sur le degré d'oxydation fractionnaire de Fe_3O_4 et pas seulement l'écriture d'une « réaction » hypothétique entre FeO et Fe_2O_3 .

L'ordonnement des corps selon leur degré d'oxydation ne peut JAMAIS être inversé. Des phrases telles que « l'oxydant passe sous le réducteur » sont à proscrire ; une dismutation se produit, un point c'est tout.

Une surprenante confusion entre diagramme d'Ellingham et diagramme E-pH est assez fréquente. Il en résulte que les réactions sont souvent équilibrées à l'aide d'ions H^+ et d'électrons !

La cinétique bloquée n'est que rarement citée en B3*b ; par contre, le fait que la pression soit considérablement plus grande à « quelques dizaines de kilomètres » sous terre laisse pantois quant aux capacités technologiques des hommes de l'âge de fer capables de creuser des mines aussi profondes. Et ici encore, une évaluation critique de la pression requise (10^{45} bars) aurait permis de balayer ce genre d'argument.

II-A Induction dans un conducteur

Cette partie visait à calculer la puissance calorifique fournie à une plaque conductrice par les courants de Foucault. Deux modèles limites y étaient étudiés :

le premier considérait une plaque dont l'épaisseur excédait largement la zone de « peau » ce qui autorisait l'approximation du conducteur parfait et permettait de considérer que la puissance thermique était due à un flux surfacique ;
le second envisageait une plaque suffisamment étroite pour que le champ n'y soit jamais négligeable et que l'effet Joule y soit équivalent à des sources de chaleurs volumiques.

Le premier cas correspond à l'utilisation d'un champ magnétique intense et de basse fréquence ; le second à un champ plus modeste en haute fréquence.

La remarque introductive sur le soin à apporter aux calculs trouve ici tout son sens. Que dire des $\text{rot } \mathbf{B} = i\mathbf{k}B$, des théorèmes d'Ampère appliqués en dépit du bon sens, de l'utilisation au A3*a d'une densité de courant différente de celle qui a été évaluée au A1*d (mais qui permet de retrouver la valeur de l'intensité proposée...).

Et l'esprit critique aurait pu permettre à certains de se douter que ce qui est demandé en A2*a n'est pas de savoir calculer une racine carrée de $-i$ (ce qui n'a aucun intérêt) mais bien de savoir pourquoi une seule des deux racines était ici admissible.

Enfin, les candidats devraient se douter que si le sujet demande la dimension d'une grandeur (d en l'occurrence au A2*d), c'est que le résultat doit leur permettre une interprétation aisée et que les unités du type $\text{H}^{-1/2} \text{S}^{-1/2} \text{rad}^{-1/2} \text{s}^{1/2} \text{m}$ sont peu pertinentes.

Les relations de passage ont posé beaucoup de problème. La densité de courant surfacique y est souvent remplacée par la densité de courant volumique ; les problèmes posés par cette confusion sont tels que, souvent, les candidats préfèrent considérer que le champ magnétique est normal à l'interface et si cela est en contradiction à la fois avec l'énoncé et les schémas, peu importe puisqu'ils obtiennent ainsi un champ assurément continu !

Quant à l'évaluation de la puissance thermique, elle débute assez souvent avec un calcul de Poynting qui n'a évidemment rien à faire ici.

II-B Chauffage d'une plaque

La dernière partie s'attaquait à l'étude de l'évolution thermique des plaques soumises aux courants de Foucault et à l'évaluation des contraintes imposées par la réalisation d'une transition austénitique.

Cette partie n'est que peu traitée dans les copies et la diffusion thermique est visiblement peu appréciée des étudiants.

L'évaluation des temps de diffusion permettait de justifier les approximations faites dans les modèles proposés et n'était en aucun cas nécessaire pour poursuivre le problème.

L'étude de la plaque mince imposait de résoudre une équation (donnée) de type exponentielle qui a permis de constater la faiblesse mathématique des candidats qui ont osé se confronter à ce problème.

La dernière partie (plaque épaisse) a dû dérouter plus d'un candidat par son apparente complexité alors qu'en fait, aucune utilisation des fonctions introduites (autre que des évaluations numériques simples) n'était requise.

ANALYSE DES RESULTATS

Après un traitement informatique ramenant le barème sur 20 points, la moyenne de l'épreuve s'élève à 8,49 sur 20 avec un écart type de 3,88. Les candidats susceptibles de traiter

correctement un tiers du problème ne représentent que 10% de l'ensemble et un candidat qui n'aurait traité que les questions de cours et les applications numériques où les formules étaient données aurait obtenu une note supérieure à la moyenne constatée sur l'épreuve.

Cela amène alors une remarque immédiate déjà préconisée les années précédentes : sans aller jusqu'à demander de maîtriser son cours, un candidat désireux de sortir un peu du lot doit d'abord et toujours s'attacher à le connaître. C'est la seule façon pour un étudiant « moyen » de s'offrir plus de chance de réussite et plus de choix dans les écoles qu'il aura tentées.