

EPREUVE DE PHYSIQUE - CHIMIE

Durée : 4 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le problème était consacré au fonctionnement d'une centrale EPR de 4^{ème} génération avec neutrons rapides et refroidissement par sodium liquide et comportait trois parties distinctes :

- Etude d'un module d'échange thermique au sein de la cuve du réacteur ;
- Mesure de la vitesse et du débit d'écoulement du caloporteur sodium au sein des circuits primaire et secondaire de la centrale ;
- Elaboration du sodium par électrolyse, puis thermochimie relative à son oxydation en présence d'air et sa réactivité à l'eau.

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Rappelons la nécessité de rédiger correctement les réponses aux questions : tout calcul doit être introduit par au moins une phrase et les résultats du cours ou les théorèmes utilisés doivent être impérativement mentionnés explicitement. Ces évidences ne sont pas semble-t-il, connues par un très grand nombre de candidats.

Signalons enfin que les candidats qui faisaient preuve de persévérance en essayant d'aborder toutes les questions d'une partie au lieu de disperser leurs efforts en cherchant à identifier les questions faciles et d'y répondre de façon décousue, étaient récompensés par des points de bonification explicitement inclus dans le barème de correction.

Malgré les remarques formulées chaque année dans tous les rapports, les candidats font toujours preuve de malhonnêteté intellectuelle en voulant s'approprier des résultats à démontrer (ou en résolvant les calculs à l'envers). Une relecture de la question n'est évidemment pas une démonstration.

Dans l'élaboration du barème, le jury s'est attaché à valoriser les raisonnements effectués avec rigueur et cohérence, la compréhension qualitative des phénomènes physiques mis en jeu et l'analyse critique des résultats quantitatifs. Il n'hésite pas à sanctionner l'utilisation indistincte de formules non justifiées, les résultats inhomogènes ou faux, les réponses données sans justification ni commentaires et les applications numériques délivrées sans unité.

ANALYSE PAR PARTIE

1^{ère} Partie : Etude du système de refroidissement

A / Coefficient global de transfert du module d'échange

Le candidat devait tout d'abord lire et analyser le texte introductif décrivant le fonctionnement de l'échangeur et s'imprégner du schéma qui mettait en évidence les échanges et les températures des deux fluides, en divers points de l'installation. Beaucoup d'explications et résultats y étaient insérés – ce dont ils n'ont malheureusement guère tiré profit.

Toutes les données fournies amenaient le candidat à représenter un schéma électrique équivalent à l'ensemble des échanges conductifs et convectifs mis en jeu – ce qui est une

démarche classique du cours. Beaucoup trop de confusions ont été notées entre montage série et parallèle.

L'expression de la résistance conductive étant fournie, cette question a été diversement résolue : beaucoup de parachutages de formules, de tricherie patente afin d'arriver coûte que coûte au résultat (quelle naïveté de leur part !). Encore moins de succès pour la résistance thermique convective. Globalement peu de candidats sont arrivés à l'expression correcte (encore moins à sa valeur numérique) de la conductance thermique équivalente.

B / Bilan thermique d'un module d'échange

Le concepteur du sujet avait pris soin de démultiplier les étapes de sorte que chaque question ne correspondait qu'à une démarche unitaire ; il suffisait de se laisser porter par leur suite logique. Les correcteurs ont été navrés de constater qu'un nombre impressionnant de candidats ne sait pas écrire l'égalité de deux quantités de chaleurs, à l'occasion d'un échange, à croire qu'ils ne savent apprécier ce qui rentre dans leur porte-monnaie et ce qui en sort !

Nombreux à chercher à dupliquer un transfert diffusif dans le sodium (alors que la conductivité thermique du sodium ne faisait pas partie des variables concernées), alors qu'il suffisait d'écrire, pour une tranche de fluide chaud (ou froid) l'équilibre entre ce qui était gagné et perdu, l'ensemble des transferts entre les deux tubes ayant été globalisés par la conductance thermique équivalente, traitée auparavant.

Beaucoup de fautes de signes à répétition, d'erreurs de calculs dans la résolution des équations différentielles ont entaché les copies. Pour ceux qui ont su écrire correctement ces équilibres, l'interprétation physique demandée a été totalement occultée par une prédominance du traitement mathématique.

C / Puissance et efficacité de l'échangeur

Cette partie a été presque systématiquement abordée par les candidats car le concepteur les faisait repartir sur des bases saines (qu'ils n'avaient pas su obtenir auparavant). Tant que les écritures mathématiques leur permettaient d'avancer, les résultats furent corrects ; par contre dès lors qu'il fallut faire intervenir un raisonnement physique pour définir un flux maximal, un rendement ou une efficacité, plus personne ne poursuivit. Seulement quelques pour cent des candidats ont daigné faire les applications numériques, alors qu'un nombre non négligeable de points leur était consacré. Comment un candidat peut-il imaginer étudier un système industriel en ignorant les ordres de grandeurs de ce qu'il dimensionne ?

2^{ème} Partie : Mesure du débit d'écoulement par débitmétrie ultrasonore

D / Principe de la mesure de vitesse

Si la plupart des candidats a su dire que le temps de parcours de l'onde ultrasonore entre les deux capteurs, de part et d'autre de la canalisation, étaient différents à cause du mouvement du fluide » qui la traversait, par contre leurs écritures, en tenant compte de la composition des vitesses, fut des plus fantaisistes. Deux possibilités s'offraient à eux : l'approche la plus rapide était de nature géométrique (sans doute une discipline obsolète ?), l'autre faisait intervenir un développement limité au premier ordre en V/C_s , elle fut loin d'être naturelle et spontanée chez les candidats (preuve qu'ils ne savent pas utiliser un développement limité ...). Pour un très grand nombre, dès lors que leur différence des temps donnait zéro, ils

n'ont jamais cherché à comprendre pourquoi et sont partis chasser sur la partie suivante, laissant totalement tomber les écritures et les calculs de la vitesse moyenne et de la différence du temps de parcours.

E / Débitmètre à mesure de phase

Un débitmètre à mesure de phase permettait ensuite, à partir de son signal de sortie, de remonter à l'évaluation de la vitesse moyenne du fluide.

Quelques circuits électroniques simples (A.O. et quelques résistances) étaient proposés afin de réaliser un amplificateur différentiel, donnant lieu à des calculs simples (Millman n'est plus aussi bien appliqué qu'il y a dix ans, le schéma pratiquement jamais redessiné et le point d'application du calcul laissé à la bonne volonté du correcteur ...). Une relation entre les valeurs des résistances permettait d'obtenir des expressions simples ; pourtant les résultats furent bizarres, souvent arrêtés au bout d'une ligne ou deux de calculs, sans chercher à atteindre une forme utilisable par la suite, comme si l'effort pour aller plus loin était insurmontable). Quant à la fonction exercée par chacun des A.O. employés, toute la panoplie des types d'AO est apparue, même si souvent cela n'avait rien à voir avec le montage étudié.

F / Ecoulement du fluide et évaluation du débit

L'étude se poursuivait avec une évaluation du débit à partir de l'écoulement du fluide et de sa répartition de vitesse dans la canalisation. Alors que la répartition $V(r)$ était fournie, moins d'un candidat sur deux a été capable d'isoler sa valeur maximale et de la mettre en facteur !

Quant au tracé du profil de vitesse, une collection d'horreurs a été constatée à se demander s'ils savent encore tracer une parabole ! Un nombre non négligeable de candidats a traduit sur leur schéma un maximum de la vitesse au contact fluide/paroi !

Les calculs des différents débits et diverses vitesses moyennes (dont la définition était fournie) ont été dédaignés, les candidats ressortant des expressions sorties de leur calculette ou vaguement retenues. Il suffisait pourtant de se laisser guider par les questions.

3^{ème} Partie : Chimie du sodium

G / Elaboration du sodium

Pour expliquer pourquoi il était impossible de réduire tout oxyde de sodium en métal Na, toute la panoplie des réponses (température trop haute, trop basse, état solide ou liquide, durée, coût, ...) a été proposée, sauf celle attendue. Moins de cinq candidats ont expliqué qu'il n'existe pas de réducteur plus puissant que Na, comme le confirme la simple observation des diagrammes d'Ellingham des oxydes.

L'électrolyse d'une solution aqueuse de NaCl a été diversement traitée. Trop de candidats ont tendance à tout mélanger : oxydation / réduction / anode / cathode ; nombreux proposent la formation de Na et de Cl à l'anode comme à la cathode. Rarement l'état physique (solide, liquide, gaz) n'est précisé même si l'électrolyse se déroulait au dessus du point de fusion du sodium.

Les relations de Nernst sont formulées avec fantaisie car ils manquent de rigueur dans l'écriture des demi-réactions anodiques et cathodiques. Ils ne semblent pas réaliser que le

résultat dépend de la température de travail : ainsi la grandeur $\frac{RT}{F} \ln 10$ valait 0,07 V (comme bien spécifié dans les données à 353 K) et non le 0,06 V habituel ; devant l'ampleur du désastre, les correcteurs ont été amenés à reprendre les copies et à tolérer les résultats obtenus avec la valeur 0,06 V. Par ailleurs, bien des candidats ne savent pas calculer la concentration molaire d'un ion à partir de la concentration massique de la solution !

Les tracés des courbes intensité-potentiel – pour ceux qui les ont représentés, car nombreux se sont arrêtés à Nernst – sont dans l'ensemble correctes même si les formes sont souvent fantaisistes, les échelles rarement respectées et les couples concernés presque systématiquement omis. Les tracés avec surtension sont corrects même s'il est consternant que, même avec un tracé correct, l'interprétation soit quasiment inexistante ou fausse. Selon eux, il est toujours possible d'obtenir Na qu'il soit solide, liquide ou gazeux, alors que seuls Cl_2 et H_2 gazeux seuls sont produits.

L'électrolyse en sels fondus, pourtant présentée de façon simpliste, en laissant deviner les résultats entre les lignes a été peu traitée ; les modes d'obtention du sodium et du chlore ont été éludés et le commentaire sur le schéma de l'installation pratiquement absent (beaucoup trop restent à l'échelle de la paillasse et de sa hotte !). Le calcul du rendement a été obtenu par ceux qui se sont donnés la peine d'aller jusqu'à la fin de cette partie, un bonus leur étant attribué pour leur persévérance.

H / Réactivité du sodium

L'étude de la réactivité du sodium avec le dioxygène donnait lieu aux calculs usuels de thermochimie. Beaucoup de candidats ont été surpris de ne pas pouvoir écrire la valeur de la constante d'équilibre – qui faisait exploser l'écran de leur calculette - , sans penser à la relier à la forte réactivité chimique du sodium pour O_2 . La notion de pression de corrosion est de plus en plus méconnue et les applications numériques associées pourraient alimenter un bêtisier.

La petite partie de cristallographie a été traitée en tout ou rien ? Cette partie du cours n'est pas assimilée : dessins farfelus, dénombrements bizarres du nombre d'atomes, non-respect de la liaison chimique et de la formule Na_2O , incompréhension totale de la notion de la coordinance, alors que ce sont pratiquement les mêmes types de questions qui reviennent chaque année.

Pour terminer, la réactivité du sodium liquide en présence de dioxygène demandait de dessiner un cycle thermodynamique, de réaliser que la température n'était pas de 298 K et que le sodium avait changé de phase. Quelques candidats ont mené à bien ces calculs, même si leurs valeurs obtenues manquaient souvent de réalisme..

ANALYSE DES RESULTATS

La longueur du sujet avait été réduite de façon notable par rapport aux précédentes années. Malgré un barème adapté à la diversité et au nombre de questions et favorisant les questions proches du cours, les résultats constatés sont loin d'être satisfaisants. Les réponses fournies sont souvent très approximatives, non justifiées, dénotant des connaissances trop superficielles et un niveau d'ensemble en décroissance notable. Il ressort de ces corrections un manque de réflexion et de recul du candidat ; ressortent les résultats qu'ils ont appris par cœur sans forcément les comprendre.

Pour environ 20% des copies, les candidats shuntent systématiquement la partie de Chimie, perdant ainsi de nombreux points car elle représentait près d'un tiers du barème. La thermodynamique chimique est abordée mais l'électrolyse (pourtant des plus basiques) a été violemment dédaignée. A l'opposé de nombreux candidats (sans doute des anciens PCSI) ont débuté par la Chimie, en la traitant presque complètement pour certains, mais se sont contentés de grappiller quelques points ici et là, dans les deux parties de Physique, ne se sentant manifestement pas concernés par les sujets abordés.

Les correcteurs ont été stupéfaits – bien plus que pour les sessions précédentes – par le nombre impressionnant de copies ne dépassant pas dix points sur cent, au bout de quatre heures d'épreuves et deux à trois années de Classes Préparatoires. Par ailleurs une très grande disparité dans le contenu des paquets de copies ; ainsi dans certains centres d'écrit, des candidats n'ont manifestement pas entendu parler d'électrolyse ou du tracé des courbes intensité-potentiel, ou passent totalement à travers la cristallographie.

Les candidats attachent de plus en plus d'importance à la forme mathématique d'un résultat et ne se soucient guère du sens physique ou chimique associé, à l'encontre même d'un esprit ingénieur. Comment réagiraient-ils dans l'avenir si, leurs moyens de calcul diminuant, ils n'avaient qu'à analyser des situations proposées et formuler des réponses qualitatives ?

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 8,99 sur 20, avec un écart-type de 4,31. Les correcteurs, dans leur globalité, constatent que de nombreux candidats voient leur note finale constituée d'un grappillage de points sans vraiment avoir compris l'enchaînement des questions. Rappelons que des points de bonus sont accordés par les correcteurs aux candidats qui ont été critiques quant à leurs résultats et qui ont conclu une partie entière de l'épreuve sans faute au fil d'une réelle composition.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Même si les candidats lisent rarement les rapports d'épreuves des concours, rappelons-leur que la préparation du concours est fondée sur un apprentissage régulier et approfondi du cours, cet apprentissage s'effectuant par une approche équilibrée entre la théorie et l'expérience : la démarche expérimentale effectuée dans le cadre des travaux pratiques est incontournable et riche d'informations pour la compréhension des phénomènes physiques. Il apparaît inadmissible que les questions proches du cours sur lesquelles s'appuie le raisonnement ne soient pas ou mal traitées par les candidats.

La résolution du problème nécessite un minimum de technicité calculatoire que le candidat se doit de maîtriser même si son utilisation reste réduite dans le cadre du concours. Pour autant, le candidat ne doit pas se contenter de répondre mathématiquement aux questions posées, il doit argumenter, rédiger sa réponse de manière précise, dégager le sens physique de ses résultats et effectuer l'analyse critique du phénomène étudié. Le caractère pertinent des solutions se doit d'être souligné. Le choix des sujets abordés évalue la curiosité, le sens de l'observation, le réalisme du candidat et son adaptabilité face au monde naturel et technique en perpétuelle évolution.

Ne pas négliger les applications numériques et prendre en compte la précision attendue. Ces informations sont importantes pour évaluer les performances d'un système et influent de façon notable sur la note acquise par le candidat.

L'ultime recommandation et sans doute la première au jour de l'épreuve est une lecture préalable attentive, sans précipitation, de l'énoncé : les réponses à bon nombre de questions ou les orientations relatives à la bonne marche à suivre pour la résolution du problème sont souvent glissées par le concepteur dans des phrases introductives ou de liaison entre les paragraphes successifs. Le candidat trouvera dans la formulation des questions et bien souvent dans les données numériques les clés de son raisonnement.