

EPREUVE DE PHYSIQUE - CHIMIE

Durée : 4 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le problème était consacré au fonctionnement d'un générateur à turbine, il se décomposait en quatre parties indépendantes :

- le cycle idéal de Carnot ;
- le générateur à turbine à gaz fonctionnant sur un cycle de Brayton et complété d'un dispositif de régénération des gaz sortant de la turbine ;
- la cogénération, production combinée d'énergie thermique et d'énergie mécanique ;
- la combustion de gaz naturel dans la turbine traitée d'un point de vue chimique.

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Le sujet couvrait le programme des deux années en classes préparatoires ce qui a déstabilisé un certain nombre de candidats. Il faisait, dans un premier temps, essentiellement appel à des connaissances de thermodynamique lointaines pour certains mais incontournables aujourd'hui. Cette partie a été abordée avec beaucoup de succès et la totalité de ces questions a été parfaitement résolue par bon nombre de candidats.

La chimie en fin d'épreuve était d'une approche plus originale et, après le traitement d'une combustion somme toute classique, se poursuivait dans l'analyse de fumées sèches par un diagramme d'Ostwald. Elle évaluait l'ingéniosité du candidat, son niveau d'acuité de raisonnement face à une problématique différente, son sens pratique voire critique quant à la technique utilisée.

L'épreuve était longue mais elle présentait l'avantage d'être sélective et classante. Elle permettait au candidat de s'exprimer tant au niveau de sa connaissance du cours que de sa capacité d'imagination. L'analyse critique, le sens pratique et la créativité du futur ingénieur pouvaient être aussi mis en valeur en dernière partie d'épreuve. Dans la mesure de ses aptitudes, le candidat était ainsi susceptible de s'exprimer largement dans le cadre du temps qui lui était imparti.

La lacune évidente observée par le jury est l'absence de rédaction. Au-delà des questions purement qualitatives souvent mal exposées, elle se réduit trop souvent à un mot ou à une succession d'équations sans commentaires ni explication. L'introduction à la question, les articulations d'une démonstration, comme l'analyse de ses résultats sont presque systématiquement absentes ou totalement erronées. Une question qui ne semble pas requérir quelque équation ou calcul précis mais qui nécessite plutôt un sens physique, une réflexion de la part du candidat à partir d'informations est très souvent abandonnée.

L'exploitation de l'énoncé, alors que celui-ci souffle les réponses à plusieurs questions, et la rédaction simple, concise et compréhensible de la solution sont trop souvent mal envisagées par les candidats. L'orthographe et le style sont pauvres. Ceci est dû en partie à une insuffisance de la maîtrise du langage écrit, mais surtout à une stratégie du « grapillage » de points : de nombreux candidats se contentent de survoler le sujet dans le seul objectif de

compiler un maximum de points, alors qu'un ingénieur, dans sa vie professionnelle, passe beaucoup plus de temps à expliquer et à communiquer qu'à développer des équations.

Soulignons que le concours a mis en place un système de bonus qui favorise de façon significative une rédaction de qualité. Il valorise aussi, par un nombre significatif de points, les parties du problème traitées de façon complète et ponctuées de remarques physiques pertinentes.

Pour les applications numériques, la plus grande anarchie a régné dans l'expression des résultats. Les approximations ou le nombre de chiffres significatifs ont trop souvent été abusifs. Le jury a fait preuve de beaucoup d'indulgence à ce sujet alors que le poids des applications numériques était important dans le problème. Les valeurs numériques font partie du quotidien d'un ingénieur tant pour l'analyse serrée des performances d'un dispositif que des conséquences économiques qui s'ensuivent. Rappelons qu'une grandeur physique admet une unité. Tout résultat numérique non accompagné de celle-ci ne peut pas se voir accordé de points.

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 ;
- les réponses claires, soigneusement justifiées et rédigées ;
- la compréhension qualitative des phénomènes physiques mis en jeu ;
- l'analyse critique des résultats quantitatifs.

Il a en revanche sanctionné :

- l'utilisation indistincte de formules non justifiées ;
- les questions de cours non assimilées ;
- les résultats inhomogènes ou faux ;
- les réponses données sans justification ni commentaires ;
- les applications numériques délivrées sans unité ou avec un nombre abusif de chiffres significatifs ;
- l'écriture illisible et l'absence de rédaction.

ANALYSE PAR PARTIE

1^{ère} Partie : Cycle de Carnot

A / Diagramme de Watt

Il s'agissait d'une question de cours dont le jury attendait mieux. D'entrée, le rapport des pentes de l'adiabatique et de l'isotherme égal aux capacités thermiques à pression et volume constants a été affirmé mais rarement justifié. De la même façon, le rendement de Carnot a été simplement énoncé mais peu souvent démontré. Rappelons qu'un résultat non justifié ne peut pas rapporter de point.

B / Diagramme entropique

Ce diagramme, simple et facile d'utilisation pour le cycle de Carnot, est mal connu des candidats et, en conséquence, mal exploité.

2^{ème} Partie : Etude d'un générateur à turbine à gaz

C / Premier principe pour un système ouvert

Cette partie a globalement été convenablement élaborée par les candidats même si les démonstrations ne furent pas toujours rigoureuses et convenablement rédigées. Notons que certains ont usé d'une réelle malhonnêteté intellectuelle pour la retrouver coûte que coûte.

La variation d'enthalpie massique, essentielle dans cette épreuve, a été donnée d'emblée pour permettre aux candidats qui ne l'ont pas justifiée de poursuivre néanmoins la résolution du problème.

D / Cycle de Brayton idéal

Nous avons déjà souligné l'anarchie qui a régné dans l'expression numérique des résultats obtenus, il faut aussi y ajouter de nombreuses erreurs de signe pour les énergies échangées, en désaccord avec la convention récepteur adoptée en thermodynamique. Notons que les applications numériques étaient nombreuses mais en accord avec le quotidien du travail de l'ingénieur.

Le formalisme de la thermodynamique (différentielles totales et formes différentielles) est confus, mal assimilé par trop de candidats.

Alors que le sujet mettait en avant la variation de l'enthalpie massique du fluide, de nombreux candidats se sont obstinés à exploiter la variation d'énergie interne massique, ce qui a eu pour conséquence toute une chaîne de formules erronés, encombrées par un coefficient γ , et des valeurs numériques incorrectes.

E / Cycle de Brayton réel

Les calculs de cette partie furent bien menés mais leur exploitation a été insuffisante. Peu de candidats, par exemple, ont remarqué que près de la moitié du travail fourni par la turbine était détournée pour faire fonctionner le compresseur. Ce qui n'était pas sans incidence sur le rendement du dispositif. C'est encore dans l'analyse et l'exploitation des résultats que les candidats ont échoué alors que la démarche mathématique avait été correcte.

F / Régénérateur

Mêmes remarques sur cette partie, les valeurs numériques étaient justes bien qu'approximatives mais leurs conséquences sur le fonctionnement mal appréhendées alors qu'une lecture attentive de l'énoncé prévoyait la réponse.

3^{ème} Partie : Cogénération d'énergies

G / Production d'énergie électrique : le turbo-alternateur

Cette partie était facile et a souvent été bien abordées par les candidats. Sauf pour la question relative à la tension efficace aux bornes de l'installation. Le raisonnement n'était pas simple et nécessitait la résolution d'une équation du second degré. Pratiquement aucun candidat n'a pu l'aboutir.

H / Production d'énergie thermique : l'échangeur de cogénération

Beaucoup de candidats ont mené à bien ces calculs.

4^{ème} Partie : Combustion du méthane

I / Combustion totale et complète

On attendait le terme d'oxydo-réduction mais les candidats ont répondu en majorité combustion ou réaction acido-basique ! Pour le sens d'évolution des réactions trop d'entre eux se sont contentés de répondre par une loi de modération, alors que l'énoncé demandait expressément d'exprimer la variation relative du quotient réactionnel dQ/Q et d'en exprimer clairement les conséquences.

Pour ceux, peu nombreux, qui ont correctement écrit la réaction de combustion incomplète, l'exploitation des données en termes de rendement énergétique et le caractère nocif du gaz expulsé fut satisfaisante.

J / Etablissement du diagramme d'Ostwald

Le sujet se concluait sur une technologie de contrôle des combustions réalisées quotidiennement dans les fours et les chaudières. Elle constituait la partie calculatoire du problème et ne nécessitait que peu de connaissances en chimie. Elle évaluait le bon sens des candidats et un certain sens pratique, voire une imagination qui prolongeait en fin d'épreuve le cadre du programme.

Il y eu beaucoup de remarques judicieuses mais cette question ne fut résolue que par partie et sans cohérence.

Les courbes observées ont été très approximatives, tracées rapidement et sans précision, souvent non justifiées.

ANALYSE DES RESULTATS

Le sujet était long mais permettait à chacun de s'exprimer dans la mesure de ses aptitudes. Malgré un barème adapté à la diversité et au grand nombre de questions et favorisant les questions proches du cours, les résultats constatés sont loin d'être satisfaisants. Le niveau général des connaissances a été jugé insuffisant par les correcteurs. Les réponses fournies sont souvent très approximatives, non justifiées, dénotant des connaissances trop superficielles. La constitution et la simple lecture de graphes, a fortiori leur utilisation, pose des difficultés à bon nombre de candidats.

Traiter un problème de Physique-Chimie, c'est exposer la solution de façon claire et concise. Encore plus aujourd'hui qu'hier, il reste trop difficile pour beaucoup de candidats de rédiger leurs réponses de façon synthétique et compréhensible. La rédaction se réduit trop souvent à une succession d'équations sans explication ni articulation et cette situation s'aggrave au fil

des ans. Une stratégie s'est installée, elle consiste à ne plus rédiger mais plutôt à donner les résultats littéraux et éventuellement numériques sans analyses ni commentaires succincts. La réponse brute et sèche à la question posée est maintenant courante mais elle reste inacceptable, un résultat donné sans justification ne pouvant pas être pris en compte.

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 9,05 sur 20, avec un écart-type de 4,17. 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.

L'épreuve était accessible puisque toutes les questions, prises séparément, ont été correctement résolues par un certain nombre de candidats.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

La préparation du concours est fondée sur un apprentissage régulier et approfondi du cours, cet apprentissage s'effectue 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 préparation à la formation d'ingénieurs privilégie une démarche scientifique empreinte de rigueur, elle s'accommode mal de l'apprentissage réducteur d'une collection de formules plus ou moins bien corrélées.

Tout résultat non justifié ne permet pas l'attribution des points.

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.