Physique-chimie 1

Présentation du sujet

Le sujet propose aux candidats d'explorer plusieurs facettes de la production d'énergie électrique nucléaire et de mettre en évidence quelques difficultés afférentes à sa mise en œuvre. Le questionnement débute par une étude de l'uranium comme source d'énergie, d'abord sous sa forme naturelle, puis sous forme de combustible nucléaire enrichi en isotope 235. La deuxième partie du sujet porte sur l'étude thermique du cœur d'un réacteur à eau pressurisée ; l'objectif implicite de cette partie est de valider le dimensionnement du circuit de refroidissement du réacteur. La dernière partie est, quant à elle, consacrée au cycle thermodynamique de fonctionnement du circuit secondaire d'une centrale nucléaire et à l'évaluation de son rendement.

Avec son architecture en trois parties indépendantes, de poids relativement similaires, le sujet offre l'opportunité aux candidats de mettre en évidence leur bonne maitrise des notions et capacités du programme en lien avec le concept d'énergie au sens large. Il comporte un nombre significatif de questions non-guidées, de difficultés variées, destinées à tester les compétences d'appropriation et d'analyse des candidats. Plusieurs documents, dont un placé en annexe comportant de nombreuses données numériques authentiques, sont intégrés dans le sujet de façon à étayer la discussion physique des enjeux du problème et des résultats obtenus par la modélisation.

Analyse globale des résultats

La longueur du sujet étant raisonnable, quasiment tous les candidats ont abordé, au moins partiellement, chacune des trois parties du problème. La réussite d'ensemble sur chacune d'entre elles est inégale : la partie I est celle sur laquelle les candidats ont rencontré le moins de difficultés, tandis que le traitement réservé à la partie II s'est étonnamment révélé décevant. Les démonstrations classiques du cours sont le plus souvent bien restituées et le traitement réservé aux questions de difficulté modérée est satisfaisant en général. Les questions plus fines sur le plan de l'analyse physique, dont les questions non-guidées, ont permis quant à elles de bien différencier les candidats au sein des deux premiers quartiles. Les meilleurs candidats ont compris l'ensemble des enjeux du problème posé et ont remis des copies de grande qualité.

Comparativement à la session précédente, les candidats ont davantage abordé les questions non-guidées. À titre d'exemple, la première d'entre elles est abordée, au moins partiellement, dans plus de 60 % des copies. Le jury tient à souligner cet effort important, même si la stratégie adoptée, l'extraction des données pertinentes et l'interprétation des résultats sont parfois maladroites.

Sur la forme, l'ensemble des correcteurs affectés à cette épreuve déplore une très nette dégradation de la présentation des copies par rapport à l'an dernier. Les défauts de rédaction, déjà signalés dans les rapports antérieurs, perdurent et nuisent malheureusement trop souvent à la clarté du propos.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Attentes du jury sur le plan rédactionnel

De façon générale, le jury attend des raisonnements concis et précis, menés sur des systèmes clairement définis et faisant appel à des lois explicitement citées, hypothèses sous-jacentes incluses. Le barème élaboré est toujours suffisamment détaillé pour valoriser les candidats qui se soumettent à ces exigences de rigueur.

Les réponses aux questions qualitatives doivent évidemment être argumentées et rédigées en respectant les règles grammaticales les plus élémentaires. En outre, une tautologie ne saurait jamais faire office de réponse à une question qualitative.

L'usage irraisonné d'abréviations doit être proscrit. À contrario, la mise en valeur des résultats obtenus, qui témoigne de la considération apportée au travail de correction, est très fortement appréciée et donc vivement encouragée.

Attentes du jury sur les questions non-guidées

Les 6 questions non-guidées proposées dans ce sujet (sur 36 au total) représentent à elles seules un tiers du barème, ce qui est considérable ! Le jury a parfaitement conscience du temps nécessaire à leur résolution, puis à la rédaction structurée des réponses dans la copie, et tient à valoriser les efforts correspondants. À ce titre, il est indispensable que les candidats retranscrivent leurs pistes de réflexion, même si celles-ci n'ont pas permis d'aboutir au résultat final attendu : la démarche est évaluée indépendamment du résultat.

Pour la restitution des éléments de réponse, le jury recommande fortement aux candidats :

- de commencer par présenter la stratégie adoptée de façon claire ;
- de s'appuyer sur un schéma-modèle si cela s'avère pertinent ;
- de lister l'ensemble des hypothèses formulées pour la modélisation ;
- d'introduire des notations pour toutes les grandeurs physiques utiles, de façon à mener à leur terme les calculs sous forme littérale exclusivement (cette règle ne devant souffrir aucune exception) ;
- de commenter les valeurs numériques obtenues, en signalant — le cas échéant — si elles semblent aberrantes ;
- de respecter les consignes de rédaction rappelées précédemment.

I L'uranium

Q3. Certains candidats ne pensent pas à exploiter l'équation différentielle dont la démonstration faisait l'objet de la question précédente et proposent une expression fantaisiste de la période radioactive.

Q4. Pour cette question, comme pour la plupart des applications numériques ultérieures, le jury attendait que les candidats mentionnent explicitement les données numériques retenues pour l'évaluation des grandeurs recherchées. Rappelons également que les résultats numériques doivent être écrits avec un nombre de chiffres significatifs adapté.

Q6. 76 % des candidats qui ont abordé cette question ont vu leurs efforts au moins partiellement récompensés. La définition mathématique du taux d'uranium 235 est correctement posée la plupart du temps. En revanche, de nombreux candidats ont été perturbés de trouver un instant négatif à l'issue du calcul et ont mal conclu leur raisonnement. À cette occasion, le jury a été surpris de constater que seuls 16 % des candidats fournissent un ordre de grandeur correct de l'âge de la Terre.

Q8 à **Q10**. L'appropriation de la structure cristallographique de UO_2 par les candidats est très satisfaisante. En revanche, la détermination du paramètre de maille s'est avérée plus laborieuse et la confrontation avec les rayons ioniques, pourtant classique, est source d'erreur.

Q11. Cette question est globalement mal comprise. Le jury déplore ainsi de nombreuses confusions entre les processus d'émission α et de fission, ainsi que des erreurs sur l'isotope considéré. Enfin, pour exprimer

le nombre de noyaux d'uranium 235 présents dans l'échantillon, il faut ici faire intervenir la masse molaire du dioxyde d'uranium et non celle de l'uranium.

Q12. 58 % des candidats ayant abordé cette question proposent une estimation cohérente de la masse de charbon consommée. En revanche, seuls 18 % de ce même échantillon proposent une estimation cohérente de la masse de combustible nucléaire. Trop de candidats pensent que la densité énergétique d'un combustible est la seule caractéristique à prendre en compte pour comparer deux types de centrales électriques. En outre, le rendement des centrales électriques n'est quasiment jamais pris en compte dans le calcul.

II Le cœur du réacteur

Q13 à **Q15**. Les arguments avancés par les candidats sont souvent pertinents. Certains font preuve de bonnes connaissances, relevant de la culture générale, sur le fonctionnement du cœur d'une centrale nucléaire. À contrario, quelques candidats pensent qu'un réacteur nucléaire est le siège de réactions chimiques de combustion.

Q17. Hormis pour les quelques candidats selon lesquels l'eau du circuit primaire chauffe les crayons de combustible, l'élimination des profils 1 et 3 ne pose pas de difficulté. Ensuite, le profil affine est souvent choisi à tort par généralisation abusive de la situation stationnaire, unidimensionnelle et sans terme source, vue en cours.

Q18. Il s'agissait de relier, grâce à la loi de Fourier, la constante K à la conductivité thermique moyenne du matériau et à la densité de courant thermique en périphérie d'un crayon (ces deux grandeurs figurant dans les données de l'annexe). Un simple raisonnement par homogénéité ne peut s'avérer suffisant.

Q20. Seul un quart des candidats propose une définition correcte de la puissance linéique.

Q22 et **Q23**. Le phénomène de conducto-convection à l'interface entre le crayon et l'eau est souvent mentionné. Alternativement, le rôle joué par la résistance thermique de la gaine est invoqué. Ces deux propositions ont été acceptées sans distinction par le jury. Toutefois, la prise en compte de l'un de ces deux phénomènes dans la modélisation a rarement conduit à des développements satisfaisants.

Q24. Dans la plupart des copies, on ne lit qu'une description de la courbe proposée, sans qu'aucune conséquence des variations de la conductivité thermique vis-à-vis de la température ne soit explicitée. Quelques candidats ont l'intuition d'un flux thermique inchangé mais n'arrivent pas à formaliser, ni à justifier, cette propriété.

III Du réacteur aux turbines

Q25. Le système à considérer n'est quasiment jamais défini rigoureusement. Un schéma, même rudimentaire, sur lequel figurent le volume de contrôle et le système fermé étudié est utile pour clarifier le bilan réalisé. La plupart du temps, la restitution de la démonstration vue en cours est approximative : le caractère stationnaire de l'écoulement, bien qu'indispensable à la démonstration, est rarement invoqué et l'expression du travail massique développé par les forces de pression est donnée sans justification.

Q26. Le positionnement des points dans le diagramme (T, s) n'a pas posé de problème. Le jury a été vigilant au fait que la température au point F pouvait être prise égale à 281 °C ou à 250 °C, selon que le candidat se référait à la figure 7 de l'énoncé ou aux valeurs données dans le document-réponse. Cette ambivalence dans le choix de T_F a d'ailleurs été prise en compte jusqu'à la fin du barème.

Q30. Les bilans de masse sont en général bien compris et bien formulés. Seule l'absence de l'argument de stationnarité est à déplorer.

Q31. Cette question, qui nécessitait de s'approprier l'expression du premier principe pour un fluide en écoulement au travers d'un système à plusieurs entrées-sorties, a été bien réussie par les candidats qui l'ont abordée.

Q33 à **Q36**. Non-guidées et sans doute abordées en toute fin d'épreuve, ces dernières questions ont rarement été traitées de façon satisfaisante. Le jury a tout de même eu le plaisir de lire quelques belles propositions : félicitations aux candidats qui en sont les auteurs !

Conclusion

Comme tous les ans, le jury attire l'attention des candidats sur l'importance d'une lecture attentive de l'énoncé. Cette étape préliminaire est fondamentale pour l'appropriation des enjeux physique inhérents au problème étudié et l'appréhension du questionnement proposé.

Afin de se préparer au mieux aux épreuves du concours Centrale-Supélec, les futurs candidats doivent garder à l'esprit les éléments suivants.

- La parfaite maitrise du cours est une condition absolument nécessaire à la réussite de cette épreuve. Il importe en particulier d'avoir les idées claires quant aux dimensions des grandeurs physiques manipulées et aux ordres de grandeur classiques.

- La qualité de la rédaction constitue une part importante de la notation. Il est ainsi inutile de se précipiter lors des réponses aux questions proches du cours, au risque d'oublier certains éléments-clés dans les démonstrations, faisant ainsi perdre des points. Les réponses aux questions qualitatives doivent être argumentées.

- Les calculs doivent toujours être menés de façon littérale. Les candidats qui s'aventurent à une pratique du calcul semi-littéral le font souvent au détriment de l'homogénéité, de la compréhension globale du propos ainsi que de la clarté de la communication, et s'en voient lourdement pénalisés.

- Le jury encourage toujours les candidats à prendre le temps de commenter les valeurs numériques obtenues. Il valorise également ceux qui font preuve d'honnêteté intellectuelle et de sens critique lorsqu'ils obtiennent une valeur aberrante eu égard au cadre de l'étude.

- Le jury encourage vivement les candidats à prendre connaissance des questions identifiées comme non guidées, et à y consacrer un temps de réflexion suffisant. À l'issue de cette réflexion, les candidats doivent consigner sur leur copie leurs pistes de réflexion, accompagnées des éléments d'explication utiles, et ce même si le raisonnement n'est pas totalement abouti. Le barème réserve en effet de nombreux points à la mise en place de la démarche scientifique.

- Les candidats doivent veiller à la bonne présentation de leur copie et à la lisibilité de leurs réponses, particulièrement sur les questions calculatoires. Le recours à une ou plusieurs feuilles de brouillon ne constitue pas une perte de temps et permet, au contraire, de restituer sur la copie une version efficace et claire des démonstrations. Les résultats définitifs doivent également être mis en valeur (soulignés ou encadrés).

Le jury tient à féliciter les candidats ayant remis d'excellentes copies, témoignant des efforts intellectuels engagés au cours des deux années de classes préparatoires. Indépendamment des résultats de cette épreuve, le jury tient encore davantage à féliciter chaleureusement l'ensemble des candidats (et leurs professeurs) pour la ténacité dont ils ont dû faire preuve au cours des derniers mois de leur préparation.