

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 maîtrise 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 maîtrise 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.

Physique-chimie 2

Présentation du sujet

L'épreuve comporte quatre parties indépendantes, abordant chacune à sa manière diverses questions liées à l'étoile Proxima du Centaure. Elles traitent successivement de la chimie (structurale, thermodynamique et cinétique) de l'atmosphère, de l'optique (géométrique puis ondulatoire) d'observation de l'astre, de l'effet d'une onde électromagnétique sur une voile solaire et de la mécanique d'un système formé de l'étoile et d'une exoplanète.

Analyse globale des résultats

Ces quatre grandes parties de l'énoncé ont été abordées de manière relativement équilibrée par les candidats, les plus efficaces d'entre eux parvenant à traiter la presque totalité du sujet. Comme les questions de chimie étaient placées au début du problème, rares sont ceux qui ont cédé à la tentation de ne pas les traiter et les meilleures notes récompensent les copies faisant preuve dans la partie I de la même qualité scientifique que dans les parties II, III et IV.

Dans l'ensemble, la présentation des copies s'avère satisfaisante. Par contraste, les quelques candidats qui ne font pas les efforts minimaux en ce sens se dévalorisent eux-mêmes.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

La numérisation des copies produit des fichiers d'excellente qualité, mais nous dissuadons les candidats d'utiliser des encres pâles. En optique en particulier, les traits de construction doivent apparaître clairement et on ne peut se contenter de vagues traces à peine marquées de la pointe d'un crayon. Il n'en irait pas différemment si les correcteurs avaient sous les yeux les copies en papier.

Rappelons ici une consigne usuelle de présentation des sciences physiques : il est préférable, en particulier dans les questions non guidées, de mener les calculs littéraux le plus loin possible et de n'utiliser les valeurs numériques qu'au moment opportun. Dans le même ordre d'idée, le respect des notations introduites par l'énoncé est un passage obligé d'une bonne rédaction.

La plupart des questions peuvent être traitées en quelques lignes en mettant en œuvre, avec un bon sens élémentaire, quelques concepts du programme officiel de physique-chimie de la filière MP. De manière générale, nous recommandons aux candidats de lire attentivement les questions afin de satisfaire au degré de précision attendu par les correcteurs. Lorsqu'il s'agit de « justifier », « d'argumenter », « d'expliquer » ou « d'établir », on ne peut se contenter de phrases vagues, confuses, ni de paraphrase de l'énoncé. Les questions 1 et 2 sont à ce titre particulièrement révélatrices.

L'énoncé comporte deux questions non guidées, signalées comme telles, et pesant ensemble pour près de 15 % du barème, sans que leur traitement nécessite un long ou hasardeux travail de modélisation. Le jury a valorisé tout élément de réponse rationnellement fondé, même en l'absence de résultat final. En conséquence, les candidats qui ont abordé ces questions ont en général vu leur pugnacité récompensée.

Signalons maintenant quelques points particuliers sur lesquels les futurs candidats pourront faire porter leur attention afin d'optimiser leur préparation et de ne pas tomber dans les mêmes pièges que leurs prédécesseurs.

- La représentation de Lewis de l'ozone est rarement correcte. Une structure grossièrement fausse ou ne faisant pas apparaître de charge invalide évidemment toute tentative de justification d'un moment dipolaire.
- La question 9 est assez emblématique de ce que l'on attend des candidats. Le titre de la sous-partie I.C indique qu'il s'agit d'une analyse thermodynamique, ce qui constitue une précieuse indication. Pour répondre correctement, il faut d'une part maîtriser les lois de déplacement des équilibres chimiques et savoir les exprimer clairement, et d'autre part discuter leurs conséquences dans un contexte particulier. Les candidats qui se contentent de commenter la figure 1 n'ont manifestement pas bien lu l'énoncé.
- En optique, la notion d'objet à l'infini est mal exploitée. Les constructions concernant une lentille divergente sont souvent défailtantes.
- La question 20 aurait dû susciter une analyse circonspecte des données fournies par l'énoncé ou une réflexion explicite sur un choix d'hypothèses, puisqu'il s'agit d'utiliser le flux solaire pour en déduire le signal optique produit par Proxima Centauris.
- Les questions d'optique ondulatoire 24 à 32 ont été traitées par une majorité de candidats qui semblent avoir acquis certains automatismes, sans toujours en maîtriser l'arrière-plan conceptuel. Cette lacune transparait par l'absence de justification d'une différence de marche, par sa représentation graphique erronée, par la difficulté à décrire précisément une figure d'interférence ou encore par l'incapacité à répondre à la question 32.
- Les notions de base sur les ondes électromagnétiques sont connues, mais on relève quelques maladresses dans le passage des représentations complexes au vecteur de Poynting et dans la justification, demandée dans la question 36, du caractère négligeable d'un des termes de l'équation d'onde.
- Dans les questions de mécanique 41 à 44, des résultats intermédiaires sont fournis par l'énoncé et il s'agit de les justifier clairement. De trop nombreuses copies proposent des arguments fantaisistes au lieu de suivre la logique proposée par l'énoncé. Rappelons ici, même si cela peut sembler évident, qu'une épreuve scientifique ne récompense jamais la malhonnêteté.

Conclusion

Comme on le voit, les exigences du jury n'ont rien de révolutionnaire. Les candidats ayant acquis l'ensemble des connaissances prévues par le programme officiel de la filière MP, et capables de les mobiliser dans un énoncé abondant des thèmes variés, tirent naturellement leur épingle du jeu.