

# Physique-chimie 1

## Présentation du sujet

Le sujet PSI Physique-Chimie 1 s'intéresse à certains aspects du fonctionnement d'une centrale nucléaire.

Il est constitué de cinq parties indépendantes.

Les deux premières parties portent exclusivement sur les parties de *thermodynamique* des programmes des deux années dans la filière (diffusion thermique, machines thermiques et système en écoulement stationnaire) :

- l'étude du circuit primaire, portant sur l'évolution de la température autour du cœur combustible générant une puissance thermique résultant des réactions de fission et transférée au fluide caloporteur circulant dans l'espace annulaire autour du crayon ;
- l'étude du circuit secondaire, d'abord décrit par un cycle de Hirn, puis par un cycle modifié à double surchauffe.

La troisième partie concerne l'étude de l'alternateur, modélisé par une simple spire circulaire conductrice, en rotation dans un champ magnétique uniforme et constant.

Les deux parties suivantes abordent des thématiques relatives à la sécurité et se rapportent aux chapitres relatifs aux *transformations chimiques en solution aqueuse* du programme de première année :

- le contrôle de la concentration en bore du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt par deux méthodes distinctes de titrage, pH-métrie et conductimétrie.
- le contrôle du pH lors d'opérations de maintenance, ce dernier influant sur la solubilité d'oxydes, de nickel notamment, qui entre dans la composition des tubes des générateurs de vapeur.

Les questions sont de niveaux de difficulté variables au sein de chacune des parties et sous-parties, certaines se limitant à des restitutions directes de cours, d'autres au contraire, mobilisant des capacités d'analyse et de réflexion du candidat. Dans l'ensemble, chacune des questions est l'occasion de tester les compétences du candidat relevant du domaine de la bonne communication de ses connaissances et de la démarche de résolution qu'il propose.

## Analyse globale des résultats

Le jury reconnaît que le sujet est long. Pourtant, nombreux sont les candidats abordant l'ensemble des cinq parties, le plus souvent en respectant la progression suggérée par l'énoncé.

Le jury a relevé un manque préjudiciable de clarté et de rigueur dans l'exposé et l'enchaînement des étapes de démonstrations pour bon nombre de copies. Au contraire, il a su apprécier les copies démontrant une parfaite assimilation des éléments exigibles du programme et la compréhension des phénomènes physiques s'y rattachant.

Les questions non guidées ont été davantage délaissées que par le passé, ce qui est regrettable. Le jury rappelle qu'il valorise significativement toute proposition scientifiquement fondée dès lors que les candidats extraient les informations pertinentes, en donnant une interprétation correcte et exposent clairement leur démarche, même lorsque cette dernière n'aboutit pas à une conclusion parfaite ni complète.

Enfin, particulièrement sensible à l'expression, à la présentation de la copie, ainsi qu'à la lisibilité de l'écriture, le jury invite les candidats à remettre des copies à la fois convaincantes dans leur contenu et

respectueuses du correcteur quant à la forme : des réponses lisibles non raturées, correctement numérotées, rédigées de manière intelligible et sans faute d'orthographe, des schémas légendés, des axes étiquetés, des traits tirés à la règle, etc. Le jury a appliqué un malus dès lors que l'un au moins de ces critères a fait défaut.

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le jury recommande aux futurs candidats de prêter une attention particulière à la formulation des questions contenant des sous-questions. Bien que les réponses puissent sembler élémentaires, il convient de traiter l'ensemble pour acquérir la totalité des points alloués. De même, lorsque la question demande d'exprimer une grandeur en fonction d'un jeu de variables précis, il convient d'arranger l'expression pour faire apparaître les grandeurs attendues et répondre ainsi strictement à la question posée.

Une réponse correcte et soigneusement argumentée sera toujours plus récompensée qu'une série de réponses négligées et imprécises.

Les verbes d'action tels que « montrer » ou « démontrer » doivent inciter les candidats à fournir une démonstration rigoureuse et complète de la relation demandée, plutôt que de simplement réutiliser un résultat général en l'adaptant au problème.

Il est constaté que certains candidats limitent leur raisonnement à une juxtaposition de valeurs numériques sans nommer les grandeurs manipulées associées ; le jury rappelle que les expressions littérales sont à privilégier. Par ailleurs, il est courant de voir des grandeurs non introduites par l'énoncé être ajoutées par le candidat sous forme de symbole (par exemple, «  $e$  » pour une force électromotrice, «  $W$  » pour un travail, «  $\Phi$  » pour une puissance thermique ou un flux magnétique) sans référence ni convention claire.

Pour les grandeurs déjà introduites par l'énoncé, il est déconseillé de modifier le symbole imposé sans en préciser les raisons.

Lorsqu'une formule de cours est demandée, il convient là encore de rappeler le nom des grandeurs ainsi que leurs unités lorsque cela n'a pas été précisé par l'énoncé. Les lois (Lenz, Faraday, etc.) ou principes (premier principe de la thermodynamique entre  $t$  et  $t + dt$  ou encore sur un cycle, etc.) exploités doivent également être nommés, sans être confondus (Fourier et Fick, Faraday et Ampère, etc.). L'utilisation d'acronymes tels que ppi, PCII, LdN, etc. doit être évitée.

D'une façon plus globale, le jury conseille également d'utiliser un vocabulaire juste et précis ne laissant aucun doute sur la compréhension des phénomènes physiques ou l'interprétation des grandeurs manipulées, d'argumenter toute réponse, de nommer et/ou citer les principes et lois utilisés en rappelant les conditions d'application, de contrôler les formules littérales par vérification de l'homogénéité, l'influence des paramètres et l'usage de notations correctes (vecteur ou scalaire,  $\Delta$  ou  $\delta$  ou  $d$  ou  $\partial$ , ...), de prendre le temps d'effectuer les applications numériques de manière soignée en précisant l'unité s'il y a lieu, de contrôler les unités des grandeurs intervenant dans ces applications numériques, de commenter de façon constructive ces résultats numériques, de faire preuve d'honnêteté intellectuelle et de sens critique lorsqu'une valeur semble aberrante. En cas d'exploitation de documents (graphe, tableau de valeurs, etc.) il convient de conduire avec rigueur la détermination des valeurs attendues ou nécessaires en exposant précisément le raisonnement menant à l'extraction de ces données quantitatives.

Les futurs candidats sont invités à structurer les réponses, qu'il s'agisse de démonstrations classiques ou de questions non guidées. Citer les hypothèses de travail est évidemment indispensable ; les énumérer « en bloc » en en-tête, sans les invoquer entre deux étapes du raisonnement, n'est néanmoins pas valorisé. Au passage, il convient de répondre de façon la plus précise possible aux questions de restitution du cours pour ne pas risquer de laisser de côté des points facilement accessibles.

Le jury rappelle qu'il est indispensable de définir le système d'étude pour toute application d'un principe, en thermodynamique aussi bien qu'en mécanique. Un schéma peut parfois s'avérer essentiel.

Enfin, les futurs candidats pourront porter leur attention sur quelques points spécifiques à ce sujet, exposés ci-après.

**Q1.** Cette question ne présente pas de difficulté. Elle est dans l'ensemble bien réussie.

**Q2.** Les réponses se limitant à une expression correcte de la constante  $A$  visiblement construite par analyse dimensionnelle, sans justification, n'est pas valorisée par le jury.

La question s'appuie sur des éléments de cours. Pourtant, la proportion de copies récompensées de la note maximale sur cette question s'élève à moins de 1 %.

Le jury attend un exposé rigoureux du bilan énergétique dans lequel apparaissent :

- la définition explicite du système, pouvant s'appuyer sur un schéma avec portion de cylindre de hauteur  $N \times H$  entre  $r$  et  $r + dr$  ;
- la mention du premier principe de la thermodynamique (sans variation d'énergie mécanique) et des instants considérés pour le bilan énergétique entre  $t$  et  $t + dt$  ;
- la forme explicite de la variation d'énergie interne ou d'enthalpie dans le modèle de la phase condensée incompressible et indilatable ;
- la justification de l'absence d'un travail ;
- la présence du terme source avec un choix argumenté du signe, une puissance volumique créée par les réactions de fission effectivement reçue par le système ici ;
- la définition explicite des transferts thermiques ou flux thermiques ;
- la forme explicite des quantités infinitésimales telles que volume élémentaire  $d\tau$ , surface élémentaire  $dS_{\text{lat}}$  ;
- l'exploitation de l'hypothèse de stationnarité conduisant à considérer  $U$  (ou  $H$ ) comme indépendante du temps.

Le couplage de ce bilan à la loi phénoménologique de Fourier doit également apparaître clairement : il s'agit d'écrire l'équation reliant le vecteur densité de courant thermique à la variation spatiale de la température ET de bien nommer la loi. Le jury est étonné de voir des réponses telles que « Loi de Fick », « Loi de Newton » et même « Loi de Descartes ».

À noter que de nombreuses ratures, précisément sur des étapes clés de la démarche, conduisent le jury à s'interroger sur l'authenticité du raisonnement mené : il apparaît que les signes, les définitions des sections et surfaces élémentaires, semblent être ajustés à posteriori pour rentrer en conformité avec l'équation attendue. Pour ces raisons, le jury encourage les futurs candidats à justifier soigneusement le signe des termes sources/puits, à définir les transferts thermiques algébriquement reçus par le système ainsi que les quantités infinitésimales comme énumérés plus haut. L'exposé gagnerait en clarté, en lisibilité et en rigueur par l'usage de schémas soignés mentionnant les échanges d'énergie algébrisés entre le système et l'extérieur figurant dans le bilan, en utilisant éventuellement de la couleur.

Autre remarque : certains candidats font le choix regrettable d'admettre l'équation de conservation de l'énergie faisant apparaître l'opérateur de divergence en coordonnées cylindriques, comme forme locale du bilan à 3D. L'expression de l'opérateur divergence n'étant pas fournie par l'énoncé, la réponse à la question, conformément au programme, ne peut se limiter à l'utilisation d'un bilan d'énergie 3D admis. Un candidat s'y risquant doit assumer son choix pour obtenir l'entièreté des points alloués à la question, en livrant une démonstration d'un niveau de précision équivalent au bilan 1D attendu.

Enfin, un candidat rigoureux utilise un vocabulaire adapté et précis ; à ce titre, « bilan » ou même « bilan thermodynamique » est insuffisant. Il s'assure d'écrire des équations scalaires (resp. vectorielles) conformes et vérifie la bonne dimension de chacun des termes de son équation ( $[énergie] = [puissance] \times T$ ).

**Q3.** Les réponses font apparaître explicitement les conditions aux limites et sont pour la plupart convaincantes. L'exploitation de ces conditions, notamment l'absence de divergence de la température en  $r = 0$ , est correctement menée.

Il n'est pas nécessaire de recourir à la méthode de séparation des variables pour intégrer une équation différentielle de la forme  $f'(x) = x$ , voire  $f'(x) = cste$ .

Comme précisé plus haut, les candidats doivent s'efforcer d'exprimer la température  $T(r)$  en fonction d'un jeu de variables imposé pour répondre pleinement à la question posée.

**Q4.** Le modèle proposé dans l'énoncé conduit à des discontinuités de la température au niveau de l'interface en  $r = R_3$ , mais le flux thermique reste continu. Dans un tel contexte, la réponse doit nécessairement comporter une mention explicite relative à cette continuité que trop de candidats nomment « loi de Newton ». Le jury attend que les candidats s'approprient la relation  $hdS(T_s - T_a)$  appelée dans l'énoncé en adaptant les notations et en justifiant le sens du transfert thermique par conducto-convection.

Il convient de vérifier la pertinence du résultat en comparant  $T_3$  à  $T_2$ .

**Q5.** Le raisonnement mené conduit à une équation de diffusion thermique correcte dans seulement 10 % des copies. L'erreur commune est de considérer l'existence d'un terme source, probablement parce que la question demande d'exprimer la température en fonction de  $P_1$ . Pourtant, dans la gaine, il n'y a aucune puissance produite ; seuls les échanges thermiques en surface sont présents.  $P_1$  apparaît lors de l'utilisation des conditions limites.

**Q6.** Cette question constitue la synthèse de cette première partie et vient valoriser le travail des candidats ayant investi du temps pour mener une démarche rigoureuse d'appropriation du contexte et de résolution des premières questions. Le temps passé au calcul des quatre températures demandées (expressions littérales et valeurs numériques) a été avantageusement récompensé.

**Q7.** Il n'est pas rare d'observer une parabole de forme convexe pour le champ de température en  $-r^2$ , dans le combustible. Comme évoqué précédemment, les modèles utilisés dans cette partie conduisent à des discontinuités de la température devant apparaître sur le graphique. Toute remarque en ce sens a été valorisée par le jury.

**Q8.** Cette question qualitative est rarement totalement comprise ; les réponses évoquent de façon évasive un risque d'explosion par suite du dysfonctionnement du pressuriseur mais peu s'appuient sur une extraction pertinente des données de l'énoncé telles que pression de vapeur saturante et température du changement d'état liquide-vapeur.

**Q9.** Les réponses sont le plus souvent bâclées. Seulement 20 % des candidats reconnaissent une situation d'écoulement stationnaire d'un fluide entre les cotes  $z$  et  $z + dz$  et 17 % savent formuler correctement le premier principe pour un système en écoulement stationnaire.

C'est ici l'occasion de rappeler que la formulation du premier principe vu en première année n'est pas applicable dans le contexte et qu'une phase condensée ne vérifie pas la « loi de Joule ».

Ainsi, le jury attend dans cette question l'application du premier principe écrit pour un système en régime stationnaire d'écoulement (ou premier principe industriel) entre « entrée » (à la cote  $z$ ) et « sortie » (à

la cote  $z + dz$ ) ainsi qu'une exploitation pertinente de l'ensemble des hypothèses conduisant à la forme proposée, à savoir :

- variation d'énergie mécanique négligée ;
- modèle de la phase incompressible et indilatable pour justifier la relation entre la variation d'enthalpie entre « entrée » (à la cote  $z$ ) et « sortie » (à la cote  $z + dz$ ) et l'écart de température  $T(z + dz) - T(z)$  ;
- absence de travail/puissance utile ;
- conservation de flux thermique en régime stationnaire thermique.

Le jury, très exigeant sur cette question, encourage les candidats à soigner d'autant plus précisément leurs réponses qu'il s'agit de justifier une relation fournie par l'énoncé, la seule valeur ajoutée résidant dans l'exposé de la démonstration.

**Q10.** Si la question est globalement bien traitée, elle met en évidence un problème récurrent : certains candidats intègrent sur  $z$  en considérant  $P_V(z)$  comme une constante. Le jury constate quelques méthodes d'intégration surprenantes (consistant notamment à remplacer  $z$  par 0 et  $z + dz$  par  $H$ ) ou encore des erreurs sur la primitive de  $\cos(\pi z/H)$  conduisant à une expression finale non homogène.

**Q11.** Il s'agit là encore d'exploiter la condition de continuité du flux thermique en régime stationnaire. Pour répondre pleinement à la question, il convient d'expliciter les constantes  $B$  et  $C$  et de les exprimer, comme demandé, en fonction d'un jeu précis de constantes.

**Q12.** Un sixième seulement des candidats s'est lancé dans cette question (pourtant indépendante de la précédente, au moins partiellement) et parmi eux, un quart en propose une réponse convaincante. Utiliser le résultat de la question **Q2.** est bien évidemment judicieux, à condition de justifier que la dépendance avec  $z$  n'est pas contraignante ici.

Le jury remarque fréquemment les notations  $A$  ou  $B$  pour les constantes d'intégration qui sont en réalité des fonctions de  $z$ . Il convient dans ce cas d'utiliser les notations  $A(z)$  ou  $B(z)$  plus adaptées.

**Q13.** Une réponse valide à cette question nécessite d'avoir correctement répondu à la précédente.

**Q14.** Toute démarche visant à démontrer l'existence d'un maximum de la fonction  $T_c(r = 0, z)$  est valorisée, la démarche exposée la plus claire restant la recherche de la cote  $z_0$  conduisant à une dérivée première nulle et dérivée seconde négative.

Le passage de l'expression de  $\tan(\pi z_0/H)$  à  $\pi z_0/H$  a souvent conduit à une expression littérale incorrecte.

**Q15.** Décrire l'évolution de la fonction est ici insuffisant : il s'agit de confronter le comportement du champ de température et la puissance thermique non-uniforme générée par les réactions de fission. Le jury tient à faire part de sa déconvenue à la lecture de remarques du type : « Comme  $T_p(z)$  est sinusoïdale, il est normal d'observer une forme parabolique. »

**Q16.** La formulation « établir soigneusement » doit inciter les candidats à produire une démonstration complète du premier principe appliqué au fluide en écoulement stationnaire, et non pas se contenter d'expliciter ce principe, même dans sa forme la plus complète, avant d'annuler simplement le terme de variation d'énergie mécanique macroscopique.

Le jury attend un exposé rigoureux pour cette question de cours, physiquement riche, contribuant pour une part importante au barème global de l'épreuve, allant de la définition précise du système fermé considéré assortie d'un schéma explicite, à la justification des termes supposés constants, nuls ou négligeables. Les candidats traitant cette question obtiennent en moyenne un quart des points alloués. Moins de 2 % d'entre eux en fournissent une démonstration pleinement satisfaisante.

Pour rappel :

- le système fermé, construit à partir de la surface de contrôle et des quantités de fluide entrante à  $t$  et sortante à l'instant  $t$  et  $t + dt$ , doit être parfaitement défini et être accompagné d'un schéma clair. Il est notamment essentiel d'introduire les masses  $\delta m_e$ ,  $\delta m_s$  et préciser que la masse de ce système ainsi fermé est conservée entre les deux instants ;
- l'hypothèse du régime stationnaire doit apparaître en deux temps
  - afin de justifier d'une part, l'égalité  $\delta m_e$  et  $\delta m_s$  et/ou justifier la conservation du débit massique, entre  $t$  et  $t + dt$  ;
  - afin de justifier d'autre part, la conservation de l'énergie totale du contenu matériel intérieur à la surface de contrôle, entre  $t$  et  $t + dt$  ;
- le travail massique d'admission et refoulement doit être rigoureusement justifié par un calcul du travail des forces pressantes à l'entrée et à la sortie ou par exemple par un schéma faisant état du signe du produit scalaire de la force pressante par le déplacement élémentaire de la masse de fluide ;
- les variations d'énergies cinétique et potentielle doivent être négligées comme l'indique l'énoncé.

**Q17.** Le jury relève bon nombre de confusions :

- entre les termes « isenthalpique » et « isentropique » ;
- entre les termes « adiabatique » et « isotherme » ; ainsi, il n'est pas rare de lire « isentropique donc adiabatique (réversible) donc la température est constante » ;
- entre le comportement d'une phase condensée et d'un gaz parfait suivant la deuxième loi de Joule.

Finalement, les réponses à cette question qui ne devrait pas poser de difficulté, sont décevantes.

**Q18.** Les candidats se contentent souvent de nommer uniquement la courbe de saturation sans allusion aux isothermes, isentropes, isobares, etc. Un repérage explicite sur le document réponse est le bienvenu. Malgré le caractère festif de la proposition, la courbe de « rosé » se nomme en réalité courbe de « rosée ». Le jury précise que les courbes de rosée et ébullition sont souvent confondues.

Le cycle est en général correctement représenté. Les points représentatifs de l'état du fluide entre deux étapes doivent être précisément repérés (numérotés) et le cycle orienté. Faire une remarque sur le caractère moteur ou récepteur lors du tracé d'un cycle est d'ailleurs opportun.

**Q19.** Moins de 20 % des candidats écrivent convenablement le théorème des moments. Seules les valeurs numériques justes et obtenues à partir des données du tableau sont retenues, conformément à la question posée. Rares sont les candidats qui prennent le temps de repositionner le point représentatif sur le document réponse.

**Q20.** Les candidats proposent des expressions du rendement sans recul sur le contexte, sans s'interroger sur les différents échanges coûteux et utiles eu égard au cycle décrit par le fluide. Le plus souvent, des valeurs numériques sont apposées au numérateur et au dénominateur sans aucune explication. Or, la démarche n'est valorisée que si des arguments sont avancés. Il s'agit donc d'appliquer un premier principe au fluide en écoulement sur les étapes clés afin de relier variation de l'enthalpie et travail récupéré dans la turbine pour faire fonctionner l'alternateur d'une part, variation de l'enthalpie et chaleur apportée au niveau du générateur de vapeur d'autre part.

**Q21.** Le jury regrette qu'une encore trop grande partie des candidats ne rédige pas de réponse satisfaisante à cette question de cours, notamment par suite de confusions entre valeurs algébriques et valeurs absolues. Un schéma-type du fonctionnement d'un moteur ditherme est attendu, de même que l'utilisation du

premier et second principe de la thermodynamique sur un cycle. Néanmoins, la convention d'orientation qu'il choisit pour orienter les transferts dans le schéma de principe doit être en cohérence avec les signes et la formulation des premier et second principes ; il n'est pas rare de voir des flèches orientées vers l'extérieur (resp. vers la source froide) et portant la mention  $W$  (resp.  $Q_f$ ) ce qui sous-entend des transferts tous définis positivement. Pourtant, quelques lignes plus loin, le premier principe est écrit sous la forme  $\Delta U = Q_c + Q_f + W$  et le rendement  $-W/Q_c$ . Un tel exposé remet clairement en question la bonne compréhension par le candidat.

L'application numérique doit être effectuée avec des températures en kelvins et non en degrés Celsius.

**Q22.** Une fraction de vapeur  $x_5$  proche de 1 a été interprétée comme une égalité stricte par de nombreux candidats, nécessitant de remettre en question l'une ou l'autre des hypothèses de travail. Compte tenu de la formulation équivoque de cette question, toute proposition cohérente (cycle fermé, diminution d'enthalpie dans la turbine, etc.) est admise. Le calcul du rendement n'est que rarement traité par les candidats. Comme pour la question **Q20.**, toute valeur numérique de transferts avancée doit être précédée d'une explication.

**Q23.** Cette question est abordée par moins de 4 % des candidats. Il s'agit d'extraire les données utiles des débits et enthalpies permettant de calculer la puissance utile récupérée au niveau des turbines HP et BP, ainsi que la puissance thermique transférée au fluide entre l'entrée et la sortie de l'échangeur.

**Q24.** Le phénomène d'induction dans une spire en rotation dans un champ magnétique uniforme et constant constitue une question classique. Le jury constate de bons réflexes : la majorité des candidats réalise un schéma équivalent pour en extraire une équation différentielle satisfaite par le courant induit en régime sinusoïdal forcé, mais un tiers d'entre eux seulement produit un schéma exploitable. Le jury déconseille d'ailleurs aux candidats de faire figurer  $-R$  et  $-L$  au lieu d'en représenter les symboles conventionnels respectifs. Certains cherchent à utiliser le théorème d'Ampère de la magnétostatique pour exprimer ce qu'ils considèrent être l'intensité d'un courant  $i$  enlacé. Le jury relève également des confusions entre champ magnétique extérieur et champ induit. Les conventions choisies sur le schéma doivent être en cohérence avec les lois, de Faraday ou des mailles en l'occurrence, utilisées.

**Q25.** Le lien entre le signe de la projection du moment du couple en projection et la loi de Lenz n'est que trop rarement évoqué ; aussi, les interprétations du signe proposées sont généralement peu satisfaisantes. Le jury encourage les candidats à réaliser une analyse de la situation avant de mener les calculs.

**Q26.** Ne pas retrouver un résultat conforme au théorème de la conversion de puissance doit alerter les candidats.

**Q27.** Trop de candidats assimilent le logarithme d'un produit au produit des logarithmes. Le commentaire associé à la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre n'est pas toujours satisfaisant, notamment par un défaut de vocabulaire. Le jury lit ainsi : « la réaction est nulle », « la réaction se fait difficilement », etc. Il n'est pas rare de constater des confusions entre arguments thermodynamique et cinétique de la transformation.

**Q28.** De nombreuses erreurs de signe sont relevées. Il apparaît parfois un facteur 20, par suite d'une confusion avec la définition du gain en dB.

**Q29.** Il est important de vérifier que la transformation est bien totale avant de l'affirmer. Rares sont les candidats qui exploitent à bon escient la condition  $[M] \gg [H_3BO_3]$ . Les termes équivalence et équilibre sont régulièrement confondus. La relation à l'équivalence du dosage n'a de sens que si elle accompagne une équation de réaction de titrage correctement équilibrée. La détermination graphique du volume de solution titrante versé à l'équivalence est rarement justifiée.

**Q30.** Un tableau d'avancement peut permettre de déterminer correctement les concentrations des espèces présentes avant et après l'équivalence et obtenir ainsi l'expression de la conductivité de la solution à l'aide de la loi de Kohlrausch (rappelée dans le formulaire).

**Q31.** Le plus souvent, l'allure proposée fait apparaître des portions de droites, sans justification.

**Q32., Q34. et Q37.** Les diagrammes de prédominance non justifiés – notamment par la recherche du pH à la frontière – ne sont pas retenus, de même que les diagrammes faisant apparaître des valeurs de pH à la frontière fantaisistes.

**Q33.** Le jury relève bon nombre de « réponses-réflexe » appuyée sur la nature de l'espèce prédominante à  $\text{pH} < 3$  mais dénuées de sens critique. Tantôt l'espèce « dangereuse » susceptible d'être activée est l'ion  $\text{Ni}^{2+}$ , tantôt l'oxyde solide  $\text{NiO}$ , selon que le candidat positionne correctement ou non ces espèces dans le diagramme de la question **Q32.** Le jury conseille aux futurs candidats de prendre du recul et de chercher à s'approprier le contexte de l'étude.

**Q36.** La valeur du pH de l'eau neutre à 573 K n'est pas justifiée. La méconnaissance de la syntaxe d'écriture d'une puissance a été sanctionnée comme par exemple la confusion entre «  $1e(\dots)$  » ou «  $10^{**}(\dots)$  » avec «  $10^*e(\dots)$  ». Le jury encourage les candidats à prendre un temps suffisant pour s'approprier les quelques lignes de code afin de respecter les notations imposées.

**Q39.** Nul besoin d'avoir correctement traité les questions précédentes pour formuler une réponse satisfaisante à cette question, qui s'appuie sur l'extraction de données pertinentes de la figure 11. Là encore, une appropriation correcte du contexte est nécessaire.

## Conclusion

Le jury félicite les candidats ayant produit des copies d'une grande qualité, récompensées pour leurs efforts soutenus durant les deux années de classes préparatoires. Le problème posé, dense et exigeant, nécessitait en effet une certaine agilité dans l'appropriation du contexte, l'exposé de la démarche de résolution et le calcul en général. Aussi, sans une assimilation solide de notions de cours correctement présentées, et sans une maîtrise des techniques mathématiques usuelles, les candidats sont lourdement sanctionnés.

Le jury souhaite que les observations de ce rapport aident les futurs candidats à mesurer le niveau d'exigence attendu, les incitent à étudier sérieusement et en profondeur les notions du programme, à en saisir pleinement le sens et à donner le meilleur d'eux-mêmes pendant leur préparation.