

# Physique-chimie 1

## Présentation du sujet

Le sujet en trois parties indépendantes, intitulé « Le feu et l'eau », propose aux candidats d'étudier quelques aspects de la thermodynamique de combustion au cours d'un incendie, en s'appuyant sur l'exemple du sinistre de la cathédrale Notre-Dame de Paris. La première partie aborde la combustion à proprement parler, d'abord son démarrage puis sa propagation dans un modèle limité au seul transfert diffusif. La seconde partie aborde quelques questions de chimie autour de l'élément plomb. Enfin, la troisième partie traite du rôle de l'eau dans l'extinction d'un incendie, et plus particulièrement au recours à des lances à incendie ; ceci est l'occasion d'aborder des questions traitant de mécanique des fluides.

De longueur raisonnable, le sujet aborde des thématiques différentes, figurant pour l'essentiel au programme de la deuxième année PSI, sous forme de questions de niveau de difficulté gradué, partant de simples restitutions directes de cours jusqu'à des raisonnements complexes amenant le candidat à faire preuve d'initiative, en passant par des exploitations de documents (photographie, graphe, tableau de données).

Les capacités à mobiliser sont ainsi très diversifiées, ceci permettant à chaque candidat de valoriser à la fois son niveau de maîtrise des notions abordées et ses qualités d'analyse, de réflexion et de rédaction.

## Analyse globale des résultats

Les candidats sont nombreux à avoir abordé l'ensemble des parties et sous-parties proposées en respectant la progression suggérée par l'énoncé.

Les questions non guidées, représentant 20 % du barème, ont rencontré un succès variable. Le jury souligne l'effort des candidats qui ont abordé ces questions ; il a valorisé significativement toute proposition scientifiquement fondée, même lorsqu'elle n'a pas conduit à une conclusion parfaite ; à l'inverse, le jury a parfois regretté l'imprécision du raisonnement et le manque d'organisation dans l'enchaînement des idées de résolution dans plusieurs copies.

Il est à noter que nombreux sont les candidats ayant fait l'effort d'aborder les questions s'appuyant sur une exploitation de documents (graphes, photographie, schéma, tableau de données) ; le jury a, là encore, valorisé les réponses dès lors que le candidat a su extraire des informations pertinentes, en donner une interprétation correcte, exposer son raisonnement et formuler une conclusion claire.

Le jury a par ailleurs cherché à encourager les candidats sérieux, ayant parfaitement assimilé les démonstrations classiques du programme et les ayant exposées avec rigueur ; ainsi, des questions de cours bien traitées ont conduit, comme l'an passé, à un total de point sensiblement égal à celui de candidats ayant abordé davantage de questions mais n'ayant pas apporté un soin suffisant à la rédaction. Les questions demandant plus de réflexion et d'analyse bien rédigées ont alors permis de différencier les candidats, les meilleurs ayant pu aborder et traiter avec soin, l'ensemble du sujet.

Enfin, les candidats sont invités à remettre des copies respectueuses du correcteur : des réponses lisibles non raturées, bien numérotées, rédigées de manière intelligible et sans fautes d'orthographe. Le jury a appliqué un malus dès lors que l'un ou l'autre de ces critères a fait défaut.

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

Le jury conseille aux futurs candidats d'utiliser un vocabulaire précis ne laissant aucun doute sur la compréhension des phénomènes physiques ou l'interprétation des grandeurs manipulées, de fournir des

réponses complètes et non ambiguës, de définir clairement toutes les grandeurs nécessaires à l'exposé d'un raisonnement et non introduites par l'énoncé, d'argumenter les réponses, de nommer ou citer les lois utilisées 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 commenter 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, photographie...) 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.

En outre, les futurs candidats sont invités à porter leur attention sur quelques points spécifiques à ce sujet, exposés ci-après.

**Q1.** L'énoncé de la loi doit s'accompagner de la signification physique des grandeurs apparaissant dans l'expression. À noter une confusion fréquente entre  $k$ , constante de vitesse et  $K^\circ$ , constante d'équilibre à la fois en termes de notations et d'interprétation. D'ailleurs, nombreux sont les candidats ayant en réalité énoncé la loi de Van't Hoff. L'étude de l'influence d'une élévation de température sur le coefficient  $k$  ne peut se faire sans considérer la quantité  $Ea/R > 0$ .

**Q2.** Il apparaît que pour certains candidats, « les gaz ont une température plus élevée que les liquides ». L'idée d'une optimisation de la surface de contact comburant-combustible est souvent absente.

**Q3.** La notion de diamètre angulaire est généralement bien comprise ; en revanche, l'image d'un objet étendu placé à l'infini n'a pas été sans poser quelques difficultés. La construction approximative des rayons lumineux atteste d'une insuffisance dans l'appropriation de la question. L'estimation des dimensions de la tâche lumineuse sur la feuille de papier a par conséquent posé des difficultés. Nombreux sont les candidats ayant admis la nécessité d'établir un bilan de puissance ou énergie pour résoudre cette problématique ; en revanche, rares sont ceux qui ont énoncé clairement leurs intentions et mené proprement le raisonnement. Comme pour tout bilan énergétique, la définition claire du système est indispensable.

**Q4.** Le vocabulaire utilisé a parfois manqué de justesse ou de précision. La première sous-question fait référence à la démarche d'analyse avec formulation des hypothèses de la question 3.

**Q5.** Bon nombre de candidats se lancent dans une démonstration plus chronophage que nécessaire ; la démarche est trop souvent exposée de manière confuse. À noter que le jury n'est pas sensible aux tours de magie proposés par certains candidats.

**Q6.** Question la plus souvent bien menée. Certains candidats ont jugé opportun de transformer  $O_2$  en  $O$ .

**Q7.** La notion d'enthalpie de réaction est parfois confondue avec variation d'enthalpie. Une valeur négative était attendue ; le candidat est invité à faire preuve de sens critique.

**Q8.** Le jury a apprécié les commentaires des candidats ayant fait l'effort de s'appropriier le contexte.

**Q9.** Le système est rarement défini ; le candidat, avant de tenter tout bilan enthalpique, est invité à préciser que la transformation s'effectue à pression constante. Les candidats se sont parfois lancés dans la construction d'un cycle thermodynamique visant à calculer une température de flamme sans s'approprier, là encore, le contexte décrit par l'énoncé.

À noter que l'expression  $\Delta H = mc_p \Delta T$  ne constitue pas à elle seule un bilan enthalpique.

Les ordres de grandeurs numériques obtenus sont parfois aberrants ( $T_f > 1700\text{ K}$ ) ; une nouvelle fois, le candidat est invité à faire preuve de sens critique et remettre en question le résultat numérique obtenu.

**Q10.** À part quelques-uns, considérant la conduction et la diffusion thermique comme deux types de transferts bien distincts, les trois modes de transferts sont généralement bien connus ; leurs spécificités le sont moins ; à noter que les candidats utilisent plutôt la négation que l'affirmation pour exposer les caractéristiques. Des confusions entre échelles microscopique et macroscopique, la notion de mouvement

d'ensemble n'ayant de sens qu'à cette échelle, ont été relevées. Le choix des exemples cités ne sont pas toujours pertinents et ne doivent pas se substituer à une définition.

**Q11.** Le jury a valorisé toute réponse pertinente. Il précise que le rayonnement thermique ne se limite pas au visible et que le Soleil n'est probablement pas responsable du départ de feu dans le contexte étudié.

**Q12.** Part substantielle de cette question au barème, comme toute autre démonstration classique dont le contenu doit être parfaitement maîtrisé et mené avec rigueur, jusque dans les notations ; fort heureusement, cette question a été traitée fréquemment et en général de manière correcte. Le jury a valorisé les réponses précises où il apparaissait d'une part le système clairement défini, d'autre part un bilan enthalpique soigné à pression constante entre  $t$  et  $t + dt$ , et pour finir, l'exploitation de la loi de Fourier adaptée à la géométrie du problème, sans confusion dans l'écriture (scalaire/vecteur). L'expression du premier principe subit toujours les outrages de notations approximatives déjà signalés par le passé ( $\Delta$ ,  $\partial$ , d...)

**Q13.** Question généralement bien menée.

**Q14.** Les candidats obtiennent en grande majorité des valeurs correctes pour les deux temps caractéristiques à comparer mais concluent par une validité de l'ARQS thermique en associant ici la diffusion thermique à un phénomène lent, ce qui remet en question leur compréhension de fond de cette notion ou tout au moins leur capacité à la contextualiser. L'étude ondulatoire (groupement de variables d'espace et de temps, vitesse de propagation, ...) faisant suite à cette question aurait pourtant pu inciter les candidats dans l'erreur à reconsidérer leur réponse.

**Q15.** Le jury attendait davantage qu'une simple allusion à une vitesse ou même à la vitesse d'une onde sans plus de précision sur la grandeur se propageant. La notion d'énergie thermique est parfois confondue avec la grandeur température.

**Q16.** Question le plus souvent bien traitée. Quelques candidats n'ont pas réalisé correctement le changement de variable suggéré.

**Q17.** Le jury a retenu les démarches explicites et s'est montré attentif à la rigueur ainsi qu'à la clarté des raisonnements.

**Q18.** Question généralement bien menée.

**Q19.** La présence de points anguleux en  $u_1$  et  $u_2$  a été sanctionnée par le jury.

**Q20.** Si la continuité de la température apparaît quelques fois, celle du flux est quasi-totalement absente ainsi que son lien avec la dérivée première  $\theta'(u)$ . Quelques confusions entre conditions de continuité au raccordement et conditions aux limites.

**Q21.** Le critère avancé pour juger de la rapidité de la progression du front de combustion n'apparaît que rarement de manière pertinente. Dans certaines copies, on peut lire une comparaison à la vitesse du son ou de la lumière...

**Q22.** Question en général bien menée.

**Q23.** Le jury s'étonne de voir quelques mailles CFC comportant un atome surnuméraire au centre de la maille. La confusion entre volume de la maille et volume occupé par les sphères est fréquente et conduit systématiquement à une relation incorrecte entre masse volumique et paramètre de maille. Il est regrettable que certains candidats ayant pourtant mis correctement en œuvre la méthode, n'aient pas su corriger leur application numérique du fait d'une méconnaissance de l'ordre de grandeur d'un paramètre de maille ; il n'était pas rare de constater un écart de 2 à 4 ordre de grandeurs par rapport à l'attendu.

**Q24.** Question rarement justifiée.

**Q25.** L'énoncé faisant mention explicite du nombre stœchiométrique de  $O_2$ , le jury a sanctionné dès lors que ce critère n'a pas été respecté.

**Q26.** Les calculs de nombre d'oxydation ont été généralement bien menés. Rares sont les candidats sachant interpréter l'obtention d'un nombre rationnel pour  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ .

**Q27.** De nombreuses erreurs de calculs relevées par défaut d'une conversion de la valeur numérique de l'enthalpie libre standard de réaction en  $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

**Q28.** Le calcul de variance est insuffisamment maîtrisé. Constat fréquent d'une confusion entre quotient de réaction et constante d'équilibre ; certains candidats considèrent qu'à température  $T$  fixée, une diminution de pression affecte  $K^\circ(T)$ . Le critère d'évolution spontané depuis l'état perturbé hors équilibre n'est que très rarement justifié. Certains candidats utilisent ou évoquent la loi de modération de Le Chatelier sans la contextualiser et laisse finalement la liberté au jury de déduire le sens de l'évolution ; le raisonnement est bien évidemment incomplet et la réponse pénalisée.

**Q29.** Rares sont les candidats ayant fait l'effort d'effectuer l'application numérique, prétextant retrouver sans peine le résultat de la question 27.

**Q30.** Rares sont les candidats s'étant risqués à proposer un ordre de grandeur numérique ou un encadrement de la valeur de la pression partielle en  $\text{O}_2$  de l'air.

**Q31 et Q32.** Le jury rappelle qu'une tautologie ne doit pas faire office de réponse à une question qualitative. Peu de candidats ont cherché à exploiter les documents, si bien que la formule de Planck, bien que connue, est appliquée sur les mauvaises transitions. Peu de candidats ont finalement bien interprété l'énoncé ; pour les autres, l'image mentale de la structure énergétique de l'atome est probablement incomplète ou ne fait pas sens dans ce contexte. Une comparaison explicite des valeurs numériques obtenues pour les longueurs d'onde (ou fréquences) à celles du domaine visible est requise.

**Q33.** Les réponses sont souvent incomplètes si bien que le jury déduit difficilement l'identification correcte par les candidats ; ainsi, lorsqu'on pense avoir identifié une raie spectrale, il convient d'en préciser l'énergie (exemple : 74,2 keV) et la transition correspondante (exemple :  $K_\alpha$  ou encore  $L \rightarrow K$ ). L'idée du doublement des raies relatif au sous couches pour une même valeur de  $n$  n'apparaît que rarement.

**Q34.** De nombreux candidats se contentent de discuter le signe de l'enthalpie standard de réaction.

**Q35.** Il est important de rappeler que la transformation s'effectue à  $P$  constante. L'échauffement de la vapeur est régulièrement omis.

**Q36.** Il n'est pas rare que les candidats ayant la bonne valeur de la puissance de feu traitée par une lance ne songent pas à comparer à la puissance globale de l'incendie de Notre-Dame pour déduire, par exemple, le nombre de lances nécessaires. Au contraire, d'autres ayant malheureusement obtenu un ordre de grandeur incorrect pour cette puissance, ont pu annoncer un nombre astronomique de lances sans remettre en question leur calcul.

**Q37.** Il est maladroit d'utiliser la masse volumique de l'eau liquide à la place de celle de la vapeur.

**Q38.** La démarche visant à déterminer graphiquement hauteur ou portée du jet est trop souvent implicite.

**Q39.** Les raisons de l'écart entre  $V_e$  et  $V_{\text{tuyau}}$  sont souvent citées sans que les valeurs numériques ne soient mentionnées ni comparées.

**Q40.** Les hypothèses de travail doivent être clairement énoncées. « PSIH » ne signifie rien pour le correcteur ; il convient de ne pas faire usage d'acronymes sans explication préalable dans la copie.

**Q41.** Le candidat doit nommer les grandeurs non nécessairement introduites par l'énoncé qu'il choisit de faire apparaître dans l'expression du nombre de Reynolds. Certains candidats ont laissé la charge aux correcteurs d'effectuer l'application numérique par eux-mêmes et de conclure sur la nature de l'écoulement selon que  $Re \gg 2 \times 10^3$  ou l'inverse. Si la démarche n'est pas fautive, la réponse jugée incomplète n'est pas valorisée par le jury.

**Q42.** Il est aisé de s'assurer que le facteur  $f$  est adimensionné si l'on fait l'effort de rechercher la dimension d'une pression.

**Q43.** Plusieurs candidats ont confondu pertes de charges et pertes de charges linéiques.

**Q44.** Le choix d'un nombre de Reynolds de  $5 \times 10^5$  ayant pu déstabiliser certains candidats, le jury a choisi de valoriser les candidats ayant commenté ce choix ou pris le temps de rechercher l'ordre de grandeur de la vitesse débitante associée avant tout calcul numérique du facteur  $f$  et de la rugosité relative.

**Q45.** Les pertes singulières sont rarement évoquées.

**Q46.** Le jury a apprécié l'exposé d'un raisonnement détaillé depuis la définition du système jusqu'à la prise en compte éventuelle d'un rendement non unitaire au niveau de la pompe.

**Q47.** Question la plus souvent bien menée.

## Conclusion

Le jury espère que ces conseils permettront aux futurs candidats d'optimiser leur préparation et félicite, une nouvelle fois, ceux de cette session ayant remis des copies tout à fait remarquables, attestant des efforts engagés durant ces deux années de classes préparatoires, eu égard au contexte sanitaire difficile.