

PHYSIQUE C

Durée : 4 heures

Sujet de Chimie

(Durée : 2 heures)

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet porte cette année sur deux éléments, l'oxygène et le soufre.

La première partie privilégie une approche structurale : l'écriture des configurations électroniques fondamentales permet de positionner les deux éléments dans la classification périodique des éléments, de prévoir leurs nombres d'oxydation extrêmes et de proposer des représentations de Lewis et des représentations spatiales pour certains dérivés du soufre et de l'oxygène.

La deuxième partie traite du dosage du dioxygène grâce à la méthode de Winkler, en relation avec une séance de TP-cours réalisée par les étudiants pendant l'année. Après un travail sur les diagrammes potentiel-pH du manganèse et de l'eau, les différentes étapes du dosage sont étudiées, faisant appel aux principales notions de chimie des solutions (oxydo-réduction, précipitation, bilan de matière, ...).

La troisième partie est une étude cinétique de la décomposition de l'ozone. Dans le cas de l'initiation par voie thermique, la méthode du temps de demi-réaction permet d'établir la loi de vitesse et la connaissance de la constante d'équilibre à deux températures donne accès à l'énergie d'activation. Dans le cas de l'initiation par voie photochimique, l'étude d'un mécanisme simplifié en séquence fermée permet de retrouver l'expression de la vitesse de réaction. L'énergie d'activation de la réaction est alors exprimée en fonction de l'énergie d'activation des actes élémentaires.

La quatrième partie illustre la notion de contrôle cinétique et de contrôle thermodynamique sur l'exemple du procédé de contact. Après une étude thermodynamique de l'équilibre et des facteurs susceptibles de le déplacer (température, pression, ajout d'un constituant actif), la prise en compte de l'influence de la température sur le taux de conversion est privilégiée : elle confirme l'étude précédente lorsque le système est sous contrôle thermodynamique (débit de gaz circulant dans le réacteur faible) ; pour un débit de gaz circulant dans le réacteur plus important, une élévation de la température a deux rôles antagonistes : augmentation de la vitesse de la réaction, mais diminution de la constante d'équilibre. Il se révèle donc indispensable de maîtriser la température, d'où le calcul de la température de flamme en sortie d'un réacteur et la discussion sur le choix industriel d'utiliser plusieurs réacteurs en refroidissant le milieu réactionnel à la sortie de chacun d'eux.

Le sujet aborde donc assez largement les programmes de chimie des classes PTSI et PT. L'évaluation de notions simples y est privilégiée de façon à valoriser des étudiants ayant fourni un travail sérieux en chimie.

REMARQUES ET RECOMMANDATIONS

Les conseils et les remarques qui suivent viennent compléter les recommandations formulées les années précédentes. Ils ne doivent pas être accueillis comme des critiques du jury envers le travail

des étudiants, mais bien en tant que conseils utiles pour améliorer la qualité de leurs prestations écrites.

Le jury a souvent apprécié la qualité de la présentation (résultats numériques soulignés, expressions littérales encadrées, utilisation de couleurs) et de la rédaction. Les candidats semblent presque toujours conscients que seule une réponse justifiée est récompensée par l'intégralité des points associés à la question.

De nombreux candidats savent écrire les configurations électroniques fondamentales des atomes et en déduisent correctement la position des éléments dans la classification périodique des éléments. En revanche, un soin particulier doit être apporté à l'écriture des représentations de Lewis : calcul du nombre d'électrons de valence, respect de la règle de l'octet pour les éléments des deux premières périodes, présence des doublets non liants et des charges formelles. De même pour la prévision des géométries VSEPR.

L'analyse des diagrammes potentiel-pH est là encore souvent bien menée, les candidats sachant attribuer les domaines d'existence et de prédominance, retrouver une constante d'équilibre par lecture graphique ou la pente d'une frontière à partir de la relation de Nernst. Il faut toutefois veiller à écrire la demi-équation d'oxydo-réduction en milieu acide pour pouvoir appliquer la relation de Nernst.

L'étude du protocole permettant la mesure de la concentration du dioxygène dissous nécessite de bien comprendre le rôle de chaque étape, en modélisant chaque transformation par une équation de réaction. L'exploitation du volume équivalent n'a que trop rarement été menée à son terme. Une réponse juste à cette question, qui fait appel à des compétences simples mais qui nécessite de la rigueur, a alors été valorisée.

En cinétique, l'écriture et la résolution des équations différentielles régissant l'évolution des concentrations a souvent posé problème. De même pour l'étude du mécanisme en séquence fermée. Le jury souhaite rappeler aux candidats qu'ils sont évalués sur les connaissances et les compétences acquises au cours des deux ou trois années de classes préparatoires.

En thermodynamique, l'interprétation des signes de l'enthalpie standard et de l'entropie standard de réaction est souvent satisfaisante. De même pour la définition de l'affinité chimique, du critère d'évolution spontanée, des lois de Van't Hoff et de Le Châtelier. Toutefois, l'étude de l'introduction d'un constituant actif n'est que très rarement correctement rédigée. Le calcul de la température de flamme – en fin de problème – n'a souvent pas été traité, mais les copies des candidats ayant proposé une résolution détaillée ont été valorisées.

CONCLUSION

Globalement, le jury garde une bonne impression des prestations des candidats, même si celles-ci sont très variables.

Bien qu'assez long, le sujet a été traité dans son intégralité par quelques candidats qui méritent les félicitations du jury pour avoir su adopter une rédaction succincte mais efficace et pour avoir alors montré une maîtrise de notions délicates comme celles de contrôle cinétique et de contrôle thermodynamique.

Sujet de Thermodynamique
(Durée : 2 heures)

ÉTUDE DE QUELQUES MODÈLES DE TURBORÉACTEURS

PRESENTATION DU SUJET

Il s'agit, dans ce problème, de comparer quelques caractéristiques théoriques des moteurs qui équipent les avions de chasse et les avions de transport.

Le turboréacteur est un système de propulsion essentiellement utilisé pour les avions. La poussée résulte de l'accélération de l'air entre l'entrée (manche à air) et la sortie (tuyère), par la combustion d'un carburant, généralement du kérosène, dans l'oxygène de l'air. Une partie de l'énergie produite est récupérée par une turbine qui sert à faire tourner le compresseur au niveau de l'entrée d'air.

Beaucoup de questions sont « basiques » et indépendantes les unes des autres : des étudiants, un peu motivés, peuvent s'exprimer dans chacun des paragraphes proposés.

REMARQUES GENERALES

L'écriture et l'exploitation de formules non homogènes révèlent un manque de rigueur certain qui conduit souvent le candidat à l'échec. Quelques expressions souvent rencontrées : $W_{press} = P_e dV_e - P_s dV_s$, $dU = W + Q$ (mélange de grandeurs de transfert et d'éléments différentiels), etc.

Le résultat des applications numériques est souvent laissé sous forme de fraction (c'est donc au correcteur de finir le calcul !).

Les unités sont malmenées : confusion J – kJ, confusion J – W, oubli de la grandeur massique kg^{-1} (ce qui est impardonnable dans un exercice sur les machines !).

Ce résultat doit être contrôlé, voire critiqué. Certains candidats signalent un résultat aberrant, mais évitent de remonter en amont pour tenter de corriger leurs erreurs. Les autres restent de marbre devant ce type de résultat.

Nous avons relevé, pêle-mêle :

- des débits massiques irréalistes (de quoi vider un pétrolier en une fraction de seconde) ;
- des rendements pratiquement nuls (l'avion pourrait-il seulement alimenter ses batteries ?) ou bien astronomiques (une valeur $\eta = 80$, d'ailleurs immédiatement transformée en $\eta = 80\%$, nous a été proposée) ;
- des puissances exprimées en GW ;
- des puissances cinétiques négatives ;
- etc.

Dans le barème, des points sont dédiés à la présentation. Les examinateurs tiennent donc compte réellement du soin apporté à la copie.

Certaines copies sont de véritables torchons... qu'il faut déchiffrer ! C'est malheureusement regrettable !

Le jury souhaite vivement que les candidats évitent l'utilisation d'une encre trop claire et de mauvaise qualité qui ne facilite pas la lecture des copies et rend la correction pénible. Il serait bon d'éviter l'encre « bleue claire » délavée, par exemple... Ces copies perdent immédiatement les points de présentation : c'est systématique et sans appel.

ANALYSE DES DIFFERENTES PARTIES DU SUJET

I. Généralités

1. Démonstration du premier principe industriel

- Le système considéré n'est pas toujours défini, ni précisé au départ.
- L'hypothèse du régime permanent est utilisée avant d'être signalée ou formulée.
- Les étapes de la démonstration sont souvent parachutées dans le désordre.
- Le passage au massique s'avère souvent « magique ».

2. Application du PPI à la tuyère

Les hypothèses, demandées en toutes lettres dans l'énoncé, sont loin d'être précisées pour la première application du PPI. Sans avertissement préalable sur la copie, l'égalité $\Delta h_{e-s} = -\Delta e_{c,e-s}$ est souvent proposée. Cette remarque est d'ailleurs valable pour toutes les écritures simplifiées du PPI dans la suite du problème.

Les candidats (souvent ceux qui écrivent mal et qui n'arrivent plus à déchiffrer leur écriture) font la confusion entre la vitesse c_s et l'énergie massique e_s .

II. Turboréacteur d'avion de chasse

1. Turboréacteur d'avion de chasse SANS post-combustion

La loi de Laplace n'est pas toujours sue : sa présentation est parfois étonnante. D'ailleurs, elle peut être écrite correctement dans une ligne et fautive à la ligne suivante !.

Si les candidats prennent bien en compte l'hypothèse de l'énoncé selon laquelle « la puissance mécanique fournie par l'écoulement à la turbine est intégralement transmise au compresseur », ils oublient le caractère algébrique de la relation. Certains ne prennent surtout pas de risques en écrivant : $|w_{i,c}| = |w_{i,T}|$.

La relation entre les grandeurs P_{cin} , D_m et e_c est pratiquement écrite par tous. Il est vrai que le résultat peut être établi à la faveur d'une recherche de dimensions.

Si les diagrammes de Clapeyron et entropiques pour les évolutions réversibles sont bien tracés, il n'en est pas de même en ce qui concerne les transformations irréversibles. Beaucoup se contentent d'un vague rappel du second principe.

2. Turboréacteur d'avion de chasse AVEC post-combustion

Dans l'expression de la loi de Joule : $q_{4-6} = c_p (T_6 - T_4)$, le résultat du calcul de q_{4-6} est donné en Kelvins. Pour faire cette erreur, les candidats semblent « profiter » de la valeur numérique de c_p (= 1,00 kJ kg⁻¹ K⁻¹) !

Il s'agit de comparer les valeurs numériques $\eta_{th,A}$ et $\eta_{th,B}$. Il est évident que tous peuvent remarquer, sans problème, que $\eta_{th,A} > \eta_{th,B}$, puisque $\eta_{th,A} = 0,48$ et $\eta_{th,B} = 0,38$. Une comparaison chiffrée, plus intéressante, est attendue: $\eta_{th,B}$ (post-combustion) = $0,79 \eta_{th,A}$ (sans post-combustion).

L'occasion de relever quelques circonstances d'activation de la post-combustion étonnantes :

- aide au dégivrage du réacteur ;
- chauffage du poste de pilotage.

...suivies de quelques raisons surprenantes de limiter, dans le temps, la post-combustion (les candidats « voient loin ») :

- souci écologique (élévation de la température de l'atmosphère, risque de fonte des glaciers, élévation du niveau des océans, etc.) ;
- souci de sécurité (désintégration du réacteur, vitesse de l'avion qui va tendre vers l'infini, risque de carbonisation des promeneurs sur la piste d'envol, etc.).

III. Turboréacteur d'avion de transport

Nous devons noter une erreur quasi-générale dans la question **13.2** lorsqu'il s'agit de rechercher l'expression littérale de la température T_5 (sortie de turbine **4-5**). Les débits, différents dans chaque flux ne sont pas pris en compte, ce qui se traduit par la relation, malheureusement fautive: $w_{i,1-2} + w_{i,2-3} = - w_{i,4-5}$. La puissance mécanique fournie par l'écoulement à la turbine est intégralement transmise aux deux compresseurs, d'où l'équation attendue, en termes de puissances : $D_{m,I} (1 + \lambda) w_{i,1-2} + D_{m,I} w_{i,2-3} = - D_{m,I} w_{i,4-5}$.

Les étourderies continuent dans l'expression des puissances cinétiques $P_{cin,I}$ [sortie tuyère primaire **(I) 5-6**] et $P_{cin,II}$ [sortie tuyère secondaire **(II) 2-7**] où les débits $D_{m,I}$ et $D_{m,II}$ ont été rendus égaux.

IV. Comparaison des caractéristiques des moteurs (A) & (C)

Le commentaire du tableau est l'occasion d'une dérive des candidats : ils en viennent à comparer l'utilisation des différents types d'avions, leurs performances, leur poids, leur vitesse, leur aérodynamisme, etc. Alors qu'on attend une comparaison des turboréacteurs.

La pollution sonore des réacteurs d'avions de chasse ne passe pas inaperçue ! Les gaz sortent à une vitesse supérieure à la vitesse du son, ce qui se traduit pour certains par des remarques singulières. Si les gaz d'échappement sont supersoniques :

- ils provoquent la dégradation du tarmac de la piste ;
- l'avion décolle à la vitesse du son (passagers collés au siège) ;
- l'avion sera entendu avant d'être vu (erreur d'un point de vue strictement militaire) ;
- le bruit fera fuir les proies (ce qui, pour un avion de chasse, est handicapant).

CONCLUSION

Pour réussir cette épreuve, il est nécessaire de bien dominer les bases fondamentales du programme, grâce à un travail assidu. Il ne suffit pas de se contenter d'appliquer les formules, mais aussi de souligner les raisons de leur utilisation et, surtout, de leur simplification. Les étudiants ne peuvent se contenter de connaissances approximatives dans les notions essentielles.