

**Banque PC inter-ENS – Session 2019**  
**Rapport du jury de l'épreuve écrite Physique–Chimie (5 h)**

- **École** : ENS de Lyon
- **Coefficient** :
  - En pourcentage du total d'admissibilité : 25,00 %
  - En pourcentage du total d'admission : 8,77 %
- **Membres du jury** :
  - Partie chimie : Laure GUY, Maëlle MOSSER, Martin TIANO, Martin VEROT ;
  - Partie physique : Anne-Emmanuelle BADEL, Hervé GAYVALLET, Sylvain JOUBAUD, Baptiste PORTELLI.

## I Présentation.

Cette épreuve comprend deux parties indépendantes qui participent à parts égales au poids de l'épreuve. La première, consacrée à la physique, propose l'étude de la réponse d'un pendule à une excitation paramétrique. La seconde, dédiée à la chimie, s'intéresse à la stabilité des composés du chlore. Le sujet de cette épreuve est accessible à l'URL :

[https://banques-ecoles.fr/cms/wp-content/uploads/2019/05/19\\_pc\\_phychi\\_lyon\\_sujet.pdf](https://banques-ecoles.fr/cms/wp-content/uploads/2019/05/19_pc_phychi_lyon_sujet.pdf)

Il est attendu que les candidats abordent les deux parties. Trois candidats ont toutefois rendu une copie blanche pour la partie chimie et un pour celle de physique.

Sur les 1 278 candidats inscrits au concours PC 2019 de l'ENS de Lyon, 922 (72 %) se sont présentés à cette épreuve, ce qui constitue une hausse sensible par rapport aux années passées. Les notes attribuées s'étalent de 0,50 à 20,00 selon un écart-type de 3,22 et autour d'une moyenne de 8,10. La figure (1) présente leur distribution par tranche de cinq points.

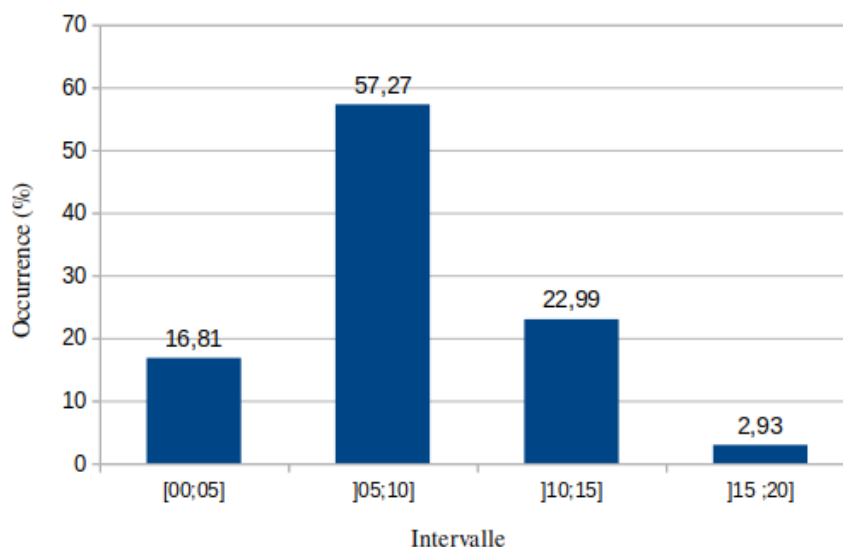


FIGURE 1 – Épreuve écrite PC 2019 Physique-Chimie de l'ENS de Lyon : Distribution relative des notes attribuées.

## II Partie physique : Excitation paramétrique et stabilisation dynamique d'un pendule.

15 Cette partie s'intéresse d'abord à l'amplification des oscillations d'un pendule puis à sa stabilisation dynamique en situation inversée. Ces effets sont produits par la mise en mouvement vertical oscillant de son point de suspension, sous certaines conditions qu'il s'agit d'étudier.

### II.A Remarques générales.

- Rappelons qu'une copie ne doit pas se réduire à une liste de résultats. La démarche adoptée, la conduite des calculs et la qualité de la rédaction comptent tout autant que le résultat obtenu.
- 20 • Certaines copies, même si elles restent assez rares, sont illisibles au point qu'il devient impossible d'en valider un raisonnement ou un résultat.
- Un résultat (intermédiaire ou final) étant obtenu, il doit être soumis à quelques tests élémentaires de bonne tenue. Cette vérification peut d'ailleurs inspirer quelques commentaires susceptibles de le valoriser et d'éclairer le cheminement.
- 25 • Les applications numériques ne doivent pas être négligées. Ce ne sont pas des exercices de calcul, elles donnent un sens concret à un résultat.
- Un problème ne doit pas être considéré comme une série de questions plus ou moins indépendantes. Son énoncé vise à constituer une trame permettant de guider les candidats à travers l'étude proposée. Les résultats s'enchaînent donc logiquement en se complétant. Il est pourtant étonnant que des candidats puissent donner des
- 30 réponses contradictoires à des questions consécutives.
- En dépit de nos mises en garde répétées, la pratique du résultat "remanié" et de la démonstration "au bluff" restent d'usage chez quelques candidats. Nous rappelons une fois de plus que les correcteurs ne limitent pas leur lecture des copies aux résultats, ni à la conclusion des argumentations. Il est préférable, à tout point de vue, d'admettre ouvertement un résultat.

### 35 II.B Remarques détaillées.

Nous présentons ici, question par question, les remarques que nous ont inspirés les réponses des candidats. Nous mentionnons également les erreurs les plus couramment rencontrées. Certaines ont été révélées par cette étude mais ont sans doute des causes plus profondes. Les numéros **1** à **31** se rapportent à ceux des questions. Nous ferons fréquemment référence aux notations, équations et figures de l'énoncé. Il est donc indispensable que ces

40 remarques soient mises en correspondance avec le sujet.

#### 1 Excitation paramétrique d'un pendule simple.

1. Les réponses sont souvent incomplètes. Très peu de candidats ont proposé un critère (un critère qualitatif suffisait) permettant de fixer la frontière entre pendule pesant et pendule simple. Quelques-uns évoquent des conditions assez surprenantes (liaison parfaite, tige inextensible, pas de dissipation, mouvement "faible" du point-pivot, mouvement dans un plan, approximation des petits angles...). Par ailleurs, la condition "masse négligeable de la tige" n'est pas recevable car évidemment non exploitable.
- 45 2. Il n'est pas rare que l'écriture de la force de tension apparaisse une norme, plutôt qu'une grandeur algébrique, dans le but d'indiquer son sens présumé ( $\vec{T} = \pm \|T\| \vec{u}_n$ ). Cette maladresse devient problématique lorsque le sens choisi *a priori* n'est pas le bon. Quelques candidats n'ont pas fait apparaître la force de tension dans l'écriture du principe fondamental de la dynamique (d'autres l'ont négligée sous le prétexte que c'était un pendule simple, ou que la tige était rigide...). Ils obtiennent toutefois le plus souvent la bonne équation différentielle mais sans pourtant s'étonner que la masse oscille et ne se trouve alors pas simplement en chute libre. Quelques candidats ne sont simplement pas parvenus à établir l'équation différentielle demandée, ou l'ont établie (la connaissant) mais à la suite d'un développement qui ne peut être validé.
- 50
- 55 Notons que si l'on applique le théorème du moment dynamique au point O, plutôt qu'au point A, comme quelques candidats l'ont fait, le moment par rapport à ce point de la force de tension n'est alors pas nul.

3. Cette application numérique, pourtant simple, a rebuté quelques candidats. Les valeurs trouvées dans les copies s'échelonnent entre quelques centièmes de seconde et quelques dizaines de secondes. Très exceptionnellement, la valeur trouvée est accompagnée d'une remarque sur sa cohérence (ou non cohérence).
- 60 4. Seulement quelques candidats ont déclaré qu'il suffisait de remplacer  $g$  par  $g - \ddot{h}$ , comme le libellé de la question visait à le suggérer. Pour ceux qui ont adopté une démarche plus calculatoire, rappelons à certains d'entre eux que dans le référentiel  $\mathcal{R}_0$ , qui demeure bien sûr galiléen, il n'y a pas à faire intervenir de force d'inertie. Le mouvement du point-pivot modifie simplement l'expression de l'accélération de la masse.
- 65 5. S'il est effectivement plus avantageux de travailler dans le repère  $(M, \vec{n}, \vec{\tau}, \vec{y})$ , il était toutefois demandé d'exprimer la réaction  $\vec{R}$  dans  $\mathcal{R}_0$ . Assez peu de candidats ont respecté cette consigne. Certains ont même donné une expression "brute" décomposée selon trois vecteurs unitaires, comptant sur les correcteurs pour terminer le travail. Certains autres ont donné l'expression d'un scalaire. Le passage de  $\vec{T}$  (effort tige/masse) à  $\vec{R}$  (effort (1)/tige) a posé des problèmes à beaucoup de candidats (dans le meilleur des cas cela a conduit à une simple erreur de signe). Quelques-uns ont appliqué le principe fondamental de la dynamique au point
- 70 A et considéré que la force  $\vec{R}$  était selon  $\vec{u}_z$ , puisque le mouvement était vertical. Naturellement, la variable  $\ddot{\theta}$  ne devait pas figurer dans le résultat final. Précisons encore que lorsque l'on introduit une force il est indispensable de préciser quelle action elle représente (par exemple, en notant  $\vec{F}_{1/2}$ ).
- 75 6. L'expression de la puissance, donnée dans la question suivante, semble avoir incité quelques candidats à prendre un peu de liberté avec le développement limité de la fonction cosinus... Là encore, il était demandé d'exprimer le développement des composantes dans  $\mathcal{R}_0$ . Ce développement devant être limité à l'ordre deux, on attend que le résultat soit épuré des ordres supérieurs. La responsabilité du "tri" n'incombe pas aux correcteurs.
- 80 7. L'expression de la puissance étant donnée, elle a presque toujours été obtenue, quitte à "tordre" un peu la démonstration. Par exemple, en affectant un signe négatif à l'expression générale de la puissance afin de compenser l'erreur de signe de l'expression de la résultante  $\vec{R}$ . Assez peu de candidats ont traité cette question avec la rigueur souhaitée, en rappelant notamment que le rapport  $U$  était déjà un terme d'ordre deux.
- 85 8. Beaucoup de candidats ont oublié que le rapport  $U$  dépend du temps et l'ont traité comme un facteur. Nous avons constaté que les erreurs (espérons, d'inattention) dans de simples calculs trigonométriques sont assez fréquentes.
- 90 9. Si le rapport  $U$  est traité comme un facteur constant et non comme la variable qu'il représente, l'expression de la puissance moyenne maximum n'est obtenue qu'à un facteur  $1/2$  près. Soulignons que le signe de la puissance fournie au système joue bien sûr son rôle dans l'efficacité de l'amplification ! Certains candidats ont perdu du temps dans de fastidieux (d'ailleurs inutiles) calculs d'intégrale. Enfin, rappelons que la valeur moyenne d'un produit n'est généralement pas égal au produit des valeurs moyennes des termes qui le composent.
- 95 10. La majeure partie des candidats a annoncé arbitrairement que la prise en compte du rapport  $G$  aurait pour effet de diminuer, ou d'augmenter, ou de ne pas modifier, la puissance moyenne. Très peu ont pensé à indiquer de quelle façon ce terme intervenait en rappelant que  $G \propto \ddot{h}$  (c'était déjà une première étape). Deux participations sont donc à considérer :  $\ddot{h}\dot{h}$  et  $\ddot{h}\dot{h}\theta^2$ . Pour  $k = 2$ , il apparaît aisément que leur participation moyenne est nulle.
- 100 11. Cette question était difficile car toute la démarche devait être construite. Quelques candidats l'ont toutefois très bien traitée.
12. Il était précisé que l'on se plaçait "au début de la phase de croissance". Le temps caractéristique cherché n'est donc pas associé au maximum d'amplitude atteint avant la phase de décroissance. D'assez nombreux candidats ont appliqué la méthode d'accès au temps caractéristique d'un système du premier ordre ("63 %"). Elle est, bien sûr, totalement inadaptée ici. Quelques candidats ont habilement déterminé le temps caractéristique de l'enveloppe exponentielle par la mesure de la sous-tangente ( $A(t_0)/\tau = \dot{A}(t_0)$ ) et en choisissant  $t_0$  convenablement.
- 105 13. La réponse "l'hypothèse est (ou n'est pas) vérifiée" est insuffisante. On attend naturellement une brève argumentation.

- 110 **14.** Quelques candidats ont évoqué un effet dû à la désynchronisation de l'excitation, ou à la sortie du cadre de l'approximation des petits angles. Même si les réponses n'étaient pas toujours argumentées, elles restaient recevables. Naturellement, les effets dissipatifs, non considérés dans ce modèle, ne pouvaient être la cause recherchée. D'ailleurs, ils auraient éventuellement conduit à une amplitude limite mais pas à sa décroissance. Enfin, il ne s'agit pas d'une "cloche de résonance", l'abscisse est le temps et non la pulsation !
- 115 **15.** Très peu de bonnes réponses ont été données à cette question, sans doute parce que les candidats n'ont pas cherché à établir de lien entre l'étude qui vient d'être conduite et cette nouvelle situation. Quelques candidats ont cependant reconnu le moyen d'exciter une balançoire en modifiant périodiquement la position de son centre de gravité en tendant ou repliant les jambes. Certaines réponses n'étaient qu'une reformulation de la question : "il suffit de faire changer la longueur de la corde". Pour ce genre de questions d'ouverture il est indispensable de savoir exprimer clairement et précisément sa pensée au risque de la trahir.

## 2 Stabilisation dynamique : pendule inversé.

- 120 **16.** La mise en correspondance des conditions initiales avec les évolutions présentées n'a, à quelques exceptions près, pas posé de problème aux candidats. Par contre, assez peu ont mentionné et comparé les particularités de ces évolutions, en précisant notamment que l'une décrivait des oscillations autour de l'angle nul et l'autre autour de l'angle  $\pi$  (ce qui pouvait - ou aurait dû - étonner).
- 125 **17.** Préalablement à la détermination de la valeur de la période d'excitation il était attendu que soient précisés comment l'excitation se manifestait sur les évolutions et de quelle manière la valeur cherchée en était extraite.

### 2.1 Analyse qualitative.

- 18.** La très grande majorité des candidats s'est contentée de vérifier que la solution constante  $\theta = \pi$  est solution de l'équation différentielle sans étudier si sa stabilité est susceptible d'être assurée.
- 130 **19.** Cette question n'a été convenablement traitée que par assez peu de candidats. Il était pourtant aisé d'accéder directement à l'expression du moment des forces à partir de l'équation différentielle (6). Quelques candidats ont exprimé le moment du poids sans tenir compte du mouvement du point-pivot (c'était toutefois sans conséquence si la réponse à la question suivante était adaptée en conséquence), D'autres ont pensé qu'il s'agissait du moment cinétique.
- 135 **20.** Les candidats ayant établi, à la question précédente, la bonne expression du moment moyen ont généralement conduit une discussion pertinente.
- 21.** La réponse étant dans la question-même, les justifications conduisent toujours à la conclusion attendue mais sans être toujours convaincantes ou convenablement argumentées.

### 2.2 Interprétation énergétique.

- 140 **22.** Très peu de candidats ont établi avec rigueur la relation donnée dans l'énoncé (et certains d'entre eux très habilement). Beaucoup de démonstrations sont grossièrement erronées, voire parfois suspectes. Lorsque, par exemple, une grandeur devient son inverse d'une ligne à la suivante ou bien qu'une fonction sinus mute en une fonction cosinus...
- 145 **23.** La relation (donnée dans l'énoncé) a généralement été obtenue par les candidats ayant abordé cette question. Quelques-uns ont dérivé la variable  $\theta_1$  (d'ailleurs inutilement) sans tenir compte de la variation rapide de la variable  $\Psi$ .
- 24.** On pouvait, par exemple, simplement vérifier que pour  $a = 0$  (et donc  $Q = 0$ ) on retrouvait l'équation habituelle d'un pendule.
- 25.** Cette question n'a généralement pas posé de problème aux candidats l'ayant abordée. Cette technique générale permettant d'obtenir une équation d'énergie à partir d'une équation différentielle est bien maîtrisée.

Il manquait, dans l'énoncé, l'astérisque à la grandeur  $E_{\text{eff}}^*$  reprise dans le texte. Les candidats ont, apparemment, spontanément rectifié cette erreur. Par ailleurs, la fonction  $f$  n'était définie qu'à une constante près. Toute fonction  $f$  ayant la bonne dérivée était naturellement acceptée.

26. Il s'agit de mettre en relation le profil du potentiel effectif, les conditions initiales  $CI_1$  et  $CI_2$  et les évolutions de la figure (4). Les candidats ayant abordé cette question ont généralement très bien interprété cette question.

27. Cette question a été abordée par assez peu de candidats. Ceux-ci l'ont majoritairement bien traitée. Mentionnons toutefois que ce n'est pas la profondeur de la cuvette de potentiel qui détermine la période des oscillations mais sa concavité.

28. Les candidats ayant traité correctement la question précédente sont parvenus sans difficulté au résultat.

29. Peu de candidats ont abordé cette question. Ceux-ci ont généralement su extraire la valeur du paramètre  $Q$  du tracé du profil de potentiel effectif de la figure (6), même s'ils n'ont pas toujours exprimé le rapport  $Q/Q_c$  demandé.

30. Cette question n'a quasiment pas été abordée.

31. Cette question n'a quasiment pas été abordée.

### III Partie Chimie : Stabilité et métastabilité des composés du chlore.

Le jury invite les candidats à lire attentivement ce rapport ainsi que ceux des années précédentes, de nombreuses erreurs signalées se répétant malheureusement d'année en année.

Cette partie traite de la stabilité du chlore et ses composés sous deux angles différents : l'un énergétique et thermodynamique, l'autre lié à l'utilisation des composés du chlore en chimie organique.

Le jury a eu la grande satisfaction de voir d'excellentes copies alliant une excellente maîtrise de la chimie à une rédaction rigoureuse. Cependant, il y a encore eu de trop nombreuses copies où un résultat donné dans l'intention de guider les étudiants et éviter tout blocage sert de prétexte à essayer d'entourlouper les correcteurs : un facteur deux qui saute opportunément (questions 27 et 28) sans rien dire ne passe pas inaperçu surtout si c'est l'enjeu de la question. Sur la question 28, parmi les candidats ayant répondu à la question : 59 % ont répondu juste, 35 % ont eu des résultats faux ou incohérents sans le mentionner et seulement 6 % ont fait une remarque explicite sur l'incohérence entre leur résultat et celui attendu. Malgré toutes les approximations que la statistique brute engendre, cela reste bien trop peu !

1. 88 % des candidats ont répondu de manière satisfaisante. Parmi les erreurs les plus courantes, il y a eu confusion entre le fluor et le chlore. Seulement 15 % des candidats ont eu la totalité des points pour avoir mentionné au moins une règle utilisée pour établir la configuration électronique.

2. Cette question portant sur des souvenirs de première a été discriminante puisque réussie par un petit quart des candidats, la plupart n'ayant pas vu qu'il s'agissait ici de réactions nucléaires et pas de formation d'ions. Les électrons ont été parfois des neutrons ou des protons.

#### 1 Étude de la stabilité des ions diatomiques du chlore en phase gaz.

Cette partie a, dans l'ensemble, été réussie par les candidats.

3. Cette question a eu droit à des traitements très variables selon les candidats allant d'un diagramme de 3 cm de haut à plusieurs pages. Pour avoir la totalité des points, le jury attendait quelques mots sur les règles de construction, mais cela ne devait pas dépasser cinq lignes.

4. Bien que la question ait été très bien réussie, le jury attendait un minimum d'explications sur la formule utilisée. Une fois la formule donnée et illustrée, il est possible d'être beaucoup plus succinct.

5. La question a été globalement très bien réussie.

6. La question a été globalement très bien réussie.

- 195 7. Ici, il fallait adopter un raisonnement purement orbitalaire et donc regarder l'énergie mono-électronique des orbitales concernées. Cependant, pour que la réponse puisse être comprise, il fallait préciser explicitement les orbitales concernées, (soit avec le terme générique de HO, soit  $3p$  et  $\pi^*$ ). En parlant seulement d'orbitales ou même d'orbitales de valence, la réponse devient fausse car trop incomplète. Les deux tiers des étudiants ont répondu rigoureusement à cette question.
- 200 8. Cette question classique a été correctement traitée par les deux tiers des candidats. Cependant, le jury rappelle que les énergies étudiées sont des  $\Delta_r U^\circ(0\text{ K})$  et pas des enthalpies ou enthalpies libres. Le plus simple étant de rester avec la lettre  $E$  pour éviter toute difficulté.
9. –
10. Cette question plus qualitative a posé des difficultés aux candidats car elle questionnait le descripteur “indice de liaison”.

## 2 Étude de la stabilité des degrés d'oxydations du chlore en solution aqueuse.

205 Cette partie a contribué à faire la différence entre les candidats. En particulier les questions demandant des expressions ou calculs en lien avec la thermodynamique de l'oxydo-réduction.

11. Les trois quarts des candidats ont correctement répondu à la question. Les deux demi-couples étaient attendus avant l'équation globale. S'ils étaient donnés question 12, les points ont été comptés.
- 210 12. Cette question a été discriminante avec seulement un quart des étudiants ayant la totalité des points. La plupart des candidats avaient une démarche correcte mais se sont soit trompés dans l'application numérique, soit ont fait des erreurs de signe. Une fraction des étudiants se trompe en affirmant qu'une réaction ayant une constante d'équilibre extrêmement faible ou ayant un  $\Delta_r G^\circ$  positif est favorisée.
- 215 13. Il y a ici eu deux types de réponses : celles faisant le calcul en partant des différents demi-couples pour aboutir au résultat et celles utilisant directement la formule barycentrique/de Latimer. Dans le “clan” LATIMER, la mauvaise connaissance de la formule conduit irrémédiablement à une erreur alors que les candidats ayant pris le temps de faire une démonstration pas à pas se trompent généralement moins – ceux pour qui c'est le cas se trompent généralement de signe pour le lien entre  $\Delta_r G^\circ$  et  $E^\circ$ . Toujours pour les adeptes de la formule de LATIMER, le jury attend alors à minima une phrase en lien avec l'origine de la formule pour pouvoir compter des points.
- 220 14. La question a été globalement très bien réussie.
15. Cette question a été très discriminante entre les erreurs de signe, les mauvaises multiplications aboutissant à un nombre d'électrons échangés globalement faux et le lien  $\Delta_r G^\circ/E^\circ$  incorrect. Seulement un tiers des candidats a eu la totalité des points.
16. –
- 225 17. Cette question se basait sur la réponse à la question 15. Certains candidats ont réussi à contourner la difficulté avec des diagrammes en potentiel.
18. La question a été globalement très bien réussie.
19. La question a été globalement très bien réussie. Mais les réponses ont parfois été incomplètes car non justifiées.
- 230 20. La moitié des candidats n'a eu aucun point sur cette question. Il fallait penser aux réactions possibles avec l'eau, tout comme il faut ajouter les couples correspondants sur un diagramme potentiel-pH.
21. Cette question a été globalement très bien réussie.

## 3 Cinétiques de décoloration impliquant l'hypochlorite de sodium.

Cette partie a également été très discriminante, en particulier les questions 23, 24, 27 et 28.

- 235 22. La question a été globalement très bien réussie.

23. Ici, l'enjeu de la question était la rigueur des étapes pour arriver au résultat donné. Seulement 30 % des candidats ont eu la totalité des points. À l'inverse 20 % des candidats n'ont eu aucun point vu le manque de rigueur et de justifications apportées.
24. Cette question était la question piège de la partie car le colorant est dilué dans le réacteur. Voyant la suite de l'énoncé, certains candidats ont décelé leur erreur, d'autres se sont trompés en corrigeant la mauvaise formule d'un facteur deux.
25. –
26. La moitié des candidats a compris l'analogie avec la méthode de dégénérescence de l'ordre en réacteur ouvert.
27. Comme annoncé dans l'en-tête, les candidats s'étant trompé question 24 ne pouvaient pas avoir le bon résultat à cette question. 30 % des candidats sont restés fidèles à leur résultat erroné plutôt que de changer "opportunément" leur résultat, ce qui a été valorisé.
28. Voir l'en-tête du rapport.
29. L'unité de  $k$  a été trop souvent oubliée (30 % des candidats).
30. Les trois quarts des candidats ont proposé une méthode valide.

#### 4 Utilisation de l'hypochlorite de sodium en chimie organique.

Cette partie demandait plutôt un esprit de synthèse et d'analyse que de maîtrise technique.

31. Si la grande majorité des candidats a pu donner une réponse partielle, très peu ont eu la totalité des points. Il s'agissait ici d'exploiter point par point les informations données dans le sujet.
32. La mention de la loi d'ARRHÉNIUS était attendue pour avoir la totalité des points. Quelques candidats ont cherché à avoir un raisonnement thermodynamique sur une réaction pour laquelle ils n'avaient que très peu de données (il leur manquait en particulier  $\Delta_r H^\circ$ ).
33. Même remarque que pour la question 31.
34. Pour avoir la totalité des points, il fallait indiquer les principaux signaux ayant disparu ou s'étant déplacé sous l'action de l'oxydation. Il fallait également faire des remarques sur la multiplicité des signaux. Ainsi, si 90 % des étudiants avaient une réponse au moins partielle, seulement 5 % des candidats ont eu la totalité des points.
35. Pour cette question, il fallait garder un raisonnement purement cinétique et non thermodynamique.
36. –
37. Les réponses données étaient souvent trop similaires à celles données question 36.

#### IV Conclusion.

Nous espérons que ces remarques, que nous avons contextualisées en les plaçant en lien direct avec les questions du sujet et en correspondance de situations concrètes, aideront les futurs candidats à préparer et aborder dans de bonnes conditions cette épreuve écrite.

★ ★  
★