

Physique-chimie 2

Présentation du sujet

Cette épreuve propose aux candidats d'étudier les contraintes techniques liées à la conception d'une éolienne. Le sujet, comportant trois parties de physique et une de chimie, aborde des domaines variés du programme de physique et de chimie de classes préparatoires :

- *enjeux énergétiques* – questions ouvertes sur les conséquences énergétiques de la conversion de tous les véhicules à moteur thermique en véhicules électriques pour les particuliers ;
- *conversion énergie éolienne en énergie mécanique, éolienne type Darrieus* – analyse du mouvement de l'éolienne à axe vertical soumise au vent et bilan énergétique ;
- *générateur* – machine synchrone ;
- *aimant des rotors* – autour du néodyme et de la corrosion des aimants.

Les compétences évaluées dans ce sujet sont diverses, complètes et de difficultés différentes et graduées : questions proches du cours, raisonnements simples, raisonnements plus complexes, questions ouvertes avec analyse de documents, représentations graphiques, exploitation de graphes.

La plupart des savoir-faire exigibles en filière PSI doivent être mis en œuvre : schématisation, algébrisation, application numérique, rigueur de l'argumentation, esprit critique, maîtrise des ordres de grandeurs.

Analyse globale des résultats

Les questions de physique et de chimie représentent respectivement 75 % et 25 % du barème.

Les candidats ont abordé les différentes parties de manière assez équilibrée. Les points obtenus sont bien répartis sur les quatre parties du sujet avec un léger déficit pour la chimie, certainement par manque de temps consacré à cette partie.

La partie I sur les enjeux énergétiques comportait deux questions ouvertes nécessitant l'exploitation de cinq documents. 67 % des candidats ont abordé la question 1 et seulement 37 % la question 2. Le barème a fortement valorisé ces questions à hauteur d'environ trente minutes de résolution. Certains candidats ont frôlé la note maximale.

Quelques candidats arrivent à traiter avec succès les parties II et III quasi intégralement. D'autres abordent aussi un maximum de questions avec un taux de réussite insuffisant. Le barème a valorisé ceux qui argumentent au détriment de ceux qui survolent les questions pour en traiter plus. Peu sont capables de progresser tout au long d'une partie sans perdre pied à un moment. Par exemple, en partie II, plutôt bien guidée avec de nombreux résultats intermédiaires donnés, moins de 50 % des candidats abordent la question 12 après neuf courtes questions et parmi eux, moins de 10 % obtiennent la puissance moyenne transférée au rotor.

Le sujet comporte quelques questions de cours (champ magnétique dans l'entrefer du générateur, énergie magnétique, nombres d'oxydation, domaines de corrosion, immunité et passivation) qui ont été traitées de manière inégale. Seuls les candidats rédigeant de manière *complète et précise* obtiennent l'intégralité des points sur ces questions. À la question 17 (démonstration de l'expression de l'intensité du champ magnétique dans l'entrefer), le jury a attribué au moins trois quarts des points dans 12 % des copies et 4 % obtiennent la note maximale.

De nombreuses autres questions ne nécessitent que des raisonnements courts et sans difficulté. Les correcteurs constatent qu'une majorité des candidats rencontre des difficultés à récupérer les points associés à ces questions.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Les correcteurs attendent des copies respectueuses du lecteur : lisibles, sans ratures et rédigées de manière compréhensible. Un mot ou une phrase barrés proprement ne sont pas sanctionnés à condition que le candidat ne récrive pas par-dessus.

Le jury conseille aux futurs candidats de travailler les points suivants dans les questions ouvertes ou non guidées :

- indiquer clairement la référence du document dont est extraite une information ;
- attribuer un symbole aux grandeurs physiques manipulées ;
- détailler chaque étape du raisonnement et chaque calcul lorsque le raisonnement est réalisé en plusieurs étapes ;
- commenter, critiquer, valider le résultat final de manière convaincante (par comparaison à une valeur de référence par exemple).

Pour toutes les questions :

- *définir toute notation* nécessaire à la rédaction, non introduite par l'énoncé ;
- *utiliser un vocabulaire précis* ne laissant aucun doute sur la compréhension des phénomènes et sur la validité de la réponse ;
- distinguer les *grandeurs scalaires des grandeurs vectorielles* ;
- *soigner les graphes*, une représentation graphique avec axes non légendés n'est pas notée, les points remarquables doivent être mis en évidence ;
- *argumenter*, un schéma bien légendé, la citation d'une loi, un rappel à un résultat précédemment établi sont des éléments de rédaction attendus et valorisés dans le barème. À contrario, les suites d'équations ou de formules non expliquées sont sanctionnées, surtout lorsque le résultat est fourni.

I Enjeux énergétiques

Q1. Les correcteurs ont valorisé tous les raisonnements pertinents. Le point essentiel est de comparer l'énergie électrique supplémentaire qu'il faudrait produire si on remplaçait tous les véhicules à moteur thermique en véhicules électriques à la production énergétique actuelle.

Comme indiqué précédemment, le jury attend que les candidats précisent les documents utilisés, citent les informations extraites et expliquent ce qu'ils en font. Une fois la consommation annuelle calculée, on attend une comparaison à la production annuelle actuelle. La conclusion doit être argumentée quantitativement, par exemple par un calcul d'augmentation relative.

Cette question a été très classante. En effet, de nombreux candidats confondent les notions d'énergie et de puissance. Certains calculent des grandeurs sans aucun sens physique dont l'unité est le watt par heure ou le watt par jour. D'autres écrivent que si un million de voitures consomme une puissance moyenne sur une heure de 200 MW, elles consomment alors 24×200 MW en une journée. Toutes ces erreurs sont inquiétantes pour de futurs ingénieurs et ont été systématiquement sanctionnées.

Q2. Le jury souhaiterait que les candidats structurent mieux la rédaction d'une telle question. Les correcteurs attendent :

- la liste de toutes les *données pertinentes* pour répondre à la question (nombre de véhicules électriques, puissance crête par million de véhicules, choix d'une éolienne, choix de l'espacement entre les éoliennes) et la *référence* aux documents utilisés. Les candidats doivent attribuer un symbole à toutes les grandeurs introduites qu'ils seront amenés à manipuler dans la mise en équation qui suivra. Le jury rappelle aux candidats qu'il est préférable de donner des expressions littérales et non des juxtapositions de calculs numériques ;
- *l'exploitation de ces données* pour répondre à la question. À ce stade, les candidats doivent rédiger, *par des phrases* et non par une liste de formules littérales ou de valeurs numériques, leur raisonnement. Un schéma montrant la disposition des éoliennes favorise la compréhension ;
- la réalisation des *applications numériques*. Il n'est pas interdit de réaliser des applications numériques intermédiaires. Cela permet aux correcteurs de récompenser les candidats qui trouvent un nombre d'éoliennes satisfaisant mais qui se trompent ensuite sur la surface du champ éolien ;
- le *commentaire* final qui doit s'appuyer sur des données quantitatives. Les réponses du type « cette surface est bien trop grande » ne sont pas valorisées. Le jury a attribué des points sur cette phase de validation aux candidats qui ont comparé la surface obtenue à la surface de la France métropolitaine ou à tout autre surface pertinente (département ou région par exemple).

II Conversion énergie éolienne en énergie mécanique – éolienne type Darrieus

Q4. La quasi totalité des candidats a représenté les vecteurs attendus sans aucun calcul des normes de \vec{u} et de \vec{v}_0 ou au moins leur rapport. Seuls 5 % des copies proposent des tracés corrects.

Q7. Trop de représentations graphiques sont inexploitablement ou imprécises. Le jury attendait un graphe de période 2π , avec les abscisses des points d'ordonnée nulle clairement identifiées et dont les extrema ne se situaient pas en 0 modulo π .

Q12. Les candidats traitent ce type de question de synthèse trop rapidement. Ceux qui ont détaillé les différentes étapes ont obtenu, au moins partiellement, des points précieux. L'obtention de la puissance nécessitait la valeur de λ_0 afin d'extraire, de la figure 7, la valeur de $\langle F(\theta) \rangle$. La valeur de κ était accessible après avoir détaillé le calcul de la surface alaire S de l'aile. Et il fallait enfin la valeur de ω pour conclure. Un retour sur la réponse à la question 3 ou une analyse rapide de la figure 2 permettaient aux candidats de valider la valeur de la puissance moyenne transférée au rotor dans ce modèle.

III Générateur

Q17. Les démonstrations proposées sont en général trop peu soignées. Plusieurs éléments de démonstration ont été exigés par les correcteurs : analyse des symétries des courants et ses conséquences sur le champ magnétique, rappel et utilisations des hypothèses de l'énoncé (champ magnétique radial dans l'entrefer, matériau ferromagnétique doux de perméabilité magnétique relative infinie), schéma représentant le contour d'Ampère orienté, énoncé du théorème d'Ampère et son application *détaillée* (d'autant plus exigée que le résultat était fourni).

Q18. Trop de graphes ont été tracés sans explication et sont donc rarement corrects.

Q22. Cette question a été assez discriminante. Les candidats qui connaissaient leur cours et qui ont progressé avec rigueur ont obtenu la bonne réponse. Trop de candidats se sont trompés dans le calcul de l'intégrale $\int_0^{2\pi} \cos^2(\theta + \phi) d\theta$ qui est égale à π et non à $1/2$.

IV Aimant des rotors

Q30. Une rédaction minimale est attendue. De nombreux candidats n'ont écrit que des formules, souvent numériques, sans aucune explication.

Q31. Seulement un tiers des candidats attribue correctement les zones d'immunité, passivation et corrosion.

Q32. 20% de bonnes réponses pour les deux équations demandées. Les expressions et valeurs des constantes d'équilibre rencontrent encore moins de succès.

Q33. Question mal réussie alors qu'il s'agit d'un exemple typique de corrosion différentielle. Nombreuses confusions entre les zones d'oxydation et de réduction. De nombreux candidats situent la zone cathodique au sommet de la goutte, ce qui oblige certains à faire circuler des électrons dans la solution aqueuse.

Q34. Un calcul des potentiels d'équilibre redox pour les deux couples mis en jeu devait être effectué avant le tracé.

Q36. Trop de copies où les candidats alignent des formules sans aucune phrase d'explication et comportant des notations non définies (n , m , ρ). Cette question est certes non guidée mais sans difficulté. Le jury attend des candidats une rédaction soignée, expliquant les différentes étapes du raisonnement.

Conclusion

Comme chaque année, la corrélation entre la note attribuée à la copie et la qualité de rédaction et d'argumentation est importante.

Le jury conseille aux futurs candidats de lire avec suffisamment d'attention le sujet en début d'épreuve afin de bien gérer les quatre heures de composition en identifiant les parties ou les questions les plus abordables.

De nombreux candidats se sont bien préparés, ont fait preuve de clarté et de précision dans leurs copies et ont montré leur capacité de réflexion sur les questions scientifiques proposées.

Le jury encourage les futurs candidats à travailler ces compétences tout au long des deux années de préparation afin de les valoriser le jour de l'épreuve.