

5. Physique-chimie 2

5.1. Introduction

Le sujet traite du fonctionnement des éléments d'un vélo à assistance électrique hybride associant des supercondensateurs, utilisés pour une récupération rapide de l'énergie, à une petite batterie lithium-ion, destinée à améliorer l'autonomie.

Composé de trois parties indépendantes, le sujet couvre différents domaines du programme de physique et de chimie de la filière PSI :

- la partie I est consacrée à l'étude d'un supercondensateur avec pour objectif de dimensionner un pack répondant à un cahier des charges précis. Cette analyse se prolonge par l'examen d'un hacheur DC/DC assurant l'interface entre les supercondensateurs et le système onduleur-moteur ;
- la partie II traite du recyclage des métaux contenus dans une batterie lithium-ion en s'appuyant notamment sur l'étude de procédés chimiques tels que la délithiation, la dissolution (modèle à grain rétrécissant) et la précipitation sélective ;
- la partie III porte sur le calcul du couple maximal d'un moteur synchrone à deux paires d'aimants, ainsi que sur les améliorations permettant d'atteindre les performances attendues pour un vélo. Elle se conclut par la mise en œuvre de la commande d'un onduleur MLI visant à supprimer les à-coups ressentis dans le pédalier.

5.2. Analyse globale des résultats

La note maximale est approchée par plusieurs candidats dans les deux premières parties, plus rarement dans la troisième, sans doute par manque de temps. Ce constat témoigne d'un niveau de difficulté raisonnable des questions posées.

Les meilleures copies se distinguent par la clarté des réponses, une justification rigoureuse des démarches et une capacité à aller à l'essentiel. Ces qualités, combinées à une bonne connaissance du cours et à la maîtrise des méthodes classiques de résolution, permettent souvent d'obtenir une excellente note.

Le jury observe que seule une minorité de candidats réussit efficacement les questions portant sur le cours ou son application directe. Par exemple, dans la question **Q1**, relative à l'établissement du champ électrostatique créé par une distribution plane uniforme de charges, seuls 5 % des candidats obtiennent l'intégralité des points, tandis que 70 % n'en atteignent pas les trois quarts. La question **Q25**, qui porte sur la démonstration de la valeur du produit de solubilité d'un hydroxyde, ne rencontre pas le succès attendu : 38 % des candidats ne la traitent pas et un sur dix parvient à la résoudre complètement.

Les parties spécifiques au programme de la filière PSI ont un succès contrasté. Près d'un tiers des candidats n'abordent pas le hacheur DC/DC alors que les premières questions sont pourtant très accessibles. Un quart justifient rigoureusement la nullité de la valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine dans le cadre d'un régime périodique établi ; environ 15 % tracent le chronogramme attendu à la question **Q10**, puis expriment correctement le gain du convertisseur. Les deux dernières questions, **Q13** et **Q14**, plus délicates, sont rarement traitées ; le jury se

réjouit néanmoins de constater que certains candidats s'accrochent jusqu'au bout, parfois avec un succès pleinement mérité. Le barème valorise cette pugnacité.

Enfin, la seule question non guidée (Q7) a été davantage délaissée que les années précédentes, ce que le jury regrette. Il rappelle qu'une démarche pertinente, même partielle, est toujours valorisée. Ce type de question bénéficie d'une pondération importante dans le barème ; les candidats qui analysent correctement la situation, rédigent de manière structurée et portent un regard critique sur leurs résultats sont souvent récompensés.

5.3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

5.3.1. Attentes du jury concernant la rédaction et la présentation

Communiquer clairement son raisonnement est une compétence indispensable. Le jury rappelle que les meilleures copies se caractérisent par une démarche structurée, une rédaction rigoureuse et l'emploi d'un vocabulaire scientifique précis, appuyés par des représentations soignées (schémas, graphes, etc.).

Quelques conseils pratiques :

- définir toute notation non fournie par l'énoncé, idéalement à l'aide d'un grand schéma regroupant les grandeurs utiles ;
- soigner les représentations graphiques : un schéma brouillon ou un graphe incomplet (sans points remarquables, par exemple) n'est pas valorisé ;
- adopter un langage rigoureux, sans ambiguïté, en soignant syntaxe et orthographe ;
- écrire correctement les expressions mathématiques : veiller au point du produit scalaire, à la cohérence entre grandeurs scalaires et vectorielles, aux majuscules des noms propres et ne pas barrer les termes simplifiés mais réécrire l'expression ;
- argumenter systématiquement : les suites de formules sans explication sont pénalisées. Il faut définir les grandeurs, citer les lois utilisées, rédiger le raisonnement et privilégier les expressions littérales avant toute application numérique. Éviter les relations semi-littérales ;
- commenter les résultats ou hypothèses de façon pertinente, en qualifiant clairement leur cohérence, leur ordre de grandeur ou leur sens physique.

5.3.2. Remarques concernant la partie I

Q1 Champ électrostatique d'une distribution plane. La rédaction est souvent incomplète. Pour obtenir tous les points, un schéma clair représentant la surface de Gauss est indispensable, tout comme une justification rigoureuse s'appuyant sur les symétries de la distribution de charges. Le résultat attendu doit distinguer explicitement les différentes zones de l'espace. Par ailleurs, les confusions entre vecteurs et scalaires (égalité incorrecte de grandeurs de nature différente) restent trop fréquentes.

Q2 Lien entre potentiel et champ électrostatique. Le résultat étant fourni, le jury attend un raisonnement détaillé, mettant en évidence la relation locale entre le potentiel et le champ électrostatiques, avant d'exprimer la tension.

Q4 Bilan de charge dans un système fermé. Certains candidats cherchent à retrouver le résultat donné sans soin, au détriment de la rigueur. Le jury attend une définition explicite du système fermé étudié et une expression correcte du courant entrant ou sortant, ce qui suppose la

maîtrise du vecteur densité de courant électrique et du calcul de son flux à travers une surface orientée. Beaucoup se limitent à des considérations scalaires, insuffisantes dans ce contexte.

Q6 Application des lois de circuit. La plupart des candidats mobilisent à bon escient la loi des mailles et les lois de fonctionnement des dipôles. Toutefois, l'écriture d'expressions telles que $u_C + u_R = U$ sans définir précisément, sur un schéma, les tensions u_C et u_R mises en jeu est sanctionnée.

Q7 Dimensionnement du pack de super condensateurs (question non guidée). Tout élément pertinent contribuant à l'élaboration d'une réponse cohérente est valorisé. Le jury attend du candidat qu'il s'approprie les contraintes du problème et propose une stratégie de résolution, même partielle. Deux aspects sont particulièrement déterminants ici :

- une approche énergétique, estimant l'énergie à fournir par le système d'assistance en la comparant à celle qui est stockée dans un supercondensateur, sans supposer une décharge complète de ce dernier ;
- une réflexion sur la manière d'associer les supercondensateurs pour atteindre la tension requise aux bornes du pack. Le jury s'étonne du nombre de copies proposant une association en parallèle de branches comportant un unique supercondensateur, configuration qui ne permet pas de satisfaire la contrainte de tension.

D'autres approches sont acceptées, à condition qu'elles s'appuient sur des arguments physiques pertinents.

Enfin, une rédaction claire et bien organisée permet au correcteur de suivre facilement le raisonnement. Un regard critique sur le nombre de supercondensateurs du pack est attendu en guise de conclusion. On peut, par exemple, discuter de l'encombrement du pack ainsi dimensionné.

Q8 à Q14 Étude d'un hacheur DC/DC. Cette partie, spécifique au programme de la filière PSI, n'a pas rencontré le succès attendu, alors qu'elle fait appel à des raisonnements qui devraient être familiers aux étudiants. Les difficultés rencontrées s'expliquent principalement par un manque de méthode.

Les candidats qui prennent soin de représenter le schéma du convertisseur dans ses deux états de fonctionnement déterminent aisément la valeur moyenne de la tension V_{C_1} , tracent sans difficulté le chronogramme attendu à la question **Q10** et progressent efficacement dans les questions suivantes.

Le jury note enfin que la nullité de la puissance moyenne reçue par une bobine ou un condensateur en régime périodique établi est très rarement évoquée dans le bilan de puissance de la question **Q8**.

5.3.3. Remarques concernant la partie II

Q15 à Q24 La lixiviation. Cette partie requiert peu de connaissances théoriques, mais mobilise des savoir-faire essentiels. Savoir exploiter un tableau d'avancement et maîtriser la stœchiométrie des réactions chimiques permet de traiter la majorité des questions. Cependant, la phase d'appropriation des données (deux équations de réactions et les résultats de trois expériences) a découragé de nombreux candidats qui ont préféré passer cette partie. Ce choix stratégique s'avère regrettable : le jury a attribué une part significative du barème à ces questions.

Q25 à Q28 La précipitation sélective. La question **Q25**, bien qu'accessible, n'est traitée que par deux tiers des candidats, et seuls 10 % obtiennent tous les points. Les questions suivantes, pourtant sans réelle difficulté, sont encore plus souvent ignorées. Le jury encourage vivement les futurs candidats à ne pas négliger la chimie : les questions sont souvent abordables dès lors

que les bases du programme sont maîtrisées et elles peuvent rapporter un nombre de points conséquent sans exiger un investissement démesuré.

5.3.4. Remarques concernant la partie III

Cette dernière partie, à nouveau spécifique à la filière PSI, s'avère très sélective. Les questions, souvent guidées et peu techniques, supposent néanmoins une appropriation rigoureuse des données du sujet. Les candidats ayant pris le temps d'analyser les situations posées et de s'appuyer sur des arguments solides fournissent généralement des réponses pertinentes.

En **Q29**, peu ont suivi les conseils de l'énoncé invitant à modéliser chaque aimant par une spire de courant équivalente. La recherche des plans de symétrie ou d'antisymétrie, pourtant essentielle pour tracer l'allure du champ magnétique, est trop souvent omise.

En **Q32**, fortement dotée, le manque de soin dans le choix du volume d'intégration est fréquemment pénalisant. Cette question, placée en fin de sujet, est difficile à traiter sans lucidité, ce qui milite pour une lecture attentive de l'ensemble du sujet dès le début de l'épreuve afin d'identifier les questions proches du cours.

Des remarques similaires s'appliquent à la partie concernant l'onduleur. En **Q36**, si la moitié des candidats tentent une réponse, beaucoup produisent des tableaux inexacts, faute d'indiquer les intervalles temporels ou en utilisant un nombre de séquences inadapté. À l'inverse, ceux qui s'appuient sur le schéma de l'onduleur et le chronogramme de la tension $v_{ch}(t)$ répondent correctement, en respectant les consignes. Le jury apprécie les copies qui rappellent qu'il ne faut ni court-circuiter le générateur, ni laisser la charge en circuit ouvert. Ces contraintes, lorsqu'elles sont explicitement formulées, témoignent d'une réelle maîtrise du sujet et sont valorisées.

5.4. Conclusion

Le jury observe une nette corrélation entre la qualité de la rédaction, de l'argumentation et la note obtenue.

Certaines copies se distinguent par leur rigueur, leur clarté et la justesse des raisonnements : elles témoignent d'une solide préparation et d'une capacité réelle à réussir dans des études scientifiques exigeantes.

Le jury encourage les futurs candidats à développer ces compétences tout au long de leur formation, gage de réussite au concours comme dans la suite de leur parcours. Ce développement repose avant tout sur un travail régulier et approfondi des bases du cours et des méthodes. Un tel travail de fond, patient et persévérant, est la clé pour construire des raisonnements solides, gagner en aisance et aborder les épreuves avec sérénité.