

Rapport des correcteurs du concours PSI Physique 2025

Jury : Éric Brunet, Mylène Sauty, Camille Scalliet

1 Description du sujet

Le sujet de cette épreuve porte sur l'énergie bleue, aussi appelée énergie osmotique, qui consiste à produire de l'électricité à partir de la différence de concentration en sel entre deux solutions, comme l'eau de mer et l'eau douce. Ce thème s'inscrit dans la recherche de sources d'énergie renouvelables et durables, exploitant des phénomènes naturels encore peu utilisés à grande échelle.

Le sujet est divisé en trois parties indépendantes, permettant d'aborder progressivement les enjeux théoriques, technologiques et pratiques de cette technologie.

La première partie vise à quantifier l'énergie récupérable lors du mélange d'eau salée et d'eau douce. Elle s'appuie sur des concepts de thermodynamique, notamment l'enthalpie libre, pour estimer le travail maximal récupérable. Les candidats sont invités à calculer l'énergie produite par un mélange de volumes donnés d'eau salée et d'eau douce, puis à évaluer la puissance maximale produite à l'embouchure d'un fleuve comme l'Amazone. Cette approche permet de comparer le potentiel de l'énergie osmotique à d'autres sources d'énergie, comme les réacteurs nucléaires.

La seconde partie explore une technologie innovante pour convertir l'énergie osmotique en électricité : l'utilisation d'une membrane poreuse chargée électriquement. Les candidats étudient le comportement des ions dans des canaux nanométriques, en analysant les phénomènes de diffusion et d'écoulement sous l'effet d'un gradient de concentration. Les équations de Navier-Stokes et de Poisson sont utilisées pour modéliser l'écoulement et le champ électrique dans ces canaux. Enfin, le courant ionique produit est quantifié, ouvrant la voie à une conversion efficace de l'énergie osmotique en courant électrique.

La dernière partie aborde les aspects pratiques de l'intégration de cette technologie dans un réseau électrique. Les candidats étudient la résistance interne des canaux, modélisent le circuit électrique équivalent, et analysent la puissance maximale récupérable. Ils explorent également la conversion du courant continu (DC) en courant alternatif (AC) à l'aide d'un onduleur, afin d'adapter l'énergie produite aux besoins du réseau. Enfin, des calculs permettent d'estimer la surface de membrane nécessaire pour alimenter une ampoule ou un réacteur nucléaire, illustrant les défis d'échelle de cette technologie.

Ce sujet s'inspire de travaux récents sur les membranes nanométriques et les systèmes de conversion d'énergie, offrant aux candidats une immersion dans des problématiques scientifiques contemporaines [1].

[1] A. Siria, P. Poncharal, A.-L. Biance, R. Fulcrand, X. Blase, S. T. Purcell, and L. Bocquet. Giant osmotic energy conversion measured in a single transmembrane boronitride nanotube, *Nature*, 494(7438) :455–458, 2013.

2 Résultats de l'épreuve

Pour cette session, 489 copies ont été rendues, la moyenne est de 10,7 avec un écart-type de 3,4. La note la plus haute est 19,9, la plus basse (hors copies blanches) est 1,4. L'épreuve a permis de classer de manière correcte les candidats, et en particulier les cinquantes meilleures copies ont des notes qui s'échelonnent entre 14,6 et 19,9. Sur l'ensemble des copies, toutes les questions ont été traitées correctement au moins une fois. Quinze questions ont été traitées correctement moins de dix fois. Beaucoup de candidats ont exploité à bon escient la division du sujet en sous parties indépendantes. Il reste cependant préférable de pousser au bout un plus petit nombre de parties que d'aborder le plus de parties possibles, les premières questions plus faciles de chaque sous-partie ne rapportant que très peu de points.

3 Remarques générales

- Le soin apporté à une copie influence fortement l'opinion des correcteurs sur celle-ci. Une copie bien organisée, une écriture lisible, des numéros de question indiqués, des résultats soulignés ou encadrés, facilitent grandement le travail d'évaluation. Si des passages doivent être rayés, il convient de le faire proprement.
- Une question est considérée comme fausse dès qu'une expression est manifestement inhomogène dans le résultat ou dans un calcul intermédiaire.
- Si l'on emploie un raisonnement correct, on peut obtenir des points à une question qui réutilise un résultat faux d'une question antérieure, sauf si l'on réutilise un résultat inhomogène ou qu'on arrive à une conclusion absurde.
- Une application numérique dont l'unité manque ou est incorrecte est considérée comme fausse. Cette année, à la question 42, on devait obtenir $G_1 \simeq 70 \text{ nS}$. Certains candidats ont eu « faux » en écrivant 70 ns ou $70 \text{ n}\Omega^{-1}$.
- Les candidats doivent respecter les notations définies dans l'énoncé. Si une longueur est nommée ℓ , alors le candidat doit utiliser ℓ et non L . Un candidat peut introduire de nouvelles notations à condition de les définir. Cette année, beaucoup de candidats n'ont pas eu les points à la question 25 (« Rappeler la définition du nombre de Reynolds. ») parce qu'ils ont écrit $\text{Re} = \mu v L / \eta$ sans expliquer ce qu'était μ , alors que la réponse pouvait s'écrire $\text{Re} = \rho v L / \eta$ en n'utilisant que les notations définies par l'énoncé.
- La rédaction scientifique doit être précise et rigoureuse : les pages de calcul enchaînées sans le moindre connecteur logique sont à proscrire. On attend des candidats d'expliquer leur raisonnement, pas de calculer aveuglément.
- De manière implicite, toute réponse à une question qui ne relève pas directement du cours (comme : « Rappeler l'équation de Poisson. ») doit être justifiée. Les justifications n'ont pas besoin d'être longues, et peuvent souvent se ramener à quelques mots pour citer une loi physique ou le document utilisé. Pour les questions dont le résultat est une équation, écrire le point de départ et les calculs intermédiaires est souvent indispensable pour justifier le résultat. Cette année, beaucoup de candidats ont répondu à la question 36 (« Quelles sont les dimensions de ℓ_B et ℓ_{GC} ? ») par un laconique « Ce sont des longueurs. » et n'ont eu aucun point.

4 Remarques spécifiques au sujet

- La première question du sujet, pourtant simple, a été très mal traitée ; beaucoup de candidats n'ont pas su transformer une concentration massique en concentration molaire,

ou ont oublié le facteur deux final malgré les indications du sujet.

- De manière générale, la première partie, qui mettait en oeuvre des notions directement tirées du cours de thermochimie, a été très mal traitée, voire très souvent évitée par les candidats.
- Dans la deuxième partie, le sujet introduisait des concentrations de particules chargées en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ et des densités de courant associées en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. La concentration aurait pu également s'exprimer en « nombre de particules par unité de volume » (m^{-3}), ou en « masse par unité de volume » ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), voire même en « charge par unité de volume » ($\text{C} \cdot \text{m}^{-3}$). Le sujet a fait le choix d'une concentration molaire et, pour éviter toute ambiguïté, a donné les unités des quantités pertinentes. Cela n'a pas empêché beaucoup de candidats de se tromper, et les correcteurs ont vu passer des réponses fausses parce qu'il y avait un facteur \mathcal{N}_A en trop.
- Toujours sur ces histoires de définition de la concentration, les correcteurs savent que les candidats apprennent la loi de Fick s'appliquant à des concentrations en « nombre de particules par unité de volume ». La généralisation de cette loi à des concentrations en « quantité de matière par unité de volume » devrait être immédiate. Beaucoup de candidats ont écrit correctement et directement la loi de Fick généralisée, certains ont écrit quelques lignes pour justifier la généralisation, mais malheureusement beaucoup trop de candidats n'ont pas compris qu'il fallait utiliser la loi de Fick, ou n'ont pas su l'adapter aux conventions de l'énoncé.
- Le sujet demandait beaucoup d'applications numériques. Évidemment, comme l'épreuve se passe sans calculatrice, une tolérance assez grande est accordée sur le résultat obtenu (pour la plupart des questions, une plage d'erreur allant d'un facteur $\times 5$ à $/5$ était acceptée) mais malgré cette tolérance très peu de candidats ont réussi à obtenir des ordres de grandeur corrects aux applications numériques demandées.