

Composition de Physique A, Filière PC (XE)

Le sujet, intitulé *Catapultes* traitait de la mise en mouvement rapide d'objets par la conversion en énergie mécanique d'énergies stockées sous différentes formes par un système.

Il se composait d'un texte de 6 pages incluant cinq figures, dont trois d'entre elles étaient tirées d'articles scientifiques. Des données numériques utiles pour mener à bien les applications numériques sans calculatrice étaient fournies aux candidat(e)s en préambule. Les candidat(e)s devaient s'appuyer sur ces documents pour répondre à une série de 23 questions d'analyse et de compréhension, regroupées en trois parties distinctes et indépendantes.

La première partie du problème, intitulée (*Catapulte capillaire*) consistait à comprendre simplement en raisonnant par analyse dimensionnelle, un phénomène mis en évidence en 2009 dans la littérature scientifique, à savoir l'éjection verticale observée lorsque deux gouttes d'eau formées par condensation sur un substrat hydrophobe fusionnent.

La seconde partie (*Application à l'éjection des spores de champignons*) étudiait l'éjection de spores de champignons, un phénomène physique dont l'origine est capillaire.

La troisième et dernière partie (*Catapultes électromagnétiques*) consistait à étudier le principe d'action de catapultes électromagnétiques, utilisées notamment pour le catapultage de ballons de football.

Les trois parties du sujet, indépendantes les unes des autres, permettaient aux candidat(e)s de traiter le sujet dans son ensemble en abordant par exemple les diverses parties de l'énoncé séparément.

Ce sujet permettait de tester les connaissances des candidats sur une partie importante du programme de physique des classes préparatoires. Il nécessitait une mise en pratique des notions acquises en première et deuxième années des classes préparatoires, en mécanique du point, mécanique des fluides, électromagnétisme, électrocinétique et thermodynamique.

La répartition des notes obtenues par les candidat(e)s français(e)s est résumée dans le tableau ci-dessous:

$0 \leq N < 4$	80	6,26%
$4 \leq N < 8$	376	29,42%
$8 \leq N < 12$	557	43,58%
$12 \leq N < 16$	226	17,68%
$16 \leq N \leq 20$	39	3,05%
Total :	1278	100%
Nombre de candidats :	1278	
Note moyenne :	9,3	
Ecart-type :	3,48	

Remarques générales:

Comme chaque année, il nous semble important de rappeler quelques règles générales, qui bien qu'évidentes restent toujours méconnues par de nombreux(ses) candidat(e)s:

- De nombreuses copies sont rédigées dans un langage très approximatif. Elles présentent de multiples erreurs grammaticales et orthographiques qui nuisent à la lecture et à la compréhension des explications données pour justifier un raisonnement ou un résultat.
- Nous incitons vivement les candidat(e)s à vérifier systématiquement l'homogénéité de leurs résultats. Une telle démarche permet souvent d'éviter des erreurs.
- Un résultat numérique est en toujours considéré faux s'il est présenté sans unités ou avec des unités physiques inadéquates. Les candidat(e)s doivent également veiller à ce que le nombre de décimales significatives données soit en adéquation avec la précision des données numériques fournies par l'énoncé. Les résultats numériques présentés avec une puissance non entière ne sont pas considérés corrects.
- Des résultats obtenus sans aucune justification ne sont pas considérés valides. Il est essentiel de justifier les hypothèses faites et d'invoquer les principes appliqués lors d'un raisonnement. Il convient également de penser à définir de manière très explicite les variables introduites pour mener à bien un calcul. Nous encourageons les candidat(e)s à s'aider de schémas explicatifs.
- Les applications numériques demandées ne doivent pas être négligées. Elles constituent une part importante de l'évaluation et de la note finale obtenue par les candidat(e)s.

Nous insistons sur le fait que l'exercice n'est pas un commentaire de texte et encore moins une paraphrase de celui-ci. Pour chaque question, on attend une réponse argumentée, souvent quantitative et s'appuyant toujours sur un raisonnement physique rigoureux.

Commentaires par question

Partie I: Catapultes capillaires

1 Il convenait tout d'abord de bien définir les états initial et final du système et de calculer par conservation du volume le rayon final de la goutte formée après coalescence. Nous avons été surpris de constater qu'un nombre important de candidat(e)s ne connaissent pas la formule de la surface d'une sphère en fonction de son rayon. Une simple analyse dimensionnelle de la tension de surface et de l'énergie aurait permis à quelques candidat(e)s d'éviter d'écrire un résultat faux.

2 En l'absence de phénomènes dissipatifs, un simple bilan de conservation d'énergie suffisait pour répondre à cette question. L'application numérique devait comporter une décimale, un simple ordre de grandeur ne suffisait pas pour obtenir la totalité des points.

3 Question bien traitée dans l'ensemble. L'immense majorité des candidat(e)s ayant répondu cette question ont directement appliqué le théorème de l'énergie cinétique. Quelques candidats ont répondu à la question en utilisant le principe fondamental de la dynamique et en intégrant les équations du mouvement. L'application numérique devait là aussi comporter une décimale, un simple ordre de grandeur ne suffisait pas pour l'obtention de la totalité des points à la question.

4 Question ne présentant pas de difficultés majeures et bien traitée par les candidat(e)s l'ayant abordée.

5 La majorité des candidat(e)s ont bien su répondre à cette question d'analyse dimensionnelle.

6 Le bilan d'énergie est très rarement écrit correctement. Les calculs permettant d'obtenir le rayon de la goutte d'eau pour laquelle la vitesse d'éjection est maximale ne sont pas souvent menés à leur terme.

Partie II: Application à l'éjection de spores de champignons

7 Un nombre important de candidat(e)s ne prennent pas en compte la goutte d'eau dans le calcul de la surface air/liquide initiale. Beaucoup de candidat(e)s se limitent dans leur raisonnement à l'ordre 0 ; il(elle)s n'évaluent pas la variation du film d'eau entourant la spore après la fusion de celle-ci avec la goutte d'eau. Très peu de candidat(e)s pensent à effectuer un développement limité à l'ordre 1 du rayon total de la spore entourée de son film d'eau. L'application numérique a été très rarement menée correctement à son terme. Curieusement, la plupart des copies évaluent numériquement la variation d'interface air/liquide et non pas l'énergie comme cela était pourtant explicitement demandé par l'énoncé.

8 Peu de candidat(e)s pensent à prendre en compte la masse d'eau dans le bilan de l'énergie cinétique du système. Il convenait de calculer la masse d'eau, puis de justifier que son influence était négligeable pour évaluer la vitesse d'éjection de la spore. Pour être totalement correct, le calcul de la vitesse d'éjection à partir des données expérimentales de la Figure 3 devait être effectué sur le premier intervalle de temps mesuré. Une discussion sur les phénomènes dissipatifs non pris en compte dans l'analyse du problème était attendue pour expliciter les différences entre les résultats théoriques et expérimentaux.

9 La définition du nombre de Reynolds est en général bien connue.

10 Il convenait de justifier l'emploi de la formule de Stokes valable à bas nombre de Reynolds, le facteur 6π étant correct pour une sphère. Trop peu de candidat(e)s écrivent cette formule de manière vectorielle : il(elle)s omettent ainsi de justifier que la force de trainée est opposée à la vitesse de la spore.

11 Une comparaison en ordre de grandeur entre la force de trainée et le poids de la spore était explicitement attendue. Des réponses du type *le poids est négligeable devant la force de trainée parce que la masse de la spore est très petite* n'ont aucun sens. Le calcul de la distance et du temps de freinage nécessitaient d'appliquer le principe fondamental de la dynamique et d'intégrer les équations du mouvement. Bien que cette question ne soit pas difficile, relativement peu de candidat(e)s l'ont menée correctement à terme. Notons que quelques candidat(e)s ayant trouvé à la question 9 un grand nombre de Reynolds et donc une force de trainée en V^2 ont été pénalisés.

Partie III: Catapultes électromagnétiques

12 Si l'expression de l'énergie magnétique est connue du plus grand nombre, nous avons été surpris de constater que beaucoup de candidat(e)s confondent la force électromotrice avec la force de Laplace s'exerçant sur le rail mobile. Un nombre très faible de candidat(e)s ont su démontrer correctement l'expression de la force exercée sur la partie mobile du rail. Les schémas montrant la direction du champ magnétique dans le plan situé à égale distance des deux conducteurs parallèles et

la direction de la force exercée sur la partie mobile du circuit, mais ne comportant pas le sens du courant dans le circuit ont été considérés faux.

13 Question très mal traitée par l'immense majorité des candidat(e)s l'ayant abordée. La plupart se bornent à dire que l'inductance varie linéairement avec x au vu de la figure 5 sans apporter la moindre tentative de justification physique permettant d'expliquer un tel comportement.

14 Une réponse correcte à cette question nécessitait d'utiliser le théorème de l'énergie cinétique ou le principe fondamental de la dynamique, mais il fallait alors intégrer les équations du mouvement. Beaucoup de candidat(e)s n'ont pas su déterminer correctement la composante du poids sur l'axe des x .

15 Question bien traitée par l'ensemble des candidat(es). Notons cependant que peu d'entre eux pensent à discuter l'influence de la masse du rail mobile.

16 Pour répondre correctement à cette question, il convenait d'utiliser la relation liant la vitesse du rail mobile à sa position x et à l'intensité du courant électrique existant dans le circuit, démontrée à la question 14. L'application numérique nécessitait d'utiliser dans le calcul la valeur de l'inductance déterminée pour $x=1\text{ m}$ à partir des données de la figure 5. De nombreux candidat(e)s ont obtenu un résultat numérique faux car il(elle)s n'ont pas remarqué que les valeurs des inductances reportées sur la figure 5 étaient exprimées en micro Henry et non pas en Henry.

17 La plupart des copies obtiennent un résultat numérique faux du fait d'une mauvaise estimation du temps de catapultage ou d'une valeur erronée de l'intensité du courant électrique dans le circuit déterminée à la question précédente. Afin de différencier les réponses des candidat(e)s à cette question, nous avons attribué pour cette question des points pour la l'écriture correcte de la formule $Q_0 = i_0 \tau$ où τ et Q_0 représentent respectivement le temps de catapultage et la charge nécessaire à la production du courant i_0 pendant le temps de catapultage, pour le calcul numérique du temps τ et pour celui de la charge Q_0 .

18 A de très rares exceptions, les candidat(e)s n'ont pas réalisé que la variation temporelle de la fem produite dans le circuit avait deux origines distinctes : le déplacement de la partie mobile du circuit et la variation d'intensité électrique dans le circuit.

19 Une lecture attentive de l'énoncé de cette question aurait permis à de nombreux(x) candidat(e)s d'y répondre correctement en évitant notamment d'écrire l'équation d'un circuit R-L.

20 Nous avons été affligés de constater que de nombreux(x) candidat(e)s ne connaissent pas les lois d'association en série et en parallèle des résistances et des condensateurs.

21 Question peu abordée par les candidat(e)s dans la mesure où elle nécessitait d'avoir préalablement répondu aux questions 19 et 20.

22 Un nombre très restreint de candidat(e)s ayant abordé cette question l'ont traitée correctement. Très souvent, l'énergie dissipée par effet Joule dans le circuit est mal évaluée, les candidat(e)s oubliant d'intégrer la puissance correspondante par le temps de catapultage. L'équation écrite pour le bilan d'énergie est alors fautive et inhomogène.

23 Question abordée par de très rares candidat(e)s et en survol.