

Rapport de Mme Nathalie PALANQUE-DELABROUILLE et M. Laurent SCHOEFFEL, correcteurs.

Le problème propose une étude de l'électricité atmosphérique. La première partie traite de la distribution et de la circulation des ions par beau temps dans l'atmosphère. Un grand nombre d'applications numériques mettent en évidence les variables les plus pertinentes et guident les candidats dans la compréhension des phénomènes physiques décrits par l'énoncé. La deuxième partie étudie les processus conduisant à la formation de champs électriques intenses au sein d'un nuage. La dernière partie apporte alors une conclusion en montrant comment les orages rétablissent l'équilibre électrique de l'atmosphère.

La plupart des candidats ont largement abordé la première partie qui fait essentiellement appel à des notions du cours. En particulier, les deux premières questions ont toujours été traitées correctement. Seule la troisième question de cette **partie I** a troublé quelques candidats. La seconde partie, plus difficile, s'est également révélée plus sélective, essentiellement à partir de la question **II.3**. Beaucoup de copies se sont en effet arrêtées en cours de question **II.2**, à l'exception de quelques réponses partielles dans la **partie III.1**. Ce début de problème à la portée de tous explique le faible pourcentage de candidats ayant obtenu une note inférieure à 5/20 (voir ci-dessous). La **partie III** utilise ensuite des résultats dérivés à la fin de la deuxième partie, en général mal ou peu abordée. Ainsi, les questions de cette dernière partie n'ont pas pu être traitées dans leur ensemble.

La répartition des notes des 1342 candidats français est la suivante :

$0 \leq N < 4$	2%
$4 \leq N < 8$	24%
$8 \leq N < 12$	47%
$12 \leq N < 16$	23%
$16 \leq N < 20$	4%

La moyenne s'établit à 10,1 et l'écart type à 3,1. Parmi ces candidats, deux ont obtenu une note potentiellement éliminatoire (note ≤ 2) et deux une note égale à 20/20.

De manière générale pour cette épreuve, la résolution des différentes questions ne requiert aucun calcul complexe. Les applications numériques sont essentielles pour une bonne compréhension du problème puisqu'elles permettent de juger de l'importance relative des divers processus étudiés et justifient les approximations proposées au cours de l'énoncé. Notons que dans une épreuve de concours, résoudre une question difficile est bien évidemment plus valorisant que de se limiter aux questions de cours. De plus, comme souligné dans les rapports des années précédentes, l'expression du raisonnement, avec clarté, précision et concision, est aussi importante que le résultat brut, fût-il juste. La notation de chaque question y accorde donc une part importante.

Nous revenons dans la suite en détail sur les différentes questions de l'épreuve, en illustrant les remarques précédentes.

Partie I

Cette partie propose une étude de la distribution et de la circulation des ions par beau temps dans l'atmosphère. Comme indiqué précédemment, en restant très proche d'éléments du cours, elle présente peu de difficultés et les candidats ont obtenu en moyenne 57% des points pour cette partie.

1.a) La grande majorité des candidats ont bien répondu à cette question qualitative.

1.b) Question très facile.

1.c) La résolution de l'équation différentielle précédente n'a posé aucun problème.

1.d) Question toujours bien traitée.

1.e) Première question où quelques copies présentent des erreurs. Les applications numériques sont très souvent correctes mais les explications sont parfois incomplètes. En particulier, une quantité (telle la force magnétique ou la force de pesanteur) ne peut être considérée comme négligeable que devant une autre de même nature (ici la force électrique).

1.f) Question très facile.

2.a) Question de cours qui nécessite cependant une justification raisonnable de l'équation donnée dans l'énoncé.

2.b) La réponse est immédiate à partir des équations dérivées en **2.a**. Notons que certains candidats, qui n'ont pas su établir l'équation à laquelle obéit la densité d'anions, ont tiré avantageusement profit de l'énoncé en utilisant le résultat « nkE indépendant de z » afin de poursuivre le problème.

2.c) Question simple bien que quelques candidats se soient égarés dans un faux raisonnement les conduisant au résultat (faux) : E inversement proportionnel à ρ . Ceux qui en plus concluent alors à la proportionnalité entre E et ρ laissent une mauvaise impression aux correcteurs.

2.d) Par homogénéité, presque tous les candidats ont obtenu la solution : félicitations ! Seules quelques rares copies ont su proposer une démonstration bien récompensée. Nous signalons que fort peu de candidats savent qu'une équation différentielle non linéaire ne se résout pas en la somme d'une solution particulière et de la solution de l'équation homogène.

2.e) Question simple.

2.f) Les candidats ayant résolu la question **2.d** n'ont pas rencontré de difficulté. Une partie des points a été attribuée aux candidats montrant une compréhension de la question mais ne disposant pas des applications numériques.

3.a) L'utilisation de la proportionnalité entre E et ρ suffit pour obtenir l'expression

de $E(z)$, ce que la plupart des candidats ont su faire.

3.b) En général, les applications numériques ne posent pas de problème, permettant ainsi la comparaison au graphique. Les correcteurs ont apprécié les commentaires sur les raisons possibles du désaccord à haute altitude.

3.c) À un facteur 2 près dû à la prise en compte des deux espèces (anions et cations), la question a été correctement traitée.

3.d) Question difficile qui ne se dérive pas des précédentes, ce qui a perturbé beaucoup de candidats. Un très faible nombre de copies l'a résolue avec succès.

Partie II

Cette partie propose une étude des différents processus qui entrent en jeu lors de la formation de champs électriques au sein d'un nuage. Elle s'éloigne des calculs classiques abordés en cours et peu de résultats intermédiaires sont donnés dans l'énoncé. Il est donc nécessaire de rester vigilant et de prendre du recul pour comprendre et traiter correctement cette partie. Les candidats ont obtenu en moyenne 32% des points pour celle-ci.

1.a) Beaucoup de copies se sont lancées inutilement dans la résolution complète des équations alors que la vitesse limite se dérive directement sans calcul.

1.b) Les applications numériques sont souvent fausses du fait de la confusion entre la densité de l'air et celle de l'eau, les deux étant pourtant données dans l'énoncé. En effet, la masse de la goutte qui intervient dans les deux régimes doit être calculée à partir de la densité de l'eau alors que la force en régime turbulent, elle, dépend de la densité de l'air. Attention à mener à terme les calculs numériques, en particulier la racine carrée finale dans le calcul de la vitesse en régime turbulent qui est parfois oubliée.

1.c) Une réponse rigoureuse nécessite l'utilisation du nombre de Reynolds. À défaut, beaucoup de candidats ont simplement attribué chacun des régimes en fonction de la taille relative des gouttes et sont par chance tombés sur le bon résultat. Certains commentaires amusants sur les conséquences de gouttes tombant à 120 m/s ont également permis de sélectionner le régime adéquat.

2.a) Question de cours toujours traitée.

2.b) Question en général bien résolue (très proche du cours) mais qui ne nécessite pas les pages de calculs rencontrées dans certaines copies.

2.c) Il suffit de connaître l'expression du flux à travers une surface pour résoudre cette question. Beaucoup trop de copies n'ont pas correctement appliqué cette expression à rayon constant et ont perdu du temps dans des calculs d'intégrales.

2.d) Les candidats ayant correctement établi l'équation d'évolution temporelle de n_0 en ont sans difficulté déduit les expressions de τ_D et n_D .

2.e) C'est à partir de cette question que l'épreuve a posé de grandes difficultés pour la majorité des copies. Beaucoup se sont trompés dans les applications numériques demandées et seul un faible nombre de candidats a su justifier l'hypothèse de ne pas tenir compte de la recombinaison par paires des ions.

2.f) Cette question, pourtant simple, s'est révélée très sélective car les copies ont la plupart du temps proposé une comparaison entre un courant de diffusion particulière et le courant de convection électrique (établi précédemment), oubliant de prendre en compte la charge électrique.

3.a1) Question simple mais pour laquelle de nombreuses réponses fantaisistes ont été données. Peut-être les candidats ont-ils été déroutés par la simplicité de la réponse ?

3.a2) Question de cours ne posant pas de problème à la plupart des candidats.

3.a3) Cette question simple a été généralement bien traitée. Cependant, certaines copies ont oublié de prendre la racine carrée lors de l'application numérique conduisant à une charge très inférieure à la charge de l'électron, ce qui aurait dû les alerter.

3.b1) Etablir l'expression du potentiel d'un champ électrique constant a posé de sérieuses difficultés à beaucoup de candidats. Certainement, l'utilisation des coordonnées sphériques comme indiqué dans l'énoncé y est pour une grande part. Cependant, pour cette question de cours, beaucoup trop de copies ne parviennent pas au résultat.

3.b2) Les candidats ayant résolu la question **3.b1** ont bien traité le début mais n'ont que rarement su déterminer la valeur de n . Le résultat peut être dérivé soit par le développement mathématique de l'équation de Poisson, soit en se rappelant la forme du potentiel dipolaire vu en cours. Trop de réponses fantaisistes ont été données même pour les candidats ayant invoqué le potentiel dipolaire.

3.b3) Question simple. Notons qu'à partir de cette question, les erreurs dans les formules demandées se répercutent dans toute la suite de la **partie II**. À défaut de réponses exactes, nous avons donc récompensé partiellement les démonstrations argumentées, les raisonnements par homogénéité ou les explications qualitatives, d'où l'intérêt de bien présenter les étapes intermédiaires d'un calcul.

3.b4) Cette question difficile est très importante pour la suite de l'épreuve. Seules les copies ayant auparavant dérivé correctement la valeur de n au **3.b2** sont susceptibles de donner une réponse complète. Parmi celles-ci, seules deux ont trouvé le résultat correct. Les correcteurs ont également apprécié les dérivations partielles lorsque les justifications étaient satisfaisantes.

3.b5) Une fois dérivée la dépendance en θ de la charge surfacique, cette question est immédiate. Certaines copies ont su produire cette dépendance correctement sans résoudre complètement la question précédente, leur permettant ainsi de bien représenter cette répartition de charge et d'obtenir ainsi une partie des points.

4.a) La question **4**. propose un mécanisme d'amplification du champ électrique à

l'intérieur du nuage. La résolution de **4.a** nécessite de bien assimiler le processus suggéré par l'énoncé : les charges positives du bas de la goutte sont neutralisées par les anions, les dernières charges positives disparaissant pour $\sigma(\pi) = 0$, cette équation conduisant à la valeur de Q_{\max} . Pour que ce mécanisme ait un intérêt physique, il est également nécessaire que la charge de la goutte ainsi engendrée soit très supérieure à la charge dérivée en **II.3.a3**, ce qui est le cas pour les gouttes de 1 mm. Cette question très difficile a été correctement résolue par deux candidats seulement.

4.b1) Cette question est immédiate une fois résolue la **4.a**. Cependant pour la majeure partie des copies, des explications peu sérieuses ont été données (évaporation de la charge, perte de charge lors de la chute, ...). C'est ainsi l'explication qui a été récompensée et non une réponse brute ne donnant que le signe de la charge de la goutte.

4.b2) Certains candidats ont su proposer une analyse qualitative intéressante, bien que n'ayant pas résolu les deux questions précédentes. Par contre les applications numériques sont souvent erronées en raison d'une mauvaise valeur pour la vitesse des gouttes (question **II.1.b**).

4.b3) L'énoncé donnant la réponse à cette question, le dessin correct a fréquemment été trouvé.

Partie III

Cette partie reprend les résultats obtenus jusque là afin de montrer comment l'équilibre électrique de l'atmosphère est atteint. En particulier, il y est montré le rôle essentiel de la foudre qui recharge la terre négativement, laquelle se déchargerait très rapidement en l'absence d'orages via le courant atmosphérique par beau temps. Pour aborder cette partie, il est nécessaire de disposer des résultats obtenus en II, ce qui a limité considérablement le nombre de copies l'ayant traitée correctement. Certains candidats ont tout de même compris qualitativement les phénomènes physiques décrits dans l'énoncé et ont su exposer des raisonnements corrects. De nombreux candidats ont gagné des points en donnant quelques formules analytiques dans le début de cette partie (nombre de gouttes, potentiel d'une sphère uniformément chargée, relation entre Q_t et Q_{\max}). Les candidats ont obtenu en moyenne 12% des points seulement pour cette partie.

1.a) Beaucoup de copies ont donné la valeur numérique pour N_c (toujours avec des erreurs liées à la confusion entre les densités de l'eau et de l'air). La valeur numérique de la charge de la cellule Q_t , nécessitant de connaître Q_{\max} , n'a pu être calculée que par un très faible nombre de candidats.

1.b) L'expression analytique du potentiel n'a pas posé de difficulté, la valeur numérique n'ayant pratiquement jamais été correcte. Q_{\max} ayant souvent été déterminé à un facteur numérique près, l'ordre de grandeur du potentiel pouvait être correct, menant à l'attribution d'une partie des points.

1.c) Certains candidats ont bien vu que le champ nuage/terre est opposé au champ

par beau temps. Bien que certains aient correctement expliqué pourquoi ce champ est plus intense à proximité du nuage, il est regrettable que de nombreuses copies aient invoqué une plus faible distance aux charges près du nuage que près de la terre pour justifier le résultat !

2.a) Question peu abordée car elle nécessite les valeurs numériques de la **partie II**.

2.b) Cette dernière question est la synthèse du problème. Certaines copies ont compris le rôle de la foudre dans l'établissement de l'équilibre électrique de l'atmosphère et ont su l'expliquer correctement sans disposer de l'application numérique pour Q_t . Ces raisonnements à rebours ont été bien récompensés.

Conclusion

Les éléments de cours sont souvent bien assimilés et les raisonnements simples effectués avec exactitude comme nous l'avons remarqué dans la **partie I**. Les capacités d'analyse des candidats pouvaient s'exprimer lors des **parties II** et **III**, mettant nettement en évidence les meilleures copies. Nous rappelons une fois de plus qu'un raisonnement bien conduit est toujours récompensé même si le résultat final proposé est incomplet ou inexact. Nous apprécions également les commentaires honnêtes et pertinents sur les expressions et applications numériques dérivées par les candidats.