

Rapport sur l'épreuve de physique-chimie

Analyse de documents scientifiques

2018

Présentation générale de l'épreuve

L'objectif de l'épreuve était de confronter deux théories explicatives du caractère glissant de la glace. Dans le cadre de ces deux théories, ces propriétés glissantes seraient dues à l'apparition d'une fine couche d'eau liquide lubrifiante en surface par fusion de la glace. La première théorie est une théorie ancienne et très classique qui suppose que la fusion de la glace est due à l'effet de la pression du corps glissant. La seconde théorie, plus récente, explique la fusion par l'échauffement dû aux frottements exercés sur la glace par le corps glissant. Bien entendu, le sujet ne traitait pas de façon exhaustive ce problème complexe, qui fait encore l'objet aujourd'hui de travaux de recherche.

Conformément à l'organisation générale de l'épreuve d'analyse de documents scientifiques, le sujet comprenait une première partie portant sur des questions classiques en lien avec le thème, une deuxième partie proposant une analyse plus poussée des documents et une troisième partie demandant des candidats un bilan critique et une approche prospective.

La première partie permettait d'obtenir des résultats utiles pour les modélisations de la deuxième partie. C'était notamment le cas de l'étude de l'écoulement de Couette plan (cas d'un cisaillement simple plan), qui faisait appel à la partie de mécanique des fluides du programme et qui aboutissait à l'établissement de la force de frottement subie par une section du plan supérieur en mouvement. Venaient ensuite quelques questions de mécanique du point permettant de se familiariser, dans le cadre d'une situation très simple, avec la notion de coefficient de frottement introduite dans le document 1. Cette première partie se concluait avec quelques considérations sur la pression exercée par un patineur sur la glace et la température de fusion de la glace, à l'aide de données présentées dans les documents. La toute dernière question de cette partie introduisait le premier élément critique de la théorie d'une fusion de la glace sous l'effet de la pression, par la confrontation du diagramme d'état de l'eau (document 3) et d'un témoignage de patineur (document 2).

Cette théorie était à nouveau soumise à la critique en comparant la variation de la température à l'interface glace-corps glissant prédite par la théorie et mesurée lors d'une expérience présentée dans les documents. La théorie de la fusion par frottement faisait ensuite l'objet d'une modélisation plus approfondie faisant appel aux parties de thermodynamique et de mécanique des fluides du programme. L'expression du coefficient de frottement était obtenue en supposant que la totalité de la chaleur produite par les frottements était utilisée pour la fusion de la glace. Cette expression était ensuite identifiée comme un cas limite d'une expression plus générale présentée dans les documents, qui tenait compte de la diffusion dans la glace d'une partie de la chaleur produite. Le cas limite contraire et les conditions de validité des deux expressions simplifiées étaient examinés ainsi que l'accord de ces résultats avec les mesures expérimentales présentées dans le document 5. Cette seconde partie se terminait par une étude de la surface réelle de contact entre la glace et le corps glissant s'appuyant sur plusieurs documents présentés dans le sujet.

La première question de la troisième partie permettait un bilan critique des deux premières parties en présentant les arguments en faveur et en défaveur de chacune des deux théories

abordées, la balance penchant très nettement en faveur de la théorie d'une fusion en surface de la glace sous l'effet des frottements. La dernière question du sujet, plus ouverte et faisant appel à la culture scientifique du candidat, proposait d'indiquer d'autres phénomènes susceptibles d'avoir une influence sur le caractère glissant de la glace.

Commentaires généraux

L'épreuve a mis en évidence une très grande hétérogénéité dans les compétences des candidats et dans le volume de travail en physique consenti pendant la préparation. Comme les années précédentes, le jury a été impressionné par la qualité du travail fourni par les meilleurs candidats. Ceux-ci ont montré une remarquable maîtrise des notions du programme et un éventail très intéressant de compétences. Ils ont su répondre aux questions avec clarté, précision et concision.

Malheureusement, la prestation d'un très grand nombre de candidats révèle des lacunes très importantes et des compétences particulièrement faibles à tous les niveaux, y compris sur les aspects les plus fondamentaux du programme de physique. Ces candidats manquent de rigueur et de capacité d'analyse et de rédaction. Ils se retrouvent en difficulté dès qu'il s'agit de démontrer, de justifier ou d'argumenter et n'ont clairement pas fourni, pendant les années de préparation, le travail minimal attendu en physique. Le manque de compétence entraîne des difficultés de compréhension, qui se traduisent notamment par des explications embrouillées et parfois contradictoires ainsi que par des paraphrases ou de simples descriptions des documents au lieu de véritables analyses.

La moyenne générale de l'épreuve est seulement de 9/20. Cette valeur, plus faible que l'année précédente, traduit cette différence considérable de compétences entre les candidats brillants (la meilleure note est de 20/20) et le grand nombre de candidats qui ne maîtrisent pas les capacités exigibles du programme.

Commentaires détaillés

Certains types d'erreur se retrouvent dans plusieurs questions différentes et sont signalés chaque année. On constate toujours des problèmes d'homogénéité et de confusions entre les scalaires et les vecteurs ou entre des travaux élémentaires et des travaux pour un déplacement fini. Des erreurs grossières, comme une expression négative pour une norme ou une augmentation de la vitesse sous l'effet des frottements, dénotent un manque d'esprit critique.

Partie 1 : Questions sur des notions du programme en lien avec le thème

1.1) Cette partie de mécanique des fluides a révélé d'importantes lacunes en mécanique des fluides chez une majorité de candidats. La première question était particulièrement simple. Pourtant, plus de la moitié des candidats n'ont pas obtenu l'expression correcte ou n'ont pas traité la question, ce qui semble indiquer une impasse en mécanique des fluides chez ces candidats. Plus des trois quarts des candidats n'ont pas su répondre aux deux questions suivantes, qui faisaient appel à des compétences exigibles du programme.

1.2) Cette partie mettait en œuvre le programme de mécanique du point dans une situation simple. Là encore, il a été constaté de graves lacunes sur les notions et sur les capacités exigibles. Trop de candidats rangent la vitesse parmi les forces ou ne parviennent pas à appliquer correctement la deuxième loi de Newton sur un système simple. Le théorème de l'énergie cinétique est très largement méconnu alors que démontrer et utiliser le théorème de l'énergie cinétique constitue une capacité exigible du programme.

1.3) a) On attendait une évaluation simple de la pression exercée par un patineur sur la glace par l'intermédiaire d'un patin dont la géométrie était donnée dans les documents et l'exploitation de la courbe de fusion de la glace donnée, elle aussi, dans les documents. Un quart des candidats n'a obtenu aucun point à cette question.

1.3) b) Si beaucoup de candidats ont su expliquer pourquoi la rugosité entraînait une diminution de la surface réelle de contact, beaucoup moins ont su exploiter la courbe de fusion des documents pour évaluer le pourcentage de surface en contact réel pour que la pression soit responsable d'une fusion de la glace en surface.

1.3) c) Une majorité de candidats a su interpréter le diagramme d'état de l'eau et repérer le point triple et répondre correctement à cette question.

1.3) d) Plus du tiers des candidats ont repéré la contradiction entre l'impossibilité d'obtenir de l'eau liquide stable en-dessous de -22°C et le témoignage d'Alain Haché (auteur d'un livre sur la physique du hockey sur glace), si on admet que le caractère glissant de la glace est dû à une fusion en surface sous l'effet de la pression.

Partie 2 : Analyse des documents

2.1) Les deux premières questions, qui faisaient appel à des notions de thermodynamique du changement d'état d'un corps pur, ont été traitées avec succès par environ la moitié des candidats. La question c), en revanche, a posé beaucoup plus de problèmes. Si une forte minorité de candidats a pu indiquer que la température de surface devrait diminuer si la fusion en surface était attribuable à la pression, seul un petit nombre a su s'appuyer sur le document 7 pour préciser que l'expérience infirmait cet effet.

2.2) Les lacunes en mécanique des fluides constatées à la question 1.1) se sont répercutées ici. Une minorité seulement a pu traiter la question a). Les justifications et commentaires demandés à la question b) ont été nettement mieux réussis.

2.3) Les candidats se sont montrés nettement plus à l'aise en thermodynamique qu'en mécanique. Environ une moitié d'entre eux a réussi les deux premières questions. Faisant encore appel à un résultat obtenu à la question 1.1), les questions c) et d) se sont révélées nettement plus sélectives.

2.4) a) b) La loi obtenue à la question 2.3)d) était donnée dans l'énoncé. Elle devait être comparée à une loi plus générale présentée dans les documents. Pourtant une majorité de candidats n'a pas su montrer que la loi du 2.3)d) était un cas limite de la loi du document 8 et très peu de candidats ont su donner la condition de validité de cette loi limite. On retrouve la même difficulté pour dégager l'autre loi limite à partir de la loi générale. Les deux tiers des candidats n'ont pas su identifier la conduction thermique dans la glace comme étant le phénomène physique principal négligé dans la partie 2.3. La présence dans la loi générale de la conductivité thermique de la glace, absente dans la loi limite, aurait pu les mettre sur la voie...

2.4) c) d) Ces deux questions se sont révélées les plus difficiles de tout le sujet. La cause est probablement attribuable aux échelles logarithmiques utilisées dans les graphes du document 5 qui ont posé problème à de très nombreux candidats. Les pentes de $+1/2$ et de $-1/2$ n'ont pas été souvent reliées aux dépendances en \sqrt{v} et en $1/\sqrt{v}$.

2.4) e) Cette question a été relativement bien réussie pour une question de fin d'épreuve.

2.4) f) Moins de la moitié des candidats ayant traité cette question n'a obtenu aucun résultat correct. Seuls les meilleurs candidats ont su extraire les informations des documents pour obtenir toutes les estimations numériques demandées.

2.4) g) Un très petit nombre de candidats a su expliquer que la différence entre les deux valeurs numériques était due au fait que dans un cas la pression à l'interface était supposée égale à la pression de fusion alors que dans l'autre cas elle était supposée égale à la dureté, dont la valeur est nettement plus faible à une même température.

2.4) h) Cette question, nécessitant du recul et de bonnes capacités d'analyse, a été réussie par les meilleurs candidats.

Partie 3 : Approche critique et prospective sur le thème

3.1) Cette question permettait de faire un bilan critique sur les deux théories abordées dans le sujet. Une question de ce type, arrivant en toute fin d'épreuve et nécessitant d'avoir traité de nombreuses questions, n'est abordée que par une minorité de candidats et réussie, même partiellement, par encore moins de candidats. Les meilleurs candidats ont cependant pu dégager au moins une critique pertinente, généralement à propos de la variation de la température à l'interface ou du caractère glissant de la glace au-dessous de -22°C , beaucoup plus rarement à propos de la variation du coefficient de frottement avec la vitesse de glissement.

3.2) Là encore, seuls les meilleurs candidats ont avancé des propositions pertinentes. La question était ouverte et il n'était bien sûr pas exigé des candidats une liste exhaustive. Il était possible de suggérer l'effet de la nature des corps en contact (caractère hydrophile ou hydrophobe notamment), de la tension superficielle (capillarité), de la rugosité (polissage), de la déformation de la glace par le corps glissant (rayures par exemple), de l'humidité de l'air, de la présence d'impuretés dans la glace, etc. La liste précédente n'est évidemment pas fermée et toute proposition cohérente était récompensée.