

RAPPORT SUR L'ÉPREUVE DE PHYSIQUE C (Ulm, 6h, Coefficient 7)

MEMBRES DU JURY : M. Berhanu, A. Bres, F. Levrier,

L'épreuve de physique C, session 2017, portait sur la physique des ondes de surface à l'interface entre un liquide et de l'air.

Le sujet était divisé en 3 parties indépendantes, faisant appel à différentes parties du programme, principalement, la mécanique des fluides, la physique des ondes et l'électromagnétisme.

Dans une première partie, sur des systèmes confinés, on décrit sur deux exemples, les oscillations libres du fluide, pouvant s'interpréter en tant qu'onde de surface stationnaire. Dans le premier exemple, le tube en U, la gravité est la force de rappel, ce qui permet d'introduire les ondes de surface dite de gravité, comme l'avait fait historiquement Newton. Bien que ces questions soient classiques, les réponses ont été assez hétérogènes, du fait de la rigueur nécessaire pour bien définir le système étudié et ensuite bien lire le texte proposé. Dans le second exemple, on détermine les fréquences propres d'oscillation d'une goutte, la force de rappel étant alors la tension de surface. Cette sous-partie présentait des questions plus techniques, mais qui n'ont pas posé de difficultés aux meilleurs candidats.

Dans une seconde partie, on démontre d'abord les propriétés générales de propagation des ondes de surface de gravité-capillarité, sur une étendue d'eau infinie, dans le cas dit d'eau profonde (longueur d'onde petite devant la profondeur), permettant d'établir la relation de dispersion des vagues. L'enchaînement des questions était assez guidé, néanmoins il était nécessaire de comprendre comment se traduit mathématiquement la notion de surface libre. Ensuite, dans le cas contraire dit d'eau peu profonde, on montre comment des variations de la bathymétrie agissent sur la direction de propagation des vagues, par un mécanisme analogue à la réfraction des ondes lumineuses.

Enfin dans une troisième partie, on étudie comment l'interaction non-linéaire de deux ondes mères donne naissance à une onde fille de fréquence somme de celles des ondes mères. On commence par un exemple de ce phénomène en optique non-linéaire, qui permet de mettre en évidence le concept d'interaction résonante. Si l'établissement de l'équation de propagation à partir des équations de Maxwell, a été bien traité, le développement du champ d'ondes comme une somme s'est avéré presque toujours insurmontable. La notion d'interaction résonante entre ondes est ensuite appliquée dans une partie plus qualitative aux ondes de surface de gravité-capillarité. Cette dernière sous partie a été beaucoup moins traitée par les candidats. Néanmoins toutes les questions ont été abordées au moins une fois.

L'épreuve, abordable dans son ensemble, comporte des questions permettant de tester la maîtrise des outils physiques et mathématiques du programme et d'autres permettant d'évaluer le sens physique du candidat. De manière générale, les candidats devraient ne pas négliger les applications numériques en veillant à donner explicitement la quantité demandée. Donner des ordres de grandeur manifestement faux par rapport à l'expérience commune devrait inciter les candidats à vérifier leurs calculs. Les tracés de graphiques se sont avérés très sélectifs. Il est important d'être capable de tracer l'allure d'une fonction, avec les bons comportements

asymptotiques ou conditions aux limites, sans faire l'étude complète de la fonction. Les meilleures copies ont traité de manière satisfaisante une grande partie de l'épreuve, en comprenant les concepts nouveaux introduits.

La moyenne de l'épreuve est de 9,66/20, avec un écart type de 3,81 (pour 390 copies rendues)

Commentaires spécifiques :

Q4. Le résultat stipulant que l'énergie potentielle d'un solide homogène est l'énergie potentielle du centre de gravité affecté de toute la masse n'est pas évident. Il faut soit faire le calcul de l'intégrale correspondante, soit énoncer que le fluide est homogène, que le champ de pesanteur est uniforme et donner la position du centre de gravité. Idem pour Q12.

Q6. Il faut donner explicitement la valeur de la période en secondes. La pulsation ou la fréquence n'est pas acceptée.

Q11 : Contrairement à ce que semble penser une partie des candidats, la tension superficielle n'est pas une force radiale, mais tangente à l'interface entre deux milieux. Ce n'est donc pas là qu'il faut chercher l'origine de la sphéricité des gouttes.

Q19 : Assez peu de candidats trouvent que la vitesse de l'écoulement à la position de l'interface doit égaler la variation temporelle de la position de l'interface.

Q22. L'application du théorème de Green-Ostrogradsky requiert de définir proprement une surface fermée, et de justifier la nullité du flux sur certains domaines de cette surface.

Q24. Attention aux ordres de grandeurs. Des fréquences d'oscillation à plusieurs MHz voire GHz pour des gouttes d'eau paraissent peu crédibles. Par ailleurs, lors de l'application d'une formule pour $n=3$ et $n=7$, il convient de s'interroger sur la présence d'un facteur un million entre les deux résultats.

Q32 et Q33. Une énergie volumique ne peut correspondre à une expression multipliée par $dx dy dz$

Q38. De nombreux candidats ont judicieusement fait référence à la constante de Planck réduite. Néanmoins l'énoncé était ici inexact, car les énergies introduites dans le cas des vagues, sont surfaciques.

Q42. Quelques candidats connaissent la notion de déferlement, ce qui montre un intérêt scientifique en dehors du cadre du programme. Néanmoins on est plus étonné qu'une personne ayant vu des vagues arrivant sur une plage écrive que les vagues sont réfléchies.

Q63. Le bruit à 50 Hz provient en général du secteur électrique (courant alternatif à la fréquence de 50 Hz), alimentant ici l'appareil de mesure.