

# Physique 1

## Présentation du sujet

L'épreuve porte sur l'étude de la physique du golf, abordée sous trois angles différents : une étude mécanique du swing, une étude du vol de la balle et enfin une étude des vibrations de la tête du club. Chacune de ces études fait l'objet d'une partie indépendante des autres.

L'étude du swing évaluait de nombreuses compétences en mécanique du solide. L'objectif de cette partie était d'obtenir une évaluation de la vitesse de la tête du club de golf lors de l'impact avec la balle.

L'étude du vol de la balle s'appuyait sur un modèle simple d'écoulement d'un fluide parfait autour de la balle, après qu'elle ait été mise en rotation lors de la frappe. Le but de cette partie était d'évaluer numériquement la force de portance ainsi générée.

L'étude des vibrations repose sur un interféromètre de type Michelson, complété par des cubes séparateurs de polarisation, permettant d'accéder au sens de déplacement d'un point de la surface du club lorsque ce dernier vibre.

## Analyse globale des résultats et comportement des candidats

Le sujet est de longueur adaptée : des candidats ont traité la quasitotalité des questions et nombreux sont ceux qui ont très largement abordé les différentes parties. La difficulté est tout à fait raisonnable et les candidats armés d'une bonne connaissance du cours, d'une bonne maîtrise des méthodes habituelles, ont pu valoriser leurs qualités, sous réserve d'une rédaction satisfaisante.

L'épreuve étant tout à fait accessible, le jury a noté une diminution des tentatives de grappillage, rendu de fait moins rentable. Les parties sont généralement abordées linéairement.

Pour la partie I, la sous-partie C a souvent joué le rôle de point d'arrêt dans la progression, l'approche énergétique des systèmes se révélant sélective. Cette partie a cependant été traitée entièrement et de manière satisfaisante par quelques candidats.

Pour la partie II, une rupture a le plus souvent eu lieu à la question II.G. Cette partie a également été traitée entièrement et de manière satisfaisante par quelques candidats.

Enfin la partie III, plus originale, et s'appuyant largement sur la polarisation, a été globalement moins bien traitée, et jamais dans son intégralité. Le fait que cette partie du programme soit enseignée sous forme de TPCours, et que cette partie était placée en dernier explique sans doute cela.

La présentation des copies est globalement satisfaisante. Compte tenu de la relative facilité du sujet, le jury a été particulièrement attentif aux justifications données et à la qualité de la rédaction.

## Commentaires sur les réponses

### I Le swing

**I.A.1** Très curieusement, cette première question a été mal traitée. Le jury attendait des candidats qu'ils justifient le protocole proposé en s'appuyant explicitement sur leurs connaissances en mécanique du solide. L'argument (faux) suivant a été très souvent rencontré : il y a équilibre lorsque les masses à gauche et à droite de l'index du joueur sont égales !

**I.A.2.a** Beaucoup de candidats connaissent la forme de l'équation différentielle recherchée, mais la rédaction n'est guère convaincante : on attend que le système soit défini, qu'un bilan correct des actions mécaniques soit dressé (il n'y a pas de « tension » du club), que le point d'application (ou l'axe de projection) du théorème soit précisé (à cet égard « l'axe  $\vec{u}_z$  » est une indication insuffisante). Très peu pensent à justifier que le point ou l'axe sont fixes. Le calcul du moment du poids ne pose pas de problème. En revanche l'action de l'axe est très souvent oubliée et quand elle ne l'est pas, son caractère de pivot idéal est rarement exploité correctement (seul son moment par rapport à l'axe  $Az$  est nul).

**I.A.2.b** Le jury attendait une justification, même sommaire, de la formule donnant la période des petites oscillations, à partir de l'équation différentielle. Seul un candidat sur deux obtient une valeur numérique correcte.

**I.B.1-2** Questions très faciles, traitées correctement par trois candidats sur quatre.

**I.C.1** Peu de problèmes de projection pour cette question facile (près de 90% de bonnes réponses).

**I.C.2** Trop peu de candidats justifient les calculs posés, ce qui a pour conséquence fréquente une erreur dans l'expression de l'énergie cinétique du club, en rotation autour d'un axe de direction fixe. Ce dernier calcul impliquait l'utilisation du théorème de König correspondant et le choix du bon moment d'inertie ! Seuls les candidats ayant fait l'effort, au moins pour eux-mêmes, d'explicitier ceci en détail, avaient une chance d'arriver au bout du calcul : seul un candidat sur cinq a trouvé les expressions justes des constantes  $C$ ,  $D$  et  $E$ .

**I.C.3** Aucun commentaire particulier.

**I.D.1** Un candidat sur trois justifie correctement le signe de  $\Gamma_b$  (évoquer l'aspect « moteur » n'était à cet égard pas suffisant). 40% de bonnes réponses pour l'équation différentielle attendue, que l'on pouvait obtenir facilement par application du théorème du moment cinétique en projection sur l'axe  $Oz$ .

**I.D.2.a** Aucune difficulté pour cette question (70% de bonnes réponses).

**I.D.2.b** Le calcul du moment résultant par rapport à l'axe  $G_{cz}$  de l'action des bras sur le club fait très souvent l'objet d'une faute de signe, moins souvent due au calcul lui-même, qu'à une formule de départ fautive ! Le jury attendait en outre une application du théorème du moment cinétique barycentrique.

**I.D.3** Pas de difficulté particulière pour les candidats ayant traité correctement les questions antérieures. Il fallait cependant exploiter correctement les signes des différents termes pour justifier l'existence de l'instant  $t_0$ . L'application numérique n'a donné lieu qu'à 9% de bonnes réponses.

**I.D.4.a** Il fallait utiliser des arguments différents pour chacune des phases : le système {bras et club} constitue un solide unique de 0 à  $t_0$ , puis, de  $t_0$  à  $\tau$ , la liaison est idéale.

**I.D.4.b** Le travail du couple a été très mal traité, le résultat étant très souvent inhomogène (7% de bonnes réponses).

**I.D.4.c** Il fallait travailler avec soin pour obtenir l'approximation attendue : il était indispensable de bien utiliser (explicitement) l'hypothèse sur les constantes  $C$ ,  $D$  et  $E$  pour ne garder que le terme prépondérant dans l'expression de l'énergie cinétique du système au moment de l'impact.

**I.D.4.d** Seulement 2% de bonnes réponses pour ce qui constituait l'objectif de cette partie.

## II Le vol de la balle

**II.A** Le jury attendait bien sûr une justification des réponses proposées. La géométrie cylindrique du solide n'est en soit pas suffisante (certains candidats l'exploitant d'ailleurs pour justifier que le champ de vitesse ne dépendait pas de  $\theta$  !).

**II.B** La condition très loin du cylindre a été souvent correctement évoquée (70% de bonnes réponses). En revanche le caractère parfait du fluide ne permettait pas d'affirmer qu'en  $r = R$ , la vitesse du fluide devait être égale à celle du cylindre, mais seulement que la vitesse du fluide était tangentielle (40% de bonnes réponses).

**II.C** On trouve parfois la justification de l'existence du potentiel des vitesses à partir de l'incompressibilité du fluide ou de la nullité de la divergence du champ des vitesses (80% de bonnes réponses cependant) !

**II.D** Si le calcul de  $v_r$  a été généralement bien fait (90% de bonnes réponses), celui de  $v_\theta$  l'a été nettement moins (60% de bonnes réponses) : faute d'homogénéité (oubli ou mauvais report du facteur  $1/r$ ), voire apparition de termes en  $d\theta/dt$  dans ce calcul de dérivation purement spatiale !

**II.E** Question sans difficulté pour les candidats ayant bien traité les questions précédentes. Pour les autres c'était en général l'occasion de s'apercevoir d'incohérences flagrantes, ce qui ne fut cependant pas le cas.

**II.F** Le jury attendait que soit explicités, d'une part, toutes les hypothèses nécessaires à l'application du théorème de Bernoulli, et, d'autre part, les points (ou la ligne de champ) d'application.

**II.G** Question assez mal traitée : les schémas et les arguments sont faux ou beaucoup trop vagues pour être convaincants.

**II.H** Seuls les candidats ayant bien compris les symétries mises en jeu dans la question précédente ont pu répondre correctement à cette question.

**II.I.1** On ne demandait pas seulement de préciser le sens et de la direction de la force ; il fallait également les commenter.

**II.I.2** À partir de la masse de la balle, différentes grandeurs pouvaient être calculées (poids, accélération due à la portance, ...) : toutes montraient l'importance de la force de portance pour le vol de la balle et expliquaient l'importante portée des coups dans la pratique du golf. Certains candidats ont cependant commenté le fait que la portance et le poids de la balle soient du même ordre de grandeur en expliquant que l'hypothèse consistant à négliger la pesanteur dans l'étude de l'écoulement était infondée, confondant ainsi l'action de la gravité sur la balle et sur l'air en écoulement !

**II.I.3** Le jury attendait bien entendu des commentaires relatifs à la trajectoire de la balle et non à la santé du joueur de golf...

**II.I.4** La viscosité de l'air a été correctement évoquée par un candidat sur deux.

### **III Étude des vibrations de la tête de club**

**III.A.1** Il fallait préciser la position relative des deux miroirs ou être très précis quant à la différence de marche évoquée pour définir correctement le contact optique, ce qui ne fut fait que par 55% des candidats.

**III.B.2** Le jury n'attendait pas une démonstration de la formule de Fresnel des interférences à deux ondes, mais des justifications simples sur l'égalité des amplitudes des deux voies, l'expression de la différence de marche (certains candidats proposent  $\delta = b$ , ou n'ont pas pris correctement en compte le fait que le dispositif était éclairé par une onde plane).

**III.A.3** La parité de la fonction cos a été correctement évoquée par 40% des candidats pour justifier que le dispositif simple ne permettait pas d'accéder au sens de déplacement de la surface étudiée.

**III.B.1** Il fallait justifier que la polarisation était rectiligne, et ne pas se contenter de l'affirmer.

**III.B.2** Pour utiliser la relation de structure ou les expressions des opérateurs vectoriels en notation complexe, il fallait évoquer le fait que l'on avait affaire à une onde plane progressive. Pour obtenir le champ magnétique, on pouvait également repartir des équations de Maxwell, mais c'était une démarche plus longue et plus risquée, en particulier pour les signes. Le calcul de la puissance transportée a été généralement bien mené par ceux qui l'ont effectué.

**III.C.1** La loi de Malus est évoquée par 36% des candidats.

**III.C.2** On pouvait évoquer la conservation de l'énergie (ce qui était plus rapide) ou faire à nouveau le calcul.

**III.D.1-2** Questions sans difficulté.

**III.D.3** 46% des candidats évoquent bien une polarisation elliptique, mais rares sont les candidats précisant les axes ou le fait que le sens de parcours de l'ellipse dépend de  $\beta$ .

**III.E** Cette question, très proche du cours, a été très mal traitée. La démarche proposée n'a pas été suivie ou pas comprise. Si la relation de passage est évoquée, elle est généralement mal utilisée (mauvaise justification de l'absence de charge surfacique, confusion entre onde résultante et onde réfléchie, ...)

**III.F** L'effet de symétrisation de la polarisation par le dispositif n'a été compris que par 10% des candidats.

**III.G** Question qui demandait un réel investissement dans la compréhension de la description du dispositif.

**III.H** 18% des candidats voient bien que les polarisations en sortie sont circulaires, mais seuls 2% comprennent ou précisent qu'elles ont des sens opposés.

**III.I** Question simple mais peu abordée.

**III.J** Il fallait bien analyser ce qu'il advenait de l'onde sonde et de l'onde de référence à travers le dispositif pour justifier correctement les expressions proposées.

**III.K.1** Il fallait préciser que les fréquences concernées faisaient partie du domaine audible.

**III.K.2** Rares sont les candidats qui ont correctement expliqué que si la tête du club n'était pas frappée correctement, des modes propres différents sont excités (ou excités différemment), ce qui se traduisait par un son produit inhabituel.

## Conclusions

Ce sujet, abordable tant par sa longueur que par sa difficulté, utilisait des points importants du programme de physique des classes préparatoires, au sein d'une unité thématique : la physique du golf. Il a permis aux candidats qui connaissaient les résultats du cours, qui savaient les appliquer et qui rédigeaient correctement, d'exprimer toutes leurs qualités et de valoriser leur investissement dans l'étude de la physique.

Le jury voudrait cette année insister sur la nécessité de justifier, de manière concise cependant, les résultats utilisés, les démarches suivies. Ceci permettra aux candidats de bien se faire comprendre des correcteurs d'une part, et d'autre part se s'assurer que leurs raisonnements sont solides et étayés.

Par ailleurs, quand des commentaires sont attendus, le jury attend autre chose qu'une simple paraphrase de divers éléments pouvant se trouver dans l'énoncé. Quand la question est posée, c'est que généralement un point de physique important doit être évoqué.