



Rapport de concours du 8 mai 2015

Epreuve de PHYSIQUE – *Bac S*

version longue

L'intégralité du sujet et de ce rapport de concours sont téléchargeables gratuitement sur www.concoursavenir.fr - (rubrique « épreuves »)

Présentation générale concernant l'ensemble des épreuves du Concours Avenir 2015 :

Avec plus de 6 500 candidats lors de l'édition 2014, le Concours Avenir se positionne comme **le premier concours commun permettant l'accès aux écoles d'ingénieurs postbac privées** (en termes d'attractivité / nombre de candidats) !

Il regroupe 6 Grandes Ecoles d'Ingénieurs (réparties sur 10 campus), toutes habilitées par le CTI et régulièrement citées parmi les meilleures écoles d'ingénieurs postbac françaises (l'ECE, l'EIGSI, l'EISTI, l'EPF, l'ESILV et l'ESTACA).

L'ensemble des épreuves de ce concours se déroule sous la forme de Q.C.M.

L'efficacité et la notoriété croissante de ces questionnaires numérisés sont principalement dues à leur validation par rapport à des épreuves classiques sur des populations identiques, notamment grâce à deux qualités spécifiques :

- Le "correcteur" est identique pour tous les candidats, le barème est donc appliqué sans interprétation et ne fluctue pas au cours du temps. Les résultats obtenus ne nécessitent donc aucune péréquation. De plus, il est tout à fait possible de tester plusieurs barèmes sur une même épreuve (ou partie d'épreuve).
- Pour les enseignants, l'examen statistique de grandes populations permet de tirer des renseignements importants sur l'assimilation des programmes, et alimente la réflexion sur la pratique pédagogique au quotidien. C'est dans cette optique que nous vous proposons ce rapport de **concours 2015**.

On remarque que le nombre moyen de réponses fausses est élevé et probablement associé au fait que les candidats ne sont pas habitués au système de QCM dans lequel **les réponses fausses pénalisent par le retrait d'1 point. Les candidats manquent parfois de prudence dans leur stratégie hasardeuse de réponse.**

Statistiques générales 2015 (toutes épreuves confondues) :

	Maths	CER	Phy	Anglais
Note moyenne (sur 20)	4,91	8,27	6,98	5,42
Ecart-type (sur 20)	2,82	2,62	3,24	3,45
Note min (sur 20)	-2,52	-0,15	-1,48	-2,67
Note max (sur 20)	17,04	16,59	20,00	19,41
Nb moyen de questions traitées	32	39	34	36
Nb max de questions traitées	60	45	60	45
Nb min de questions traitées	3	13	0	6
Nb moyen de bonnes réponses	16	24	20	18
Nb moyen de mauvaises réponses	16	15	13	18

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX CONCERNANT L'ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Le sujet de Physique couvre l'ensemble du programme de la classe de Terminale et fait parfois appel à des notions traitées en Seconde ou en Première S et réutilisées en terminale S.

Le sujet ainsi que sa durée sont adaptés à des candidats ayant suivi une filière S au lycée.

Il comporte sept exercices qui s'appuient sur un socle concret et sont davantage conçus comme des problèmes découpés en questions élémentaires, que comme des exercices d'application purement scolaires. Cette ambition rend les énoncés assez longs et peut déconcerter certains candidats.

Certaines questions simples et classiques ont été très réussies alors que d'autres, maquillées derrière une formulation inattendue, cachées en fin d'exercice ou en fin de sujet, ont été boudées par les candidats voire très mal traitées.

Les questions les moins traitées (taux d'abstention supérieur à 60%) sont les n° 19(77%), 20(86%), 24(65%), 26(84%), 27(93%), 28(86%), 30(66%), 37(63%), 38(85%), 43(64%), 48(68%), 49(84%), 50(73%), 52(75%), 57(80%), 59(92%) et 60(79%).

Les questions bien traitées (pourcentage de bonnes réponses supérieur à 70% parmi ceux qui ont répondu) dont le taux d'abstention est supérieur à 37% sont les n° 35(73%), 37(77%), 40(78%) et 57(74%).

Les questions les moins bien traitées (pourcentage de bonnes réponses inférieur à 25% parmi ceux qui ont répondu) sont les n° 18(19%), 36(19%), 48(21%), 55(23%) et 60(29%).

Les candidats ont rencontré en général des difficultés sur les questions :

- nécessitant un raisonnement en deux étapes ou un calcul intermédiaire

- portant sur les notions de :

quantité de mouvement, sa conservation et ses relations

lois de Kepler

relativité du temps et universalité de la vitesse de la lumière dans le vide

échanges de chaleur

numérisation, transmission de l'information

- utilisant l'analyse dimensionnelle, qui ne devrait pas être une notion bloquante mais au contraire, un outil simple permettant de comprendre une grandeur à travers son unité, de vérifier un résultat ou une formule, de détecter instantanément des expressions impossibles.

Les questions sur les ondes et les bases de la mécanique classique ont, dans l'ensemble, été très bien traitées.

Rappel : les candidats ne doivent répondre qu'à 45 questions sur les 60 proposées.

Chaque réponse exacte incrémente le score du candidat de 3 points, tandis que les mauvaises réponses entraînent le retrait d'1 point.

L'épreuve a conduit cette année à une moyenne générale de 6,98 avec un écart-type de 3,24.

La note minimale étant -1,48 et la note maximale étant 20.

Exercice 1 – questions 1 à 10

Cet exercice aborde différents aspects d'une technique d'imagerie médicale : l'échographie, prétexte à l'étude des ondes, leur propagation et leur diffraction.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 62 %.

Taux moyen d'abstention : 19 %.

Exercice 2 – questions 11 à 20

Cet exercice traite de mécanique ; il aborde d'abord les propriétés de la révolution d'un satellite artificiel autour de la Terre, puis des considérations de dynamique à travers la variation de la quantité de mouvement au cours de la mise en orbite.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 54 %.

Taux moyen d'abstention : 39 %.

Exercice 3 – questions 21 à 30

Cet exercice étudie la numérisation d'un signal audio et vidéo provenant d'une vidéoconférence, sa propagation, son atténuation ainsi que l'aspect énergétique d'une onde sonore.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 55 %.

Taux moyen d'abstention : 58 %.

Exercice 4 – questions 31 à 38

Cet exercice s'intéresse à l'isolation thermique d'un congélateur. Un bilan des échanges thermiques permet de retrouver la consommation moyenne d'électricité puis de prévoir le comportement du système en cas de coupure de courant.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 57 %.

Taux moyen d'abstention : 49 %.

Exercice 5 – questions 39 à 43

Cet exercice un peu plus abstrait aborde un aspect de la mécanique quantique à travers la comparaison de deux protons libres.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 58 %.

Taux moyen d'abstention : 49 %.

Exercice 6 – questions 44 à 50

Cet exercice utilise le neutrino, une particule étudiée dans les détecteurs et utilisée depuis peu comme méthode d'observation astronomique, pour aborder la mécanique relativiste.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 55 %.

Taux moyen d'abstention : 49 %.

Exercice 7 – questions 51 à 60

Cet exercice aborde les oscillations libres d'un pendule simple enfermé dans un wagon, étudié dans un référentiel galiléen.

Pourcentage moyen de bonnes réponses parmi ceux qui ont répondu : 50 %.

Taux moyen d'abstention : 51 %.

Exercice 1

L'échographie est une technique d'imagerie médicale en coupe : des ultrasons sont envoyés dans l'organisme par une sonde appliquée contre la peau. En changeant de milieu de propagation (en entrant ou en sortant d'un organe par exemple), une partie de l'onde est réfléchiée et retourne vers la sonde.

1) Les ultrasons sont :

- A) des ondes mécaniques progressives
- B) des ondes mécaniques stationnaires
- C) des ondes électromagnétiques progressives
- D) des ondes électromagnétiques stationnaires

Bonne réponse : A

Réponses : A : 72 % ; B : 2 % ; C : 19 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 6 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 77 %

Une question d'ouverture basique sur la nature des ondes, pas si bien traitée dans l'ensemble du fait du contexte. Beaucoup de candidats confondent les ultrasons (des sons de fréquence élevée) et d'autres rayonnements utilisés en médecine (rayons X).

2) Les ultrasons :

- A) se propagent plus rapidement dans les gaz que dans les liquides
- B) se propagent en ligne droite, sauf quand ils sont réfléchis
- C) se propagent à la même vitesse que le son (*en considérant que dans l'organisme, les sons graves et les sons aigus ont la même vitesse*)
- D) sont constamment déviés, la diffraction étant dans ce cas plus importante que pour les sons

Bonne réponse : C

Réponses : A : 9 % ; B : 17 % ; C : 35,5 % ; D : 10,5 %

Pas de réponse : 28 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 50 %

Une question assez difficile en apparence sur la propagation des ultrasons. Pourtant, l'énoncé explicite du choix C permettait au lecteur attentif d'en déduire la réponse.

3) La diffraction limite la taille des plus petits détails qu'il est possible d'observer avec cette technique. Le demi-angle θ de la tache centrale de diffraction produite, quand une onde de longueur d'onde λ arrive sur un objet de diamètre a , est :

- A) $\theta = \frac{a}{\lambda}$
- B) $\theta = \frac{\lambda}{a}$
- C) $\theta = \frac{\lambda}{a^2}$
- D) $\theta = \frac{a^2}{\lambda}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 11,5 % ; B : 80,5 % ; C : 1,5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 5,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 85 %

Une formule classique du cours de terminale S concernant la diffraction, correctement sue dans l'ensemble.

4) Les ultrasons utilisés ici ont une fréquence de l'ordre de $f = 10$ MHz. Dans le corps humain (majoritairement constitué d'eau), leur célérité est d'environ $v = 1500$ m.s⁻¹. La longueur d'onde des ultrasons dans le corps humain est :

- A) $\lambda = v \cdot f$
- B) $\lambda = \frac{v}{f}$
- C) $\lambda = \frac{f}{v}$
- D) $\lambda = \frac{1}{v \cdot f}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 13,5 % ; B : 77,5 % ; C : 3 % ; D : 1,5 %

Pas de réponse : 4,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 81 %

Une autre formule classique du cours de terminale S concernant la propagation des ondes. Les élèves la voient davantage dans le cas des ondes lumineuses, d'où une relative difficulté à rapprocher cette formule de celle qu'ils savent par cœur avec la célérité de la lumière, notée 'c', au lieu de cette vitesse de propagation notée 'v'.

5) Les plus petits détails observables produisent alors une tache de diffraction dont l'angle θ est de l'ordre de 1 radian (soit $\theta \approx 1$ rad). La taille a_{limite} des plus petits détails observables est donc :

- A) $a_{limite} = 150$ μ m
- B) $a_{limite} = 1,5$ mm
- C) $a_{limite} = 6,7$ mm
- D) $a_{limite} = 1,5$ cm

Bonne réponse : A

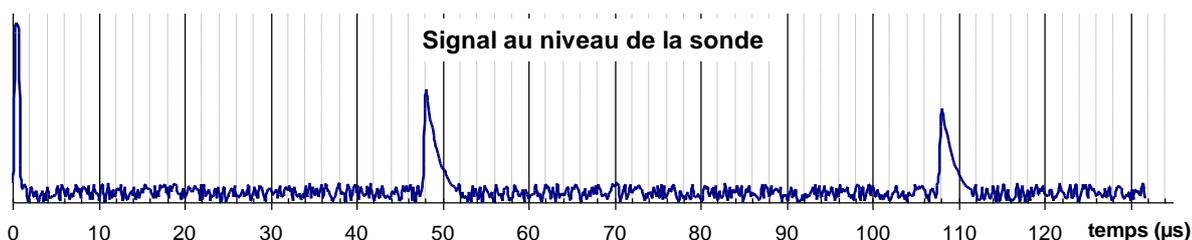
Réponses : A : 42 % ; B : 18 % ; C : 2 % ; D : 7 %

Pas de réponse : 31 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 60 %

La question semble avoir effrayé une bonne proportion des candidats. Il s'agissait d'une application numérique à partir de les formules établies précédemment et des données fournies. Pas de piège insurmontable mais plutôt plusieurs petites difficultés superposées.

Pour permettre la mesure du signal renvoyé au niveau de la sonde, les ultrasons ne sont pas émis en continu : on envoie des salves de durée très courte (sur l'oscillogramme ci-dessous, c'est le premier pic, à l'extrémité gauche). De cette façon on visualise clairement le ou les échos qui reviennent au capteur (ici il y en a deux : les deux pics reçus à 48 μ s et 108 μ s). L'axe vertical du graphe correspond à la tension aux bornes du capteur. (*En pratique, un balayage de la région à analyser donne une série de mesures qui permettent de reconstituer une image entière, mais nous resterons sur le principe d'une seule mesure, réalisée dans une direction précise.*)



6) Soit v la célérité des ultrasons et Δt la durée de propagation, la distance d entre la sonde et l'objet sur lequel les ultrasons se sont réfléchis, est :

- A) $d = \frac{v}{\Delta t}$

- B) $d = \frac{1}{2} \frac{v}{\Delta t}$
 C) $d = v \cdot \Delta t$
 D) $d = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 6,5 % ; B : 5 % ; C : 38,5 % ; D : 48 %

Pas de réponse : 2 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 49 %

Une question simple en apparence sur le retard dû au délai de propagation du signal. Une grande proportion de candidats n'a pas compris qu'il s'agit d'un écho et qu'il faut tenir compte de la distance aller + retour.

7) Les deux échos correspondent ici aux ultrasons réfléchis à l'entrée puis à la sortie d'un même organe. L'épaisseur e de l'organe (mesurée dans la direction de propagation de l'onde) est :

- A) $e = 1,2$ cm
 B) $e = 2,5$ cm
 C) $e = 4,5$ cm
 D) $e = 9,0$ cm

Bonne réponse : C

Réponses : A : 5,5 % ; B : 7,5 % ; C : 26 % ; D : 27 %

Pas de réponse : 34 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 40 %

Application numérique dans la lignée de la question précédente. Les choix proposés ne permettant pas de détecter une erreur précédente, aux réponses fausses se sont ajoutées les erreurs propres au calcul.

L'échographie peut aussi être associée à un capteur Doppler. Il est alors possible de détecter et de localiser d'éventuels caillots (thrombose) dans les vaisseaux sanguins. En effet, un caillot provoque un rétrécissement qui entraîne une augmentation locale de la vitesse de l'écoulement du sang.

Quand la sonde envoie des ultrasons, les globules rouges du sang, qui se déplacent à la vitesse v_{glob} , réfléchissent eux aussi les ultrasons et les renvoient vers la sonde.

8) Du fait de l'effet Doppler, la longueur d'onde λ_R des ultrasons qui reviennent au capteur est :

- A) inférieure à la longueur d'onde propre émise λ_0
 B) supérieure à la longueur d'onde propre émise λ_0
 C) invariante donc égale à la longueur d'onde propre émise λ_0
 D) tout dépend de l'orientation de la sonde par rapport au vaisseau sanguin

Bonne réponse : D

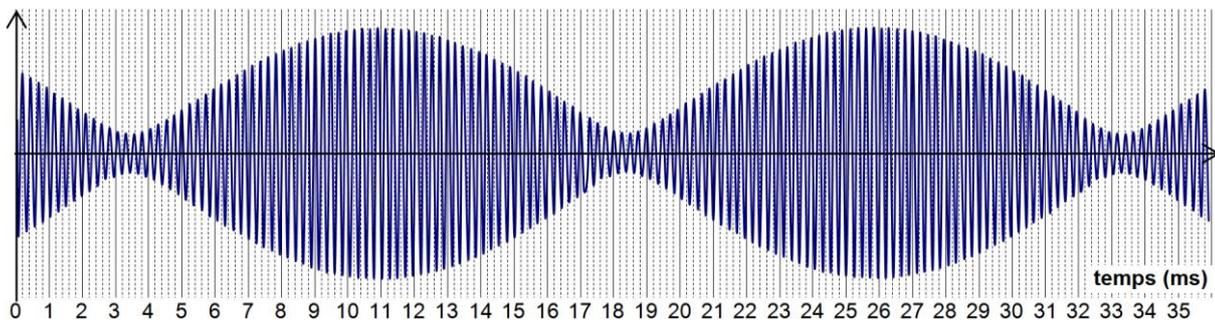
Réponses : A : 18 % ; B : 17,5 % ; C : 8 % ; D : 28 %

Pas de réponse : 28,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 39 %

Pour l'effet Doppler, la fréquence perçue par le récepteur dépend de la vitesse relative (donc du sens) de l'émetteur. Comme rien ne dit ici comment est placée la sonde par rapport à l'écoulement du sang, il est impossible de conclure. Les candidats ont ici une représentation insuffisante du phénomène.

En pratique on ne mesure pas directement l'écart entre la fréquence reçue et la fréquence émise. Il est plus simple d'additionner l'onde émise et l'onde reçue. On obtient alors des battements, c'est à dire un signal dont l'amplitude varie périodiquement (le graphe ci-dessous présente en abscisse le temps, en ordonnée la tension totale aux bornes du capteur) :



9) La période T_{batt} des battements est :

- A) $T_{batt} = 0,23 \text{ ms}$
- B) $T_{batt} = 3,4 \text{ ms}$
- C) $T_{batt} = 15 \text{ ms}$
- D) $T_{batt} = 30 \text{ ms}$

Bonne réponse : C

Réponses : A : 7,5 % ; B : 0,5 % ; C : 87 % ; D : 1,5 %

Pas de réponse : 3,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 90 %

Sans rien avoir à connaître sur les battements, cette question basique exploitant un graphe a été très bien réussie par l'ensemble des candidats. À noter tout de même, une petite proportion d'entre eux semble s'être lancée dans un calcul de fréquence, totalement hors sujet.

La vitesse des globules rouges est donnée par la relation $v_{glob} = v \cdot \frac{\Delta f}{2f}$ où v est la célérité des ultrasons, f leur fréquence et Δf le décalage de la fréquence dû à l'effet Doppler.

Par ailleurs la période des battements est donnée par : $T_{batt} = \frac{2}{\Delta f}$.

On donne $v = 1500 \text{ m.s}^{-1}$ et $f = 10 \text{ MHz}$.

10) La vitesse des globules rouges est :

- A) $v_{glob} = 1,0 \text{ cm.s}^{-1}$
- B) $v_{glob} = 6,7 \text{ cm.s}^{-1}$
- C) $v_{glob} = 10 \text{ cm.s}^{-1}$
- D) $v_{glob} = 67 \text{ cm.s}^{-1}$

Bonne réponse : A

Réponses : A : 25 % ; B : 7,5 % ; C : 20 % ; D : 4,5 %

Pas de réponse : 43 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 44 %

Une question qui ne nécessite pourtant aucune connaissance particulière, toutes les informations étant données de manière explicite. Seule la difficulté relative du traitement mathématique nécessaire, explique la faible réussite des candidats à cette question.

Exercice 2

On veut placer un satellite de 1,6 tonnes sur une orbite géostationnaire, c'est à dire une orbite circulaire pour laquelle le satellite se trouve à tout moment à la verticale d'un même point de la Terre.

On donne l'énergie potentielle de gravitation E_p d'un corps de masse m à la distance r du centre de la Terre : $E_p = -\frac{G \cdot M \cdot m}{r}$ (supposée nulle à distance infinie) avec M la masse de la Terre et G la constante de gravitation universelle.

Pour les applications numériques, on prendra $G \cdot M \cdot m = 6,5 \times 10^{17}$ unité S.I.

11) Dans le système international, la grandeur ($G \cdot M \cdot m$) peut s'exprimer en :

- A) J.m
- B) J.m²
- C) J.m⁻¹
- D) J.m⁻²

Bonne réponse : A

Réponses : A : 32 % ; B : 14,5 % ; C : 13,5 % ; D : 11,5 %

Pas de réponse : 28,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 45 %

Une question d'analyse dimensionnelle, fort mal traitée alors que sa difficulté n'est qu'apparente. La relation est fournie explicitement entre la grandeur physique demandée, une énergie et une distance. Les candidats semblent n'avoir qu'une notion très floue de l'analyse dimensionnelle, qui est pourtant l'un des piliers de la classe de terminale S.

12) En orbite géostationnaire, un satellite fait le tour de la Terre en :

- A) 88 min
- B) 104 min
- C) 24 h 00 min
- D) 1 an

Bonne réponse : C

Réponses : A : 2,5 % ; B : 3 % ; C : 70,5 % ; D : 4,5 %

Pas de réponse : 19,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 88 %

Une question classique, presque de la culture générale, renforcée par un énoncé explicatif en tête de l'exercice. Une proportion non négligeable de candidats n'a apparemment pas lu ou compris l'énoncé.

13) En orbite géostationnaire, le vecteur accélération du satellite, dans le référentiel géocentrique, est :

- A) orienté vers le centre de la Terre
- B) orienté tangentiellement à la trajectoire, vers l'avant
- C) orienté tangentiellement à la trajectoire, vers l'arrière
- D) orienté en biais (une composante tangentielle et une composante radiale)

Bonne réponse : A

Réponses : A : 49,5 % ; B : 23,5 % ; C : 1,5 % ; D : 12 %

Pas de réponse : 13,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 57 %

Une question plutôt mal traitée qui montre que les candidats peinent à comprendre les lois de Newton sans les équations, ou/et ne connaissent pas les propriétés d'un mouvement circulaire uniforme : l'accélération est proportionnelle à la force de gravitation et dans la même direction, donc orientée vers le centre de la Terre.

14) La vitesse d'un satellite sur une orbite circulaire de rayon R et de période T est :

- A) $v = \frac{R \cdot T}{2\pi}$
- B) $v = 2\pi \cdot \frac{T}{R}$
- C) $v = 2\pi \cdot \frac{R}{T}$
- D) aucune de ces relations : elle varie au cours du temps

Bonne réponse : C

Réponses : A : 7 % ; B : 3,5 % ; C : 70 % ; D : 3 %

Pas de réponse : 16,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 84 %

Cette question a été bien traitée dans l'ensemble. On pouvait retrouver facilement cette formule en considérant que la vitesse du satellite est la distance parcourue (périmètre du cercle) pendant la durée d'une période.

15) Au cours du lancement, on installe dans un premier temps le satellite sur une orbite circulaire provisoire, à 120 km d'altitude (soit $R = 6500$ km). D'après la 3^{ème} loi de Kepler, la période orbitale du satellite est alors :

A) $T = \sqrt{R^3 \frac{4\pi^2}{G \cdot M}}$

B) $T = \sqrt[3]{R^2 \frac{4\pi^2}{G \cdot M}}$

C) $T = \sqrt{\frac{1}{R^3} \frac{4\pi^2}{G \cdot M}}$

D) $T = \sqrt[3]{\frac{1}{R^2} \frac{4\pi^2}{G \cdot M}}$

Bonne réponse : A

Réponses : A : 60,5 % ; B : 10 % ; C : 5,5 % ; D : 1,5 %

Pas de réponse : 22,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 78 %

Une question classique du programme de terminale S sur la 3^{ème} loi de Kepler, présentée sous une forme à peine différente. Les candidats qui se souvenaient de cette formule ont bien répondu.

16) L'énergie cinétique du satellite en orbite circulaire à 120 km d'altitude (soit $R = 6500$ km) est $E_C = 5 \times 10^{10}$ J. Son énergie mécanique est :

A) $E_m = -1 \times 10^{11}$ J

B) $E_m = -5 \times 10^{10}$ J

C) $E_m = 5 \times 10^{10}$ J

D) $E_m = 1 \times 10^{11}$ J

Bonne réponse : B

Réponses : A : 5 % ; B : 16,5 % ; C : 25 % ; D : 16,5 %

Pas de réponse : 37 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 39 %

L'énergie mécanique, somme des énergies cinétique et potentielle, est une notion fondamentale de la classe de terminale S. L'énergie cinétique étant donnée ici, la plupart des candidats semble avoir oublié que la formule et les données pour calculer simplement l'énergie potentielle figurent en début d'exercice. Pourtant, l'application numérique résultante est plutôt simple et les choix proposés éliminent la possibilité d'une erreur de conversion.

On veut maintenant modifier l'orbite du satellite. Pour cela, on augmente quasiment instantanément sa vitesse (en allumant son réacteur). Le satellite passe ainsi d'une vitesse $v_1 = 7,8 \text{ km.s}^{-1}$ à une vitesse v_2 (dont il s'agira de déterminer la valeur) en une durée très réduite (en pratique, $\Delta t = 50$ s). Sa trajectoire devient alors une ellipse : au plus près de la Terre il est toujours à 120 km d'altitude mais au plus loin, il passe à 35 800 km d'altitude (à $R' = 42\,200$ km du centre de la Terre).

17) Pendant le passage de v_1 à v_2 , l'accélération due au moteur du satellite pendant Δt est constante et vaut $a = 50 \text{ m.s}^{-2}$. La valeur de la vitesse v_2 est :

A) $v_2 = 7,9 \text{ km.s}^{-1}$

B) $v_2 = 8,3 \text{ km.s}^{-1}$

C) $v_2 = 9,3 \text{ km.s}^{-1}$

D) $v_2 = 10,3 \text{ km.s}^{-1}$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 3,5 % ; B : 4,5 % ; C : 7 % ; D : 31 %

Pas de réponse : 54 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 67 %

Il s'agit d'une question de cinématique qui a effrayé beaucoup de candidats. Les autres se sont souvenus que l'accélération est la dérivée de la vitesse, ce qui leur a permis de retrouver la variation de la vitesse et d'en déduire la valeur demandée. Les valeurs choisies rendaient l'application numérique assez facile.

Pendant cette phase d'accélération, le satellite perd une masse Δm de combustible. Les gaz de combustion sont éjectés par une tuyère à la vitesse $w = 2,4 \text{ km.s}^{-1}$ par rapport au satellite. On notera \vec{p}_{gaz} la quantité de mouvement totale des gaz éjectés, \vec{p}_1 la quantité de mouvement du satellite à la vitesse v_1 et \vec{p}_2 sa quantité de mouvement à la vitesse v_2 .

La durée de la phase d'accélération étant courte, ces vecteurs sont supposés colinéaires.

18) L'ensemble {satellite + gaz éjectés} formant un système isolé, la relation entre les vecteurs quantité de mouvement est :

A) $\vec{p}_{\text{gaz}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$

B) $\vec{p}_{\text{gaz}} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$

C) $\vec{p}_{\text{gaz}} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$

D) $\vec{p}_{\text{gaz}} = \vec{p}_1 - \frac{(m - \Delta m)}{m} \vec{p}_2$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 20 % ; B : 12,5 % ; C : 24 % ; D : 8,5 %

Pas de réponse : 35 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 19 %

La quantité de mouvement est une grandeur mal comprise des candidats, et sa formulation vectorielle n'y aide pas. Il s'agit pourtant, là encore, d'une grandeur fondamentale du programme de mécanique de la terminale S, et sa conservation ou non a des conséquences immédiates sur le mouvement, en accord avec la 2^{ème} loi de Newton. Les candidats auraient dû savoir que, le système étant isolé, la somme vectorielle des quantités de mouvement dans l'état initial est égale à la somme vectorielle des quantités de mouvement dans l'état final. Un schéma peut aussi s'avérer salutaire pour représenter correctement les différentes grandeurs évoquées dans l'énoncé mais ne sert à rien à cette étape, dans la formulation vectorielle du problème.

19) En projetant cette relation sur l'axe portant les vecteurs, la relation devient (Δm étant une grandeur positive) :

A) $\Delta m \cdot (w + v_2) = m \cdot (v_2 - v_1)$

B) $\Delta m \cdot (w - v_2) = m \cdot (v_2 + v_1)$

C) $\Delta m \cdot (w + v_2) = m \cdot (v_2 + v_1)$

D) $\Delta m \cdot (w - v_2) = m \cdot (v_2 - v_1)$

Bonne réponse : A

Réponses : A : 9,5 % ; B : 2,5 % ; C : 5 % ; D : 5,5 %

Pas de réponse : 77,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 42 %

À la suite de la question précédente, un cran plus loin : il est impossible de répondre sans un schéma clair représentant les sens des grandeurs sur un axe. Cette question nécessite une formulation mathématique rigoureuse.

20) La masse éjectée par le satellite (en pourcentage) est :

- A) $\frac{\Delta m}{m} < 5\%$
 B) $5\% < \frac{\Delta m}{m} < 15\%$
 C) $15\% < \frac{\Delta m}{m} < 25\%$
 D) $25\% < \frac{\Delta m}{m} < 35\%$

Bonne réponse : C

Réponses : A : 2,5 % ; B : 5 % ; C : 4 % ; D : 2 %

Pas de réponse : 86,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 30 %

Cette application numérique synthétise enfin toutes les formules et les calculs abordés dans cet exercice, ce qui explique le très faible nombre de réponses justes.

On répète ensuite l'opération lorsque le satellite atteint l'altitude voulue. Une deuxième phase d'accélération permet de le stabiliser sur l'orbite géostationnaire en lui donnant sa vitesse définitive.

Exercice 3

On souhaite réaliser une vidéo-conférence. On dispose pour cela d'une webcam donnant une image de 2 mégapixels et d'un microphone mono (une seule piste) capable de capter les sons dont la fréquence est comprise entre 36 Hz et 11 000 Hz.

La numérisation de la piste audio se fait sur 16 bits (c'est à dire que la tension fournie par le microphone est codée par un nombre compris entre $-32\,768$ et $+32\,767$, soit 2^{16} valeurs).

21) La fréquence d'échantillonnage est :

- A) le nombre de mesures de la tension par seconde
 B) le nombre de valeurs possibles pour la tension après numérisation
 C) la fréquence maximale des sons pour éviter que le signal soit déformé irréversiblement
 D) la fréquence des bruits provoqués par la numérisation du signal

Bonne réponse : A

Réponses : A : 31 % ; B : 7 % ; C : 7 % ; D : 4 %

Pas de réponse : 41 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 64 %

La fréquence d'échantillonnage est une grandeur très importante du programme de la terminale S, pourtant insuffisamment maîtrisée par l'ensemble. La partie traitant des signaux numériques étant souvent traitée par les enseignants en fin d'année, la plupart des candidats ne l'ont peut-être pas encore étudiée à la date du concours. Les autres ont répondu correctement dans l'ensemble.

22) Un son sinusoïdal de niveau sonore $L = 90$ dB est utilisé pour calibrer l'amplification du microphone. L'intensité sonore correspondante est (avec l'intensité de référence $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$) :

- A) $I = I_0 \cdot \log\left(\frac{L}{10}\right)$
 B) $I = 10 \log\left(\frac{L}{I_0}\right)$
 C) $I = \frac{I_0}{10} \cdot 10^L$

$$D) \quad I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 5,5 % ; B : 22 % ; C : 2 % ; D : 60,5 %

Pas de réponse : 10 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 67 %

Une question de cours sur l'intensité sonore, à laquelle se rajoute une difficulté mathématique puisque les candidats connaissent mieux, en général, la formule dans l'autre sens : l'expression du niveau sonore L en fonction de l'intensité sonore I . Ceux qui peinent à manipuler les logarithmes (décimaux, de surcroît) ont eu bien du mal à retrouver la formule valide.

23) La puissance acoustique (en W) captée par un microphone de surface utile S est :

$$A) \quad P_{\text{acoustique}} = \frac{1}{I \cdot S}$$

$$B) \quad P_{\text{acoustique}} = \frac{S}{I}$$

$$C) \quad P_{\text{acoustique}} = \frac{I}{S}$$

$$D) \quad P_{\text{acoustique}} = I \cdot S$$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 1 % ; B : 3,5 % ; C : 24 % ; D : 41,5 %

Pas de réponse : 30 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 59 %

La puissance acoustique n'est pas explicitement au programme de la terminale S. Les candidats pouvaient néanmoins répondre à la question par analyse dimensionnelle, même s'ils ne connaissaient pas la formule. Comme visiblement une proportion élevée d'entre eux ne maîtrisent pas cet outil, il apparaît un nombre élevé de réponses fausses et d'abstentions.

24) La surface utile du microphone est de 1 cm^2 . Les sons captés sont transformés en signal électrique avec un rendement énergétique de l'ordre de 80 %. En recevant un son de 90 dB, le microphone délivre un signal électrique dont la puissance (avant amplification) est :

$$A) \quad P_{\text{élec}} = 80 \text{ nW}$$

$$B) \quad P_{\text{élec}} = 800 \text{ nW}$$

$$C) \quad P_{\text{élec}} = 8 \text{ } \mu\text{W}$$

$$D) \quad P_{\text{élec}} = 80 \text{ } \mu\text{W}$$

Bonne réponse : A

Réponses : A : 10 % ; B : 5 % ; C : 10 % ; D : 10 %

Pas de réponse : 65 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 30 %

Synthèse des deux questions précédentes, cette application numérique nécessitait un certain soin dans le calcul de l'intensité sonore, puis de la conversion de la surface du microphone en mètres carrés. Deux écueils qui expliquent le faible taux de bonnes réponses.

On règle l'amplification du microphone de manière à ce qu'un son de niveau sonore 90 dB produise une tension dont la numérisation, au niveau du convertisseur analogique-numérique, atteint juste la limite, soit 32 767 (avec tous les bits à 1).

Dans tout le domaine d'utilisation du microphone, on constate que l'amplitude de la tension à la sortie du microphone est proportionnelle à la racine carrée de l'intensité sonore reçue. Le nombre produit par le convertisseur analogique-numérique est donc lui-même proportionnel à la racine carrée de l'intensité sonore reçue (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

25) Par rapport à un son de niveau sonore $L = 90 \text{ dB}$, l'intensité sonore d'un son de niveau sonore $L' = 70 \text{ dB}$ est :

- A) $\frac{I_{(90 \text{ dB})}}{I_{(70 \text{ dB})}} = 1,3$ donc 1,3 fois plus faible
- B) $\frac{I_{(90 \text{ dB})}}{I_{(70 \text{ dB})}} = 20$ donc 20 fois plus faible
- C) $\frac{I_{(90 \text{ dB})}}{I_{(70 \text{ dB})}} = 100$ donc 100 fois plus faible
- D) $\frac{I_{(90 \text{ dB})}}{I_{(70 \text{ dB})}} = 138$ donc 138 fois plus faible

Bonne réponse : C

Réponses : A : 15 % ; B : 7,5 % ; C : 36,5 % ; D : 2,5 %

Pas de réponse : 38,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 59 %

Une des difficultés de cette question assez générale sur l'intensité sonore, est qu'elle se trouvait après un énoncé très détaillé dont l'utilité apparaît surtout plus loin. Au total, les candidats qui ont répondu s'en sont assez bien sortis.

26) Pour un son de niveau sonore $L' = 70$ dB, le résultat numérisé au niveau du convertisseur est :

- A) 1 638
- B) 3 277
- C) 6 553
- D) 16 383

Bonne réponse : B

Réponses : A : 2,5 % ; B : 8 % ; C : 2 % ; D : 3,5 %

Pas de réponse : 84 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 48 %

Cette question nécessite une bonne compréhension de l'énoncé ci-dessus, la formule qui permet de trouver la valeur numérisée étant décrite en français. Avec un son de 70 dB, l'intensité sonore est 100 fois plus faible qu'à 90 dB (question précédente) et donc, le nombre produit à la sortie du convertisseur analogique-numérique est (racine carrée de 100) fois plus faible.

27) Sans compression numérique, le débit binaire de la piste audio, exprimé en kilobits par seconde (kbps), pour une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz est :

- A) 353 kbps
- B) 706 kbps
- C) 1 412 kbps
- D) 2 824 kbps

Bonne réponse : B

Réponses : A : 1 % ; B : 3 % ; C : 2 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 93 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 46 %

Une question classique au programme de la terminale S, le calcul du débit binaire d'une transmission numérique. L'écrasant taux d'abstention montre que les candidats n'en ont aucune notion. Il est pourtant assez simple dès lors que la notion de fréquence d'échantillonnage est maîtrisée. À noter toutefois que la donnée nécessaire pour le calcul (codage sur 16 bits) figure assez loin de cette question, en tête de l'exercice.

On s'intéresse maintenant à la piste vidéo de la webcam. La caméra fournit des images dont la résolution atteint 2 mégapixels (de qualité *full HD*) à raison de 10 images par seconde. Grâce à un algorithme de compression numérique de l'image, le "poids" de chaque image est énormément réduit, passant de 6 Mo (mégaoctets) avant compression, à 40 Ko (kiloctets) environ.

28) Après compression numérique des images, le débit binaire de la piste vidéo (en mégabits par seconde) est :

- A) 0,8 Mbps
- B) 1,6 Mbps
- C) 3,2 Mbps
- D) 6,4 Mbps

Bonne réponse : C

Réponses : A : 2,5 % ; B : 2,5 % ; C : 7,5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 86,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 55 %

Cette question, dont les données ont été rapprochées, n'a pas eu beaucoup plus de succès que la précédente. Elle a peut-être souffert de sa position au milieu d'un exercice peu traité, alors que la principale difficulté vient de la conversion des octets en bits : débit binaire = poids d'une image × 10 images / s = 400 Ko / s, ce qu'il faut multiplier par 8 (8bits par octet) pour obtenir des (kilo)bits par seconde.

L'ordinateur qui est connecté à la webcam dispose d'une connexion wifi (par ondes radio à l'intérieur des locaux). Des mesures ont montré que le débit de cette connexion est acceptable tant que l'atténuation du signal reste inférieure à 60 dB.

Dans le cas d'une onde hertziennne, l'atténuation est, par convention, supposée nulle à 1 cm de l'antenne émettrice. Ceci permet d'établir la relation approchée entre l'atténuation A du signal radio (en décibels) et la distance D de l'antenne (en mètres) : $A = 20 \times \log D + 40$ (en l'absence d'obstacles).

29) Pour que le débit soit acceptable, la distance maximum entre l'ordinateur et le récepteur wifi est :

(log 1 = 0 ; log 2 = 0,30 ; log 7 = 0,85 ; log 10 = 1,0)

- A) $D_{\max} = 1$ m
- B) $D_{\max} = 3$ m
- C) $D_{\max} = 7$ m
- D) $D_{\max} = 10$ m

Bonne réponse : D

Réponses : A : 2 % ; B : 1,5 % ; C : 12 % ; D : 29 %

Pas de réponse : 55,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 65 %

Cette question sur l'atténuation d'un signal ne fait qu'exploiter la formule empirique fournie. Les candidats pouvaient, plutôt que calculer directement la distance maximale, partir des valeurs proposées (à l'aide des valeurs des logarithmes fournies) pour trouver celle qui redonne une atténuation de 60 dB. Ceux qui ont traité la question se sont assez bien débrouillés.

30) Le récepteur wifi récupère le signal et l'envoie dans des câbles de cuivre (liaison ADSL2+) jusqu'au répartiteur (DSLAM). Compte tenu du diamètre des câbles, l'atténuation du signal est d'environ 12 dB/km. Comme au total l'atténuation doit rester inférieure à 48 dB pour que la connexion soit de qualité suffisante, la distance maximale entre le répartiteur et l'utilisateur est :

- A) $D_{\max} = 500$ m
- B) $D_{\max} = 1\ 000$ m
- C) $D_{\max} = 2\ 000$ m
- D) $D_{\max} = 4\ 000$ m

Bonne réponse : D

Réponses : A : 2 % ; B : 6,5 % ; C : 5,5 % ; D : 19,5 %

Pas de réponse : 66,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 59 %

Cette question sur l'atténuation du signal le long d'une ligne figure au programme de la terminale S. Elle suppose que l'atténuation du signal en décibels est proportionnelle à la longueur de la ligne ; par ailleurs une analyse dimensionnelle de l'atténuation permettait de retrouver la relation.

Exercice 4

On étudie dans cette partie l'isolation thermique d'un congélateur. On l'assimilera à un cube de côté $a = 0,5$ m dont les six parois sont constituées chacune d'un panneau de polystyrène expansé, d'épaisseur $e = 5$ cm.

La conductivité thermique est une grandeur qui quantifie l'aptitude d'un corps à conduire la chaleur. On donne la conductivité thermique du polystyrène expansé : $\lambda = 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

31) La résistance thermique :

- A) augmente si on augmente la surface des parois du congélateur
- B) augmente si on remplace les parois par un matériau dont la conductivité thermique est plus faible
- C) augmente si on diminue l'épaisseur des parois du congélateur
- D) augmente si l'écart de température diminue entre l'intérieur et l'extérieur du congélateur

Bonne réponse : B

Réponses : A : 11,5 % ; B : 62,5 % ; C : 3,5 % ; D : 4,5 %

Pas de réponse : 18 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 76 %

Une question qualitative sur la résistance thermique, qui nécessite une bonne compréhension de la définition de cette grandeur. Les candidats ont bien répondu dans l'ensemble.

32) Le flux thermique Φ traversant les six parois du congélateur est :

- A) une puissance (la chaleur qui traverse les parois du congélateur par seconde)
- B) une énergie (la chaleur qui traverse les parois du congélateur)
- C) une énergie surfacique (la chaleur qui traverse les parois du congélateur par mètre carré)
- D) une puissance surfacique (la chaleur qui traverse les parois du congélateur par mètre carré et par seconde)

Bonne réponse : A

Réponses : A : 22 % ; B : 14,5 % ; C : 14 % ; D : 19 %

Pas de réponse : 30,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 31 %

Une autre question qualitative sur les échanges thermiques au programme de la terminale S. La signification du flux thermique doit être connue. Peu de candidats savent que c'est la puissance (thermique) qui traverse une surface. L'unité du flux thermique, précisée par la suite dans l'énoncé de la question 38, aurait pu les guider.

33) Le flux thermique Φ traversant les six parois du congélateur :

- A) augmente si l'écart de température diminue entre l'intérieur et l'extérieur du congélateur
- B) augmente si la surface des parois du congélateur diminue
- C) augmente si la résistance thermique des parois du congélateur diminue
- D) augmente si les températures intérieure et extérieure augmentent de la même valeur

Bonne réponse : C

Réponses : A : 5 % ; B : 8 % ; C : 52 % ; D : 2 %

Pas de réponse : 33 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 78 %

Les candidats qui ont répondu ont une bonne représentation des différents paramètres qui jouent sur la valeur du flux (alors que la relation mathématique n'est pas un élément exigible du programme).

34) Compte tenu de l'efficacité thermique et du rendement du compresseur électrique, le congélateur consomme à lui seul une puissance électrique $P_{elec} = 15 \text{ W}$. En moyenne sur 24 heures, la consommation d'énergie électrique du congélateur est de :

- A) 0,36 kWh
- B) 0,62 kWh
- C) 1,3 kWh
- D) 1,6 kWh

Bonne réponse : A

Réponses : A : 26,5 % ; B : 10,5 % ; C : 4 % ; D : 2 %

Pas de réponse : 57 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 62 %

Les candidats ont ici rencontré des difficultés surprenantes. L'énergie étant le produit puissance \times durée, le calcul est facile. Certains se sont peut-être perdus s'ils ont cherché à passer par un intermédiaire de calcul de l'énergie en joules, ce qui est inutile au regard des unités proposées.

Au cours d'une coupure d'électricité, le congélateur ne peut plus maintenir constante sa température intérieure. On va maintenant calculer la durée maximale de la coupure pour éviter la décongélation des aliments.

On a placé dans le congélateur une masse $m = 3 \text{ kg}$ d'aliments que l'on assimilera à de la glace, de capacité thermique massique $C = 2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Les aliments ne doivent pas dépasser la température $T_{max} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ et ne doivent pas changer d'état.

35) La quantité de chaleur à apporter aux aliments pour atteindre cette température est :

- A) $Q = \frac{C \cdot (T_{max} - T_{int})}{m}$
- B) $Q = m \cdot C \cdot (T_{max} - T_{int})$
- C) $Q = \frac{T_{max} - T_{int}}{m \cdot C}$
- D) $Q = \frac{m \cdot C}{T_{max} - T_{int}}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 6,5 % ; B : 40 % ; C : 3,5 % ; D : 4,5 %

Pas de réponse : 45,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 73 %

Cette question sur les transferts de chaleur sans changement d'état, fait partie des fondamentaux de cette part du programme de la terminale S. Il est étonnant qu'aussi peu de candidats aient osé répondre. Les autres se sont correctement débrouillés.

36) La durée maximale t_{max} de la coupure d'électricité avant de commencer la décongélation des aliments est :

- A) $t_{max} = Q \cdot \Phi$
- B) $t_{max} = \frac{Q}{\Phi}$
- C) $t_{max} = \frac{\Phi}{Q}$

D) aucune des relations ci-dessus, le flux thermique n'étant pas constant

Bonne réponse : D

Réponses : A : 4 % ; B : 24,5 % ; C : 5,5 % ; D : 8 %

Pas de réponse : 58 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 19 %

Une question délicate qui nécessite d'avoir compris que le flux thermique dépend de la différence de température entre les deux côtés de la paroi du congélateur. La température intérieure montant progressivement, le flux n'est pas constant et aucune des relations proposées ne convient. Si l'on voulait calculer la durée de réchauffement des aliments, il faudrait un calcul intégral.

37) Au bout de 57 minutes, les aliments ont atteint la température $T_{max} = 0$ °C. La décongélation débute alors. On donne l'enthalpie de fusion (ou *chaleur latente*) de la glace : $L = 333$ kJ.kg⁻¹. La quantité de chaleur apportée par la décongélation est alors :

- A) $Q' = \frac{L}{m}$
- B) $Q' = m \cdot L$
- C) $Q' = \frac{m}{L}$
- D) $Q' = \frac{1}{m \cdot L}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 5 % ; B : 28,5 % ; C : 2,5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 63 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 77 %

Autre question classique sur les échanges thermiques, cette fois au cours d'un changement d'état. Même sans connaître la relation, il était encore possible de procéder par analyse dimensionnelle en étudiant l'unité de la chaleur latente. Les candidats qui ont traité cette question ont bien réussi.

38) Le flux thermique entrant dans le congélateur vaut alors $\Phi = 24$ W. La durée de la décongélation est :

- A) $t_{décongé.} = 4,2 \times 10^2$ s
- B) $t_{décongé.} = 4,2 \times 10^3$ s
- C) $t_{décongé.} = 4,2 \times 10^4$ s
- D) $t_{décongé.} = 4,2 \times 10^5$ s

Bonne réponse : C

Réponses : A : 3,5 % ; B : 5,5 % ; C : 5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 85 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 35 %

Cette dernière question est une application numérique de la question précédente, à laquelle on doit combiner le calcul d'une durée par la relation connue : énergie (chaleur) = puissance (flux thermique) \times durée. Au passage, l'énoncé de cette question porte la réponse à la question 32. Peu de candidats ont pris la peine de lire l'énoncé complètement pour en déduire tout ce qu'ils pouvaient.

Exercice 5

Le neutron est une particule de masse $m = 1,7 \times 10^{-27}$ kg. Sur Terre, il est présent dans le noyau de la plupart des atomes mais il peut également exister de façon indépendante.

Louis de Broglie a démontré en 1924 que le mouvement d'une particule peut aussi être assimilé à une onde nommée "onde de matière".

On donne la valeur de la constante de Planck : $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s.

39) La relation entre la longueur d'onde λ et la quantité de mouvement p est :

- A) $\lambda \cdot p = h$
- B) $\lambda \cdot p \cdot h = 1$

C) $\lambda \cdot h = p$

D) $\lambda = h \cdot p$

Bonne réponse : A

Réponses : A : 38,5 % ; B : 0,5 % ; C : 15 % ; D : 13,5 %

Pas de réponse : 32,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 57 %

La relation de Broglie est à savoir au programme de la terminale S. Elle permet d'affirmer, en mécanique quantique, que toute particule peut se comporter comme une onde et réciproquement, toute onde possède une quantité de mouvement, comme une particule. Cette notion de cours n'est pas bien sue.

40) Un neutron "lent" a une vitesse $v = 2,0 \text{ km.s}^{-1}$. Sa quantité de mouvement est :

A) $p = 8,5 \times 10^{-28} \text{ kg.m.s}^{-1}$

B) $p = 3,4 \times 10^{-27} \text{ kg.m.s}^{-1}$

C) $p = 8,5 \times 10^{-25} \text{ kg.m.s}^{-1}$

D) $p = 3,4 \times 10^{-24} \text{ kg.m.s}^{-1}$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 1,5 % ; B : 11 % ; C : 1 % ; D : 49,5 %

Pas de réponse : 37 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 78 %

Cette question revient à la définition de la quantité de mouvement en mécanique classique. Le calcul est simple et les candidats qui l'ont fait ont bien réussi.

41) (suite) Sa longueur d'onde de Broglie est :

A) $\lambda = 1,9 \times 10^{-13} \text{ m}$

B) $\lambda = 1,9 \times 10^{-10} \text{ m}$

C) $\lambda = 1,9 \times 10^{+7} \text{ m}$

D) $\lambda = 1,9 \times 10^{+10} \text{ m}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 2,5 % ; B : 32,5 % ; C : 6 % ; D : 6 %

Pas de réponse : 53 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 69 %

Cette application numérique combine les deux dernières questions. Les candidats qui l'ont traitée s'en sont correctement sortis dans l'ensemble.

42) On manipule maintenant un autre neutron, d'énergie cinétique 10 000 fois plus élevée que celle du neutron précédent. Sa vitesse est :

A) $v = 2,0 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$

B) $v = 2,0 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$

C) $v = 2,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

D) relativiste (trop proche de la vitesse de la lumière dans le vide pour être calculée simplement avec les formules de la mécanique classique)

Bonne réponse : A

Réponses : A : 12 % ; B : 16,5 % ; C : 3,5 % ; D : 9,5 %

Pas de réponse : 58,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 29 %

Cette question consistait à calculer la vitesse par la formule classique de l'énergie cinétique : comme l'énergie cinétique est proportionnelle au carré de la vitesse, c'est donc que la vitesse de (racine carré de 10 000) = 100 fois plus grande si c'est possible, à condition de ne pas s'approcher trop de la vitesse de la lumière dans le vide (la vitesse v est dite "relativiste" si elle dépasse environ 10 à 15% de la valeur de c). Ici la valeur trouvée est nettement en deçà et la vitesse du neutron "rapide" reste décrite par la mécanique classique.

43) La longueur d'onde de Broglie associée à ce neutron rapide est :

- A) plus courte que celle associée au neutron lent
- B) égale à celle associée au neutron lent
- C) plus grande que celle associée au neutron lent
- D) il manque une donnée pour comparer les deux longueurs d'onde

Bonne réponse : A

Réponses : A : 21 % ; B : 0,5 % ; C : 10,5 % ; D : 4 %

Pas de réponse : 64 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 59 %

Pour cette question, on pouvait se contenter d'un examen qualitatif de la relation de Broglie évoquée à la question 39. Le neutron "rapide" a de manière évidente une quantité de mouvement supérieure à celle du neutron "lent", or la relation de Broglie montre que la longueur d'onde associée est inversement proportionnelle à la quantité de mouvement de la particule. Peu de candidats ont tenté cette question alors que ce n'était pas la plus difficile de l'exercice.

Exercice 6

Le neutrino ("*petit neutron*" en italien) est une particule électriquement neutre et très légère, prédite par la théorie dès 1930 (*avant même la découverte du neutron*). Sa masse est estimée à 10^{-37} kg et sa vitesse est pratiquement égale à la célérité de la lumière dans le vide (à 10^{-17} près !).

Sur Terre, nous recevons à chaque seconde des milliards de neutrinos provenant essentiellement du Soleil. Ils nous traversent sans même être ralentis, comme si la Terre était transparente (seuls quelques-uns sont absorbés).

On étudie la durée de la propagation des neutrinos provenant du Soleil.

44) La vitesse du neutrino dans le référentiel héliocentrique est :

- A) $v = 2,97 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$
- B) $v = 3,00 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$
- C) $v = 2,97 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- D) $v = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 1 % ; B : 3 % ; C : 16 % ; D : 62 %

Pas de réponse : 18 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 76 %

Question assez simple où il suffisait de lire l'énoncé, connaître la valeur de la célérité de la lumière dans le vide et surtout, comprendre que "à 10^{-17} près" signifie que les deux valeurs sont grossièrement égales jusqu'à la 17^{ème} décimale. Une proportion non négligeable de candidats semblent avoir choisi la valeur un peu inférieure à l'instinct, alors que l'écart relatif aurait alors été de 10^{-2} (1 %).

45) La distance Soleil-Terre est environ :

- A) $d = 1,5 \times 10^6 \text{ m}$
- B) $d = 1,5 \times 10^8 \text{ m}$
- C) $d = 1,5 \times 10^9 \text{ m}$
- D) $d = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 5,5 % ; B : 8,5 % ; C : 9 % ; D : 46 %

Pas de réponse : 31 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 67 %

L'ordre de grandeur des distances astronomiques est à savoir : Terre-Lune par exemple et ici Terre-Soleil, soit 150 millions de kilomètres. La conversion en mètres peut également être un facteur d'erreurs et c'est bien ce qui est testé, dans les différents choix proposés.

46) Dans le référentiel héliocentrique, la durée Δt du parcours du neutrino du Soleil à la Terre est :

- A) $\Delta t = 200$ s
- B) $\Delta t = 500$ s
- C) $\Delta t = 2000$ s
- D) $\Delta t = 5000$ s

Bonne réponse : B

Réponses : A : 8,5 % ; B : 42,5 % ; C : 6,5 % ; D : 5,5 %

Pas de réponse : 37 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 68 %

Cette question ne nécessite aucune compétence particulière au programme de la terminale S. Connaissant la distance et la vitesse, les candidats pouvaient retrouver facilement la durée du trajet. Nombre d'entre eux doivent même avoir en mémoire l'ordre de grandeur de la durée que met la lumière à nous parvenir du Soleil : environ 8 minutes, ce qui permet de répondre très vite à cette question.

On donne la relation entre la durée du parcours Δt mesurée dans le référentiel héliocentrique, et Δt_0 mesurée dans le référentiel propre de la particule : $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$ (où le facteur relativiste γ a pour expression, en fonction de la vitesse v de la particule et de la célérité c de la lumière dans

le vide : $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$).

47) Chaque neutrino d'origine solaire porte une énergie d'environ 10 MeV (avec 1 eV = 1 électronvolt = $1,6 \times 10^{-19}$ J). Dans l'unité fondamentale, cette énergie vaut :

- A) $1,6 \times 10^{-13}$ J
- B) $6,2 \times 10^{-13}$ J
- C) $1,6 \times 10^{-12}$ J
- D) $6,2 \times 10^{-12}$ J

Bonne réponse : C

Réponses : A : 17 % ; B : 2 % ; C : 45,5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 34,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 70 %

Pas de difficulté particulière pour cette question, la définition de l'électronvolt, en tant qu'une unité d'énergie bien connue, n'était pas nécessaire pour répondre. Seule la conversion des 10 MeV a posé des soucis à certains candidats qui se sont trompés d'un facteur 10 dans la conversion en 10^7 électronvolts.

48) L'énergie des neutrinos permet d'estimer leur facteur relativiste γ : $\gamma \approx 10^8$. Quelle est la seule affirmation vraie ?

- A) La durée du parcours, dans le référentiel propre du neutrino, est de 20 μ s.
- B) La durée du parcours, dans le référentiel propre du neutrino, est de 2×10^{10} s.
- C) Lorsqu'ils traversent les océans, les neutrinos sont plus rapides que la lumière (dans l'eau, la vitesse de la lumière vaut 75 % de sa valeur dans le vide).
- D) Plus le facteur relativiste γ est grand, plus la célérité de la lumière dans le vide est faible, dans le référentiel propre du neutrino.

Bonne réponse : C

Réponses : A : 10,5 % ; B : 3 % ; C : 7 % ; D : 12 %

Pas de réponse : 68 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 22 %

Cette question a été complètement incomprise par les candidats. D'une part, il était possible, à l'aide des relations fournies, de calculer la durée du parcours dans le référentiel propre du neutrino : 500 s / $\gamma = 5$ μ s ; d'autre part, une proportion élevée de candidats ayant répondu (38 %) affirme, en choisissant la réponse D, que la valeur de la célérité de la lumière dans le vide dépend du référentiel, alors que l'invariance de cette grandeur est la principale notion à maîtriser dans le programme de relativité de la classe de terminale S. Une lecture attentive de

l'énoncé au début de l'exercice montrait que les neutrinos traversaient la Terre "sans même être ralentis" (contrairement à la lumière, qui ralentit dans l'eau du fait de l'indice de réfraction de ce milieu). Des particules peuvent donc aller plus vite que la lumière (mais pas plus vite que la lumière dans le vide) ; pour information, expérimentalement on détecte alors le passage de la particule plus rapide que la lumière, par l'émission d'éclairs bleus le long de sa trajectoire ("effet Tcherenkov"), analogues optiques des bangs supersoniques (cf. énoncé question 50).

49) En "astronomie neutrino" on s'intéresse aux neutrinos venant d'autres étoiles ou d'autres galaxies. Il est possible d'identifier des neutrinos provenant du grand nuage de Magellan, une galaxie située à 150 000 années-lumière de nous (soit une distance $d = 1,4 \times 10^{21}$ m). Dans le référentiel propre des neutrinos, la durée du trajet est :

- A) $1,5 \times 10^{-6}$ an = $4,7 \times 10^1$ s
- B) $1,5 \times 10^{-5}$ an = $4,7 \times 10^2$ s
- C) $1,5 \times 10^{-4}$ an = $4,7 \times 10^3$ s
- D) $1,5 \times 10^{-3}$ an = $4,7 \times 10^4$ s

Bonne réponse : D

Réponses : A : 1 % ; B : 5,5 % ; C : 2 % ; D : 7,5 %

Pas de réponse : 84 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 48 %

Cette question ne demande aucune connaissance préalable dans le domaine de la relativité, juste faut-il comprendre la signification de la relation fournie reliant la durée de propagation dans un référentiel et dans l'autre. À la vitesse de la lumière les neutrinos font le trajet en 150 000 ans dans le référentiel héliocentrique ; dans leur référentiel propre, il s'écoule pour eux $150\,000 / \gamma = 0,0015$ an.

Les détecteurs actuels de neutrinos sont de grandes piscines d'eau pure, profondément enterrées sous le sol. Un neutrino qui interagit avec la matière se transforme en un muon (particule semblable à un électron, mais 200 fois plus lourde) que l'on détecte parce qu'il provoque dans l'eau une traînée de lumière.

Le muon est instable : en moyenne sa durée de vie propre est de l'ordre de 2 microsecondes. Des mesures ont permis d'établir sa vitesse dans le référentiel du laboratoire :

$$\frac{v_{\text{muon}}}{c} \approx 0,87 \approx \sqrt{\frac{3}{4}}.$$

50) Dans le référentiel du laboratoire, la distance moyenne parcourue par le muon avant de se désintégrer est d'environ :

- A) 1 km
- B) 10 km
- C) 100 km
- D) 1000 km

Bonne réponse : A

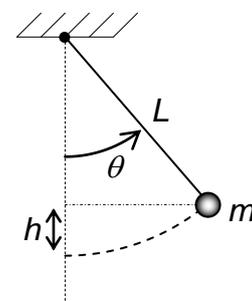
Réponses : A : 10,5 % ; B : 6 % ; C : 7 % ; D : 3,5 %

Pas de réponse : 73 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 39 %

Cette dernière question synthétise toutes les relations vues dans l'exercice. Il faut d'abord calculer le facteur relativiste γ , en déduire la durée de vie moyenne du muon dans le référentiel du laboratoire, puis en déduire la distance parcourue. La dispersion des réponses des candidats tend à montrer qu'ils ont répondu à cette question en s'inspirant d'exercices vus en classe, où l'on étudie souvent la détection au sol de muons produits en haute altitude. Les muons produits ici n'ont ni la même origine ni la même vitesse.

Exercice 7



Dans un wagon fermé, on fixe au plafond un pendule constitué d'un solide supposé ponctuel, de masse m , libre d'osciller au bout d'un fil de longueur L et de masse quasi nulle.

51) La hauteur h entre la position du pendule (à un instant quelconque où il est écarté d'un angle θ par rapport à la verticale) et la position d'équilibre (voir schéma) est :

- A) $h = L \cdot \sin \theta$
- B) $h = L \cdot \cos \theta$
- C) $h = L \cdot (1 - \sin \theta)$
- D) $h = L \cdot (1 - \cos \theta)$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 6,5 % ; B : 10 % ; C : 10 % ; D : 36 %

Pas de réponse : 37,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 58 %

Cette question essentiellement géométrique est le préalable à l'étude du pendule pesant. Beaucoup de candidats l'ont tentée, à ce stade de l'énoncé, mais avec des confusions manifestes dans les relations trigonométriques.

Pour des oscillations de faible amplitude, les oscillations sont décrites au cours du temps par une loi horaire de la forme $\theta(t) = \theta_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ où θ_0 représente l'amplitude des oscillations et ω leur pulsation.

52) La loi horaire décrivant l'accélération angulaire du pendule est :

- A) $\frac{d^2 q}{dt^2}(t) = \omega^2 \times q_0 \times \sin(\omega \times t)$
- B) $\frac{d^2 \theta}{dt^2}(t) = -\omega^2 \cdot \theta_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$
- C) $\frac{d^2 \theta}{dt^2}(t) = \omega^2 \cdot \theta_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$
- D) $\frac{d^2 \theta}{dt^2}(t) = -\omega^2 \cdot \theta_0 \cdot \cos(\omega \cdot t)$

Bonne réponse : D

Réponses : A : 3,5 % ; B : 5,5 % ; C : 7 % ; D : 8,5 %

Pas de réponse : 75,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 35 %

Cette question n'est qu'une étape, dans le calcul de la vérification que la loi horaire proposée est solution de l'équation différentielle du mouvement de l'oscillateur. Ni l'établissement de cette équation différentielle, ni sa résolution ne sont au programme de la terminale S. En revanche, la vérification de la solution en fait partie. Il s'agit ici de calculer la dérivée seconde de la position angulaire, pour en obtenir l'accélération angulaire. Cette question a peu été traitée, et le plus souvent mal.

53) La période des oscillations du pendule est :

- A) $T = 2\pi \sqrt{\frac{g}{L}}$
- B) $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$
- C) $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{g}}$
- D) $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{L}}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 10 % ; B : 47 % ; C : 9 % ; D : 5 %

Pas de réponse : 29 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 66 %

Question de cours sur la période des oscillations d'un pendule, au programme de la terminale S. Les candidats pouvaient aussi retrouver la réponse par analyse dimensionnelle, dans la mesure où la constante 2π était systématiquement présente dans tous les choix proposés. Certains auraient dû s'en servir pour vérifier leur réponse.

54) La période des oscillations de grande amplitude du pendule est indépendante de :

- A) la masse du pendule
- B) l'amplitude des oscillations
- C) la longueur du fil
- D) la valeur du champ de pesanteur

Bonne réponse : A

Réponses : A : 48,5 % ; B : 11,5 % ; C : 11,5 % ; D : 5,5 %

Pas de réponse : 23 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 63 %

La réponse à cette question peut se déduire par élimination. D'une part, la formule précédente montre les facteurs jouant sur la période des oscillations d'un pendule : longueur du fil et champ de pesanteur. D'autre part, seules les oscillations de faible amplitude sont isochrones mais ce n'est vrai que pour un angle inférieur à 10-15°. Les candidats s'en sont bien sortis dans l'ensemble.

Le wagon est maintenant en mouvement circulaire et uniforme dans un virage. Dans le référentiel lié au wagon, le pendule est maintenant à l'équilibre dans une position inclinée par rapport à la verticale d'un angle $\beta = 6^\circ$.

55) Dans le référentiel terrestre (considéré comme galiléen), les forces exercées sur la masse suspendue au bout du fil sont :

- A) le poids uniquement
- B) le poids et la tension du fil
- C) le poids, la tension du fil et les frottements de l'air
- D) le poids, la tension du fil, la force centrifuge et les frottements de l'air

Bonne réponse : B

Réponses : A : 6 % ; B : 18 % ; C : 28,5 % ; D : 24 %

Pas de réponse : 23,5 %

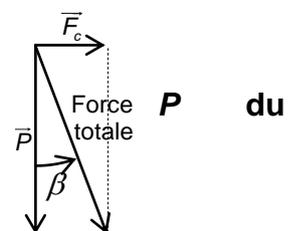
Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 23 %

Cette question est purement logique. Le pendule est évidemment soumis à son poids et relié par un fil suspendu au plafond. De plus, on sait qu'il est enfermé dans un wagon fermé, sans bouger par rapport au wagon (à l'équilibre) donc il ne peut pas y avoir de frottements de l'air. Enfin, la force centrifuge n'existe pas dans le référentiel terrestre. Elle n'apparaîtrait que dans le référentiel du wagon, comme indiqué dans l'énoncé à suivre, pour expliquer pourquoi, dans un référentiel non-galiléen, le pendule immobile reste dans une position inclinée. Dans le référentiel terrestre, le pendule est incliné parce que le wagon est dans un virage et donc, le point de fixation du fil tire le pendule vers l'intérieur du virage.

Dans le référentiel lié au wagon, qui n'est pas galiléen, une force supplémentaire apparaît : la force centrifuge. Elle s'exprime sous la forme $F_c = \frac{m \cdot v^2}{R}$ (v est la vitesse du train, R le rayon de la trajectoire circulaire).

56) (À partir du schéma ci-contre) La relation entre l'angle β , le poids P du pendule et la force centrifuge F_c est :

- A) $F_c = P \cdot \sin \beta$



- B) $F_c = P \cdot \cos \beta$
 C) $F_c = P \cdot \tan \beta$
 D) $F_c = P \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta}$

Bonne réponse : C

Réponses : A : 12,5 % ; B : 10,5 % ; C : 26,5 % ; D : 3,5 %

Pas de réponse : 47 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 50 %

Une autre question essentiellement géométrique. Il faut savoir exploiter un schéma présentant la résultante des forces exercées sur le système. Les candidats butent sur des difficultés d'ordre trigonométrique.

57) La vitesse du train est :

(avec $R = 400 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$; $\sin 6^\circ \approx 0,10$; $\cos 6^\circ \approx 0,99$; $\tan 6^\circ \approx 0,10$)

- A) $v = 9 \text{ m.s}^{-1}$
 B) $v = 20 \text{ m.s}^{-1}$
 C) $v = 36 \text{ m.s}^{-1}$
 D) $v = 64 \text{ m.s}^{-1}$

Bonne réponse : B

Réponses : A : 1,5 % ; B : 14,5 % ; C : 3 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 80 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 74 %

Une question particulièrement bien traitée par les candidats qui ont répondu. Peu de réponses mais il s'agissait de combiner les relations fournies pour en déduire v^2 . De plus les candidats ayant choisi la réponse A à la question précédente n'ont pas été pénalisés ici, puisque les valeurs de $\sin 6^\circ$ et $\tan 6^\circ$ sont proches.

On écarte le pendule de sa position d'équilibre et on le laisse osciller. On remarque que l'amplitude des oscillations décroît au cours du temps.

58) Au cours du temps, l'énergie mécanique du pendule :

- A) reste constante
 B) diminue à cause du travail du poids
 C) diminue à cause du travail des forces de frottements
 D) augmente

Bonne réponse : C

Réponses : A : 11 % ; B : 6 % ; C : 55 % ; D : 0,5 %

Pas de réponse : 27,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 75 %

Une question générale sur l'amortissement des oscillations d'un pendule, bien réussie par l'ensemble des candidats.

59) La loi horaire qui décrit les oscillations libres amorties du pendule est (avec τ une durée caractéristique) :

- A) $\theta(t) = \theta_0 \cdot e^{-t/\tau}$
 B) $\theta(t) = \theta_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{\tau}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t)$
 C) $\theta(t) = \theta_0 \cdot e^{-t/\tau} \cdot \cos(\omega \cdot t)$
 D) $\theta(t) = \theta_0 \cdot e^{+t/\tau} \cdot \cos(\omega \cdot t)$

Bonne réponse : C

Réponses : A : 0,5 % ; B : 3 % ; C : 3,5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 92 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 40 %

Cette question qui n'est pas du tout au programme de la terminale S permet néanmoins d'évaluer le bon sens mathématique des candidats devant des équations à éliminer. Le choix A décroît mais n'oscille pas ; le choix B oscille mais ne diminue pas ; le choix D oscille en augmentant au cours du temps. Les rares candidats qui ont tenté une réponse ont été partagés entre les choix B et C sans penser à observer la limite de cette fonction, qui doit tendre vers zéro (arrêt) au bout d'un certain temps.

La mesure de la pseudo-période des oscillations libres amorties est une autre méthode pour calculer la "pesanteur apparente" ressentie g' dans le wagon. La mesure fournit la valeur $T = (1,97 \pm 0,03)$ s. On mesure par ailleurs la longueur du fil du pendule : $L = (1,000 \pm 0,002)$ m.

On donne la relation permettant de calculer l'incertitude relative $\frac{\Delta g'}{g'}$ de la pesanteur

apparente :
$$\frac{\Delta g'}{g'} = \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta T}{T}.$$

60) La valeur de la pesanteur apparente g' , avec son incertitude, est :

- A) $g' = (10,1 \pm 0,3) \text{ m.s}^{-2}$
- B) $g' = (10,17 \pm 0,03) \text{ m.s}^{-2}$
- C) $g' = (10,172 \pm 0,003) \text{ m.s}^{-2}$
- D) $g' = (10,1724 \pm 0,0003) \text{ m.s}^{-2}$

Bonne réponse : A

Réponses : A : 4 % ; B : 11 % ; C : 4,5 % ; D : 1 %

Pas de réponse : 79,5 %

Bonnes réponses parmi ceux qui ont bien répondu : 19 %

Cette dernière question n'était pas la plus difficile mais la moins bien traitée du sujet. La relation permettant de calculer l'incertitude était fournie, mais au lieu de faire le calcul, plutôt simple par ailleurs, la plupart des candidats ayant tenté une réponse se sont contentés d'estimer le résultat à coups de chiffres après la virgule. La notion de chiffres significatifs n'est pas encore entrée dans les esprits alors qu'elle figure en bonne part au programme de la terminale S. Même sans calcul, on pouvait encore espérer s'en sortir en considérant à la louche que la donnée la plus imprécise, la période, est exprimée avec 3 chiffres significatifs (et non 2 après la virgule). Mais ces considérations approximatives sont en général insuffisantes dans le cadre d'un calcul rigoureux des incertitudes (par exemple 9,99 et 10,01 désignent deux valeurs très proches alors que l'un possède 3 chiffres significatifs, l'autre 4 et si l'on arrondit à 10,0 on perd beaucoup en précision).