

## ARISTOTE, GALILÉE ET NEWTON (6 points)

Pour cet exercice, l'utilisation de la calculatrice est autorisée

Trois siècles avant notre ère, le célèbre savant grec Aristote affirmait qu'"une masse d'or, de plomb ou de tout autre corps pesant, tombe d'autant plus vite qu'elle est grosse"...

Pendant des siècles, son hypothèse paraissait intouchable jusqu'à ce que Galilée, un éminent savant du XVII<sup>ème</sup> siècle mène une série d'expériences du haut de la tour de Pise, en Italie. L'édifice mesure 100 coudées - une coudée est la longueur d'un avant-bras, 50 cm environ - et le savant se munit d'objets divers et variés : une plume, une pomme, une boule de fer de 100 livres et une boule de fer de 1 livre...

L'expérience consiste à envoyer par-dessus bord les objets et observer leur ordre d'arrivée. À l'issue de ce petit jeu, Galilée écrit : "Aristote déclare qu'une boule de fer de 100 livres est déjà descendue d'une hauteur de 100 coudées quand une boule de 1 livre a parcouru seulement une coudée. J'affirme que les deux boules arrivent ensemble." Si vous faites l'expérience, vous verrez que l'écart est de deux largeurs de doigts seulement. Vous ne retrouverez pas avec ces deux doigts les 99 coudées d'écart prévues par Aristote.

Un an après la mort de Galilée, son élève Evangelista Toricelli étudie la chute dans le vide d'une plume et d'une pomme. Dans une enceinte où l'air a été pompé, plume et pomme chutent à la même vitesse exactement.

D'après Science et Vie Junior

### Données :

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}.$$

$$\text{Rayon de la terre } R = 6,371 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$M (\text{Terre}) = 5,99 \times 10^{21} \text{ tonnes.}$$

$$1 \text{ livre} \approx 478 \text{ g.}$$

I. Deux boules de fer de masse respective  $m = 100$  livres et  $m' = 1$  livre sont lâchées sans vitesse initiale du haut de la tour de Pise. On considère les actions de l'air comme négligeables par rapport aux autres forces.

1. On considère que le mot "vite" utilisé par Aristote fait référence à la durée de la chute d'un corps à partir d'une hauteur donnée. Parmi les propositions suivantes, laquelle est soutenue par Aristote ? Par Galilée ? Justifier votre réponse.

a.  $t = k / m$

b.  $t = k' \times m$

c.  $t = k''$ .

$k, k'$  et  $k''$  sont des constantes ;  $t$  désigne la durée de la chute ;  $m$  désigne la masse du corps.

2. En appliquant les lois de la mécanique aux deux boules de fer citées ci-dessus et évoluant dans le champ de pesanteur terrestre considéré comme uniforme de valeur  $g$ , exprimer la vitesse de leur centre d'inertie lorsqu'elles arrivent au sol, ainsi que la durée de leur chute. Ne pas oublier de faire un schéma. (Il n'est pas demandé d'application numérique).

3. Conclure en précisant qui, d'Aristote ou de Galilée, a raison.

II. Galilée trouve un écart de deux doigts lors de la chute des deux boules.

1. À quoi cet écart est-il dû ? Cela est-il confirmé par l'expérience de Toricelli évoquée dans le texte ? Justifier.

2. Donner, à une date  $t$  quelconque, la direction et le sens de la force intervenant dans l'expérience de Galilée, et n'intervenant pas dans celle de Toricelli.

III. Les travaux de Galilée sur la chute des corps, menés du haut de la Tour de Pise, inspirent, plus de 50 ans après, un Britannique, Isaac Newton. En 1686, celui-ci annonce une série de lois sur le mouvement des corps, dont l'une est la "loi de la gravitation universelle".

1. a. Donner les expressions vectorielles des forces gravitationnelles s'exerçant entre deux objets ponctuels A et B de masse respective  $m_A$  et  $m_B$ , et situés à une distance  $d$  l'un de l'autre.

b. En déduire l'expression du champ de gravitation terrestre régnant à une altitude  $z$ . On notera  $G$  la valeur de ce champ de gravitation.

2. On veut vérifier ici que l'hypothèse faite dans les calculs du I. (la valeur du champ de pesanteur était considérée comme constante) est valide. Si on ne garde que deux chiffres significatifs sur la valeur de  $g$ , valeur du champ de pesanteur, on peut la confondre avec  $G$ , valeur du champ de gravitation. Ensuite, compte tenu de la valeur de  $G$ , une variation relative de 1 % modifie le deuxième chiffre significatif de cette valeur.

a. On étudie les variations du champ de gravitation en fonction de l'altitude : A partir de quelle altitude  $G$  varie-t-il de 1 % par rapport à sa valeur au niveau du sol ? En déduire si les variations de  $G$  avec l'altitude sont significatives pour l'expérience de Galilée décrite dans le texte.

b. On cherche maintenant à savoir si des objets posés au sol peuvent modifier de manière significative, du fait de leur masse, la valeur du champ de gravitation au voisinage de la Terre. Au sol est maintenant posé un boulet sphérique de rayon 5 cm et de masse  $m' = 4$  kg.

Calculer la valeur maximale du champ gravitationnel que peut créer le boulet seul, en un point situé à la verticale du boulet. Conclure.

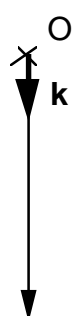
## ARISTOTE, GALILÉE ET NEWTON

Question	Réf. aux compétences inscrites au B.O.
<p>I. 1. Parmi les propositions suivantes, laquelle est soutenue par Aristote ? Par Galilée ? Justifier votre réponse.</p> <p>a. <math>t = k / m</math>      b. <math>t = k' \times m</math>      c. <math>t = k''</math>.</p>	<p><i>Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique.</i></p> <p><i>Identifier, dans un document, le domaine scientifique dans lequel se situent les phénomènes physiques ou chimiques décrits.</i></p> <p><i>Utiliser le vocabulaire scientifique pour définir ou préciser certains termes du document ou éventuellement les rectifier.</i></p>
<p>2. En appliquant les lois de la mécanique aux deux boules de fer citées ci-dessus et évoluant dans le champ de pesanteur terrestre considéré comme uniforme de valeur <math>g</math>, exprimer la vitesse de leur centre d'inertie lorsqu'elles arrivent au sol, ainsi que la durée de leur chute. Ne pas oublier de faire un schéma.</p>	<p>Enoncer et mettre en oeuvre dans le cadre des applications du programme la relation fondamentale de la dynamique.</p> <p><i>Maîtriser les outils mathématiques nécessaires en physique-chimie et compatibles avec le programme de mathématiques de tronc commun en terminale S.</i></p>
<p>3. Conclure qui, d'Aristote ou de Galilée, a raison.</p>	<p><i>Identifier, dans un document, le domaine scientifique dans lequel se situent les phénomènes physiques décrits ;</i></p> <p><i>Utiliser le vocabulaire scientifique pour définir ou préciser certains termes du document ou éventuellement les rectifier.</i></p> <p><i>Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique.</i></p>
<p>II. Galilée trouve un écart de deux doigts lors de la chute des deux boules.</p> <p>1. À quoi cet écart est-il dû ? Cela est-il confirmé par l'expérience de Toricelli évoquée dans le texte ? Justifier.</p> <p>2. Donner la direction et le sens de la force intervenant dans l'expérience de Galilée, et n'intervenant pas dans celle de Toricelli.</p>	<p><i>Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique ;</i></p> <p><i>Prévoir l'évolution d'une situation quand on modifie un des paramètres.</i></p> <p><i>Analyser, en termes scientifiques, une illustration.</i></p> <p>Modéliser les forces de frottement agissant sur un solide en translation sous la forme d'une force de même direction que le vecteur vitesse, de même sens ou de sens opposé.</p> <p><i>Expliquer comment une hypothèse intervient dans une argumentation.</i></p> <p><i>Reconnaître le caractère scientifique d'une argumentation ou d'une description.</i></p>

<p>III. 1. a. Donner les expressions vectorielles des forces s'exerçant entre deux objets ponctuels A et B de masses respectives <math>m_A</math> et <math>m_B</math>, et situés à une distance <math>d</math> l'un de l'autre.</p>	<p>Connaître la loi de gravitation (expression vectorielle), loi universelle.</p>
<p>b. En déduire l'expression du champ de gravitation terrestre régnant à une altitude <math>z</math>.</p>	<p>Connaître l'expression du champ de gravitation créé par un objet ponctuel ou à symétrie sphérique. <i>Maîtriser les outils mathématiques nécessaires en physique-chimie et compatibles avec le programme de mathématiques de tronc commun en terminale S.</i></p>
<p>2. On veut vérifier ici que l'hypothèse faite dans les calculs du I. (la valeur du champ de pesanteur était considérée comme constante) est valide. Si on ne garde que deux chiffres significatifs sur la valeur de <math>g</math>, valeur du champ de pesanteur, on peut la confondre avec <math>G</math>, valeur du champ de gravitation. Ensuite, compte tenu de la valeur de <math>G</math>, une variation relative de 1 % modifie le deuxième chiffre significatif de cette valeur.</p> <p>a. On étudie les variations du champ de gravitation en fonction de l'altitude : Une variation de 1 % sur la valeur de <math>G</math> modifie le deuxième chiffre significatif de cette valeur. A partir de quelle altitude <math>G</math> varie-t-il de 1 % par rapport à sa valeur au niveau du sol ? En déduire si les variations de <math>G</math>, avec l'altitude sont significatives pour l'expérience de Galilée décrite dans le texte.</p>	<p><i>Maîtriser les outils mathématiques nécessaires en physique-chimie et compatibles avec le programme de mathématiques de tronc commun en terminale S.</i> <i>Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ;</i></p> <p><i>Prévoir l'évolution d'une situation quand on modifie un des paramètres.</i></p> <p>Savoir que, dans un domaine restreint au voisinage du sol, le champ de pesanteur est uniforme.</p>
<p>b. On cherche maintenant à savoir si des objets posés au sol peuvent modifier de manière significative, du fait de leur masse, la valeur du champ de gravitation au voisinage de la Terre.</p> <p>Au sol est maintenant posé un boulet sphérique de rayon 5 cm et de masse <math>m' = 4</math> kg.</p> <p>Calculer la valeur maximale du champ gravitationnel que peut créer le boulet seul, en un point situé à la verticale du boulet. Conclure.</p>	<p><i>Maîtriser les outils mathématiques nécessaires en physique-chimie et compatibles avec le programme de mathématiques de tronc commun en terminale S.</i> Connaître l'expression du champ de gravitation créé par un objet ponctuel ou à symétrie sphérique. <i>Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ;</i> <i>Prévoir l'évolution d'une situation quand on modifie un des paramètres.</i></p>

## ARISTOTE, GALILÉE ET NEWTON

### Corrigé

Réponse attendue	barème	Commentaires
<p>I. 1. Aristote : "tombe d'autant plus vite qu'elle est grosse" = t diminue avec m, donc a.</p> <p>Galilée : "les deux boules arrivent ensemble" = t est indépendant de m , donc c.</p>	0,25 0,25	
<p>II. 1. <u>Système</u> : boule ; <u>Référentiel</u> : terrestre considéré comme galiléen ; <u>Bilan des forces extérieures</u>: <b>P</b> le poids ;</p> <p>Théorème du centre d'inertie : <math>\Sigma \mathbf{F} = m \mathbf{a}</math> ; donc <math>m \mathbf{g} = m \mathbf{a}</math> ; On projette la relation vectorielle sur un axe vertical, dirigé vers le bas, d'origine O le point d'où est lâchée la boule et de vecteur unitaire <b>k</b> :</p> <div style="text-align: center;">  <p>The diagram shows a vertical axis with an origin point labeled 'O' at the top. A downward-pointing arrow is labeled 'k', representing the unit vector in the direction of gravity.</p> </div> <p><math>\mathbf{a} = g \mathbf{k} = d\mathbf{V} / dt</math> et <math>\mathbf{V}_0 = \mathbf{0}</math>, donc <math>\mathbf{V} = g t \mathbf{k} = d \mathbf{OM} / dt</math> et <math>M_0 = O</math>, donc <math>\mathbf{OM} = 1/2 g t^2 \mathbf{k}</math>.</p> <p>Quand la boule arrive au sol, <math>z = h</math>, donc <math>h = 1/2 g t_s^2</math>, donc <math>t_s = \sqrt{2h / g}</math> et <math>V = \sqrt{2 g h}</math>.</p>	0,25 0,25 0,25 0,25 0,25	<p>la figure est exigée</p> <p>On peut aussi utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour trouver l'expression de v.</p>
<p>3. Les deux boules mettent le même temps pour arriver, arrivent avec la même vitesse, donc Galilée a raison et Aristote a tort.</p>	0,25	
<p>II. 1. L'écart est dû aux frottements de l'air ; Cela est confirmé par l'expérience de Toricelli : dans le vide, les résultats concordent car il n'y a pas de frottements.</p> <p>2. La force de frottement a ici la même direction que le vecteur vitesse, et un sens opposé.</p>	0,25 0,25 0,25	
<p>III. 1.a. <math>\mathbf{F}_{A/B} = - G m_A m_B / d^2 \mathbf{u}</math> ; <math>\mathbf{F}_{B/A} = G m_A m_B / d^2 \mathbf{u}</math> ; <b>u</b> est un vecteur unitaire dirigé de A vers B.</p>	0,25 0,25 0,25	<b>u</b> peut aussi être défini par un schéma
<p>b. <math>F = - G m M / d^2 \mathbf{u} = - G m M / (R+z)^2 \mathbf{u} = m G</math>, Donc <math>G = G M / (R+z)^2</math></p>	0,25 0,25	

2.a. $(G, (0) - G, (h)) / G, (0) = 1\% = 0,01$ .	0,25	
Donc $G, (h) = 0,99 \times G, (0) = G M / (R+z)^2 = 0,99 \times G M / R^2$	0,25	
Donc $z = R / \sqrt{0,99} - R = 6371 (1 / \sqrt{0,99} - 1) = 32 \text{ km}$ .	0,25	
Les variations de $G,$ ne sont donc pas significatives : $50 \text{ m} \ll 32 \text{ km}$ .	0,25	
b. $G, b \text{ max pour } z \text{ mini} = r = 5 \text{ cm}$ ;	0,25	
$G, b \text{ max} = G m' / r^2 = 6,67 \cdot 10^{-11} \times 4 / 0,05^2 = 1,0672 \cdot 10^{-7} \text{ N.kg}^{-1}$ .	0,25	
Le centre du boulet, le centre de la Terre et le point situé à la verticale du boulet sont alignés. Donc $G, \text{ total} = G_T + G_b$ .		
$G_b \ll G_T$ , on peut donc négliger l'influence du boulet sur l'étude faite plus haut.	0,25	