3 Newton et la gravitation

▶ p. 102 du manuel

Compléments

Ressources numériques

La simulation « Interaction gravitationnelle entre deux planètes », disponible dans le manuel numérique enrichi, peut être utilisée en complément de cette activité.

Compétences mises en œuvre

- Calculer la force d'attraction gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps à répartition sphérique de masse.
- Savoir que la pesanteur terrestre résulte de l'attraction terrestre.

Commentaires sur la stratégie pédagogique proposée

Nous avons choisi un texte très accessible issu du magazine *Science et Vie Junior*. Ce texte nous a paru intéressant, car il présente l'interaction gravitationnelle de façon très simple.

Réponses

1. $F = G \times \dfrac{m_T \times m_L}{d^2}$

Si l'une des masses augmente, la valeur F de la force augmente, car les masses sont situées au numérateur de l'expression. En revanche, la distance est au dénominateur, donc, lorsque la distance augmente, la valeur de la force diminue. Elle diminue rapidement, car la distance d au dénominateur est élevée au carré. Cela correspond à la phrase en gras du texte.

2. « Le minus attire aussi la maousse » signifie que le stylo attire aussi la Terre, ou que la Lune attire aussi la Terre.

3. a. $P = m \times g = 50{,}0 \times 9{,}81 \approx 4{,}91 \times 10^2$ N

b. $F = G \times \dfrac{m_T \times m_L}{d^2}$

$F = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \dfrac{50{,}0 \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6{,}37 \times 10^6)^2} \approx 4{,}91 \times 10^2$ N

4. Les valeurs du poids et de la force d'attraction gravitationnelle sont égales, à trois chiffres significatifs près.

Exercices

▶ p. 107 à 113 du manuel

QCM

Un QCM supplémentaire interactif est disponible dans le manuel numérique enrichi (enseignant et élève).

1 **1.** B ; **2.** A et B ; **3.** C.

2 **1.** A et B ; **2.** B et C.

3 **1.** C ; **2.** A et B.

Application immédiate

Une version diaporama de l'exercice résolu est disponible dans le manuel numérique enrichi (enseignant et élève).

5 **1.** D'après l'orientation du segment fléché, il s'agit de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le satellite sur la Terre.

2. a. $F_{S/T} = G \times \dfrac{m_S \times m_T}{d_{ST}^2}$ avec d_{ST} la distance séparant les centres du satellite et de la Terre.

b. $F_{S/T} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \dfrac{11 \times 10^3 \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(13{,}4 \times 10^6)^2}$

soit $F_{S/T} \approx 2{,}4 \times 10^4$ N

La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le satellite sur la Terre est $2{,}4 \times 10^4$ N.

Corrigés des exercices

Grille d'évaluation des compétences spécifiques du chapitre : voir www.hachette-education.com (fiche du manuel).

6 La force gravitationnelle est toujours attractive.

7 C'est le schéma **a** qui représente correctement l'interaction gravitationnelle entre les corps A et B, car les deux forces sont attractives.

8 **1.** La flèche du schéma représente la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{S/T}$ exercée par le satellite sur la Terre.

2. $F_{S/T} = G \times \dfrac{m_T \times m_{sat}}{d^2}$

9 **1. a.** La valeur $F_{T/L}$ de la force exercée par la Terre sur la Lune a pour expression :

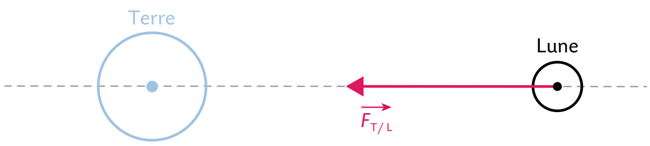
$$F_{S/L} = G \times \frac{m_S \times m_L}{d_{SL}^2}$$

b. $F_{T/L} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \dfrac{5{,}97 \times 10^{24} \times 7{,}35 \times 10^{22}}{(3{,}8 \times 10^8)^2}$

soit $F_{T/L} \approx 2{,}0 \times 10^{20}$ N

La force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune a pour valeur $2{,}0 \times 10^{20}$ N.

2. Représentation de la force exercée par la Terre sur la Lune :



10 **1.** La valeur $F_{S/L}$ de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Lune a pour expression :

$$F_{S/L} = G \times \frac{m_S \times m_L}{d_{SL}^2}$$

b. $F_{S/L} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{2,0 \times 10^{30} \times 7,35 \times 10^{22}}{(1,5 \times 10^{11})^2}$

soit $F_{S/L} \approx 4,4 \times 10^{20}$ N

La force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Lune a pour valeur $4,4 \times 10^{20}$ N.

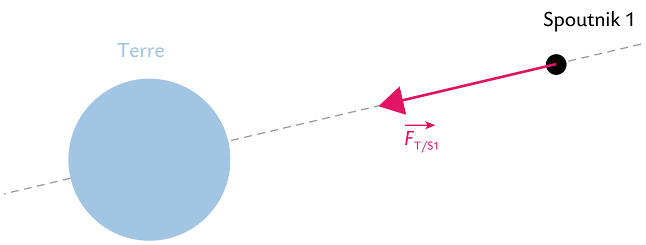
3. Les forces $\vec{F}_{S/L}$ et $\vec{F}_{L/S}$ sont opposées ; elles ont donc la même valeur d'où $F_{L/S} \approx 4,4 \times 10^{20}$ N.

11 **1.** La valeur $F_{T/S1}$ de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur Spoutnik 1 a pour expression :

$$F_{T/S1} = G \times \frac{m_T \times m_{S1}}{d_{TS1}^2}$$

avec G la constante universelle de gravitation en $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$, m_T la masse de la Terre en kg, m_{S1} la masse de Spoutnik 1 en kg et d_{TS1} la distance qui sépare le satellite du centre de la Terre exprimée en m.

2. Représentation de la force :



12 Les valeurs manquantes sont :

F (en N)	m_A (en kg)	m_B (en kg)	d (en m)
79	$3,5 \times 10^2$	$5,97 \times 10^{24}$	$4,2 \times 10^7$
$2,0 \times 10^{20}$	**$7,3 \times 10^{22}$**	$5,97 \times 10^{24}$	$3,8 \times 10^8$
$3,5 \times 10^{22}$	$2,0 \times 10^{30}$	$5,97 \times 10^{24}$	**$1,5 \times 10^{11}$**

13 **1.** Le poids d'un corps sur Terre est assimilé à la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur ce corps.

2. a. $P = m \times g$

b. P s'exprime en newton (N), m en kilogramme (kg) et g en newton par kilogramme ($N \cdot kg^{-1}$).

14 **1.** $m = \frac{P_L}{g_L}$ soit $m \approx \frac{34,7}{1,62} \approx 21,4$ kg

La masse des roches lunaires ramenées sur Terre est 21,4 kg.

2. $P = m \times g$ soit $P = 21,4 \times 9,81 \approx 2,10 \times 10^2$ N

Le poids de ces roches sur Terre est de $2,10 \times 10^2$ N.

3. $\frac{P}{P_L} = \frac{m \times g}{m \times g_L} = \frac{g}{g_L}$ d'où $\frac{P}{P_L} = \frac{9,81}{1,62} \approx 6,06$

Les roches ont un poids sur la Lune dont la valeur est environ 6 fois inférieure à celle de leur poids sur la Terre.

15 **a.** À l'équateur, le poids de la personne a une valeur $P_e = m \times g_{\text{équateur}}$ soit $P_e = 65,5 \times 9,78 \approx 641$ N.

b. Au pôle, son poids a une valeur $P_p = m \times g_{\text{pôle}}$ soit $P_p = 65,5 \times 9,83 \approx 644$ N.

16 **1.** Un corps est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme si et seulement si les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

2. D'après le principe d'inertie, le système est soumis à des forces :

a. qui ne se compensent pas ;

b. qui se compensent ;

c. qui ne se compensent pas.

3. Un corps soumis à des forces qui ne se compensent pas n'a pas un mouvement rectiligne uniforme.

17 **1.** La Terre n'a pas un mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel héliocentrique. D'après le principe d'inertie, elle est soumise à des forces qui ne se compensent pas.

2. La sonde Voyager 1 n'est soumise à aucune force d'attraction gravitationnelle. D'après le principe d'inertie, elle a un mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel héliocentrique.

18 C'est le schéma **a** qui représente correctement l'interaction gravitationnelle entre les corps A et B, car les deux forces sont attractives ; elles ont la même direction, la même valeur mais sont de sens opposés.

19 **1.** Cette force est appelée force d'attraction gravitationnelle.

2. $F_{T/S2} = G \times \frac{m_T \times m_2}{d_1^2} = G \times \frac{m_T \times 2m_1}{d_1^2}$

$F_{T/S2} = 2\, F_{T/S1}$

La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur un satellite ayant une masse deux fois plus grande et situé à la même distance du centre de la Terre est deux fois plus importante.

3. $F_{T/S3} = G \times \frac{m_T \times m_3}{d_3^2} = G \times \frac{m_T \times m_1}{\left(\frac{d_1}{2}\right)^2} = 4\,G \times \frac{m_T \times m_1}{d_1^2}$

$F_{T/S3} = 4\, F_{T/S1}$

Lorsqu'on divise par deux la distance qui sépare un satellite du centre de la Terre, la valeur de la force d'attraction gravitationnelle est multipliée par quatre.

20 **1. a.** Le satellite se situe à une distance $d_{TS} = R_T + h$ du centre de la Terre. h est l'altitude du satellite d'où :

$$d_{TS} = 6,37 \times 10^3 + 23\,222 \approx 2,96 \times 10^4 \text{ km}$$

b. La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite a pour expression :

$F_{T/S} = G \times \frac{m_T \times m_S}{d_{TS}^2}$

$F_{T/S} \approx 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 700}{(2,96 \times 10^7)^2}$

soit $F_{T/S} \approx 3,18 \times 10^2$ N

2. a. Le satellite a une trajectoire circulaire dans le référentiel géocentrique.

b. Le satellite n'a pas un mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel géocentrique. D'après le principe d'inertie, il est donc soumis à des forces qui ne se compensent pas.

21 **1.** Soit m la masse d'Armstrong équipé.

$m = \frac{P_L}{g_L}$ soit $m = \frac{229}{1,62} \approx 141$ kg

$m_E = m - m_A$ soit $m_E \approx 141 - 70 = 71$ kg

La masse de l'équipement d'Armstrong est donc 71 kg.

2. $P_T = m \times g$ soit $P \approx 141 \times 9,81 \approx 1,39 \times 10^3$ N

La valeur du poids d'Armstrong et de son équipement sur Terre est $1,39 \times 10^3$ N.

3. $\frac{P_T}{P_L} = \frac{m \times g}{m \times g_L} = \frac{g}{g_L}$ soit $\frac{P_T}{P_L} = \frac{9,81}{1,62} \approx 6,06$

Armstrong a un poids dont la valeur est environ 6 fois moins importante sur la Lune que sur la Terre.

L'attraction qu'exerce la Lune sur Armstrong lorsqu'il est sur la Lune est bien plus faible que l'attraction exercée par la Terre sur Armstrong lorsqu'il est sur la Terre. Il lui est donc beaucoup plus aisé de faire des bonds sur la Lune que sur la Terre.

22 **Traduction :** *Hubble trouve une nouvelle lune de Neptune*

En analysant les photos de Neptune prises par le télescope spatial Hubble, l'astronome Mark Showalter de l'Institut SETI a remarqué un point blanc supplémentaire à environ 65 400 miles de Neptune, situé entre les orbites des lunes Larissa et Proteus. Les sensibilité et netteté extraordinaires d'Hubble ont permis de détecter un objet environ 100 millions de fois moins brillant que l'étoile la moins brillante qui puisse être vue à l'œil nu.

Heureusement, Showalter avait également 150 photographies d'archives de Neptune prises par Hubble de 2004 à 2009. Le même point blanc est apparu à maintes reprises. Cela lui a permis de tracer une orbite circulaire de la lune, nommée S/2004 N 1, qui effectue un tour complet autour de Neptune toutes les 23 heures. Cette découverte augmente le nombre connu de lunes en orbite autour de Neptune à 14.

1. Le nombre de lunes de Neptune découvertes à ce jour s'élève à 14.

2. La trajectoire de la lune S/2004 N 1 par rapport au centre de Neptune est circulaire.

3. L'expression de la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par Neptune sur S/2004 N 1 s'écrit :

$$F_{N/S} = G \times \frac{m_N \times m_S}{d^2}$$

avec m_S en kilogramme, d la distance séparant les centres de Neptune et de S/2004 N 1 exprimée en mètre.

4. a. D'après l'expression littérale précédente :

$$k = G \times \frac{m_N}{d^2}$$

b. $d = 65\,400 \text{ miles} = 65\,400 \times 1\,609 \text{ m}$

$$k = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{1{,}0 \times 10^{26}}{(65\,400 \times 1\,609)^2} \approx 0{,}60 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$$

23 **1.** La force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{T/C}$ est une force qui passe par les centres du corps et de la Terre ; cette direction est donc confondue avec la verticale. Elle est dirigée du corps vers la Terre.

2. La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur ce corps a pour expression :

$$F_{T/C} = G \times \frac{m_T \times m}{R_T^2}$$

3. k a pour expression :

$$k = G \times \frac{m_T}{R_T^2}$$

$$k = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24}}{(6{,}37 \times 10^6)^2} \approx 9{,}81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$$

4. On peut assimiler le poids $\vec{P}$ d'un corps à la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur ce corps, car ces deux forces ont mêmes direction, sens et valeur.

24 **1.** Spot 6 parcourt une distance égale à $2\pi(R_T + h)$ en $\Delta t = 99$ min, avec $h = 721$ km.

On a donc :

$$v = \frac{2\pi(R_T + h)}{\Delta t}$$

$$v = \frac{2\pi \times (6{,}37 \times 10^6 + 721 \times 10^3)}{99 \times 60}$$

$v \approx 7{,}5 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

La vitesse de Spot 6 dans le référentiel géocentrique a une valeur de $7{,}5 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

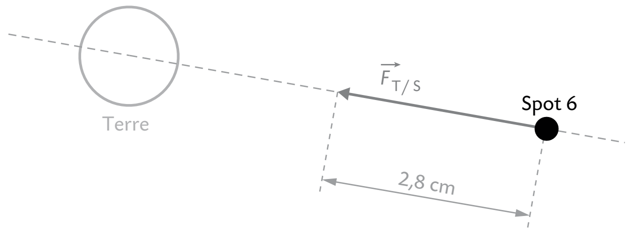
2. $F_{T/S} = G \times \frac{m \times m_T}{(R_T + h)^2}$

$$F_{T/S} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{712 \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6{,}37 \times 10^6 + 721 \times 10^3)^2}$$

$F_{T/S} \approx 5{,}64 \times 10^3$ N

La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur Spot 6 est $5{,}64 \times 10^3$ N.

3. Avec l'échelle indiquée, la longueur du segment fléché sur le schéma est $\frac{5{,}64}{2} \approx 2{,}8$ cm.



4. $\vec{F}_{S/T}$ et $\vec{F}_{T/S}$ ont la même direction, des sens opposés et la même valeur. La représentation est donc correcte.

25 **Réponses aux pistes de résolution** (p. 334)

1. Le Soleil attire d'autant plus une planète que la masse de cette dernière est grande et que la distance qui sépare les centres du Soleil et de cette planète est petite.

2. D'après les données du texte, la masse de Vénus est plus faible que celle de la Terre et la période de révolution de Vénus autour du Soleil est plus petite que celle de la Terre autour du Soleil.

3. La valeur $F_{S/P}$ de la force exercée par le Soleil de masse m_S sur une planète P de masse m_P dont les centres sont séparés de la distance r a pour expression :

$$F_{S/P} = G \times \frac{m_S \times m_P}{r^2}$$

4. On dispose de la constante G.

Pour la Terre, on dispose de la masse de la Terre et de la distance entre le centre de la Terre et celui du Soleil. Il manque la masse du Soleil.

Pour Vénus, on dispose de la masse de Vénus. Il manque la masse du Soleil et la distance entre les centres du Soleil et de Vénus.

5. On connaît la période de révolution T_T de la Terre autour du Soleil, ainsi que la distance r_T séparant leurs centres. Avec la 3e loi de Kepler, on peut calculer la constante de Kepler et donc la masse du Soleil.

On connaît maintenant la constante de Kepler et la période de révolution T_V de Vénus autour du Soleil. Avec la 3e loi de Kepler on peut calculer la distance r_V entre les centres du Soleil et de Vénus.

6. $\frac{T_T^2}{r_T^3} = \frac{4\pi^2}{G \times m_S}$ d'où $m_S = \frac{4\pi^2 \times r_T^3}{G \times T_T^2}$

$$\text{soit } m_S = \frac{4\pi^2 \times (1{,}50 \times 10^{11})^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times (365{,}25 \times 24 \times 3\,600)^2}$$

$m_S \approx 2{,}0 \times 10^{30}$ kg

La masse du Soleil est $2{,}0 \times 10^{30}$ kg.

$$r_V = \sqrt[3]{\frac{T_V^2 \times G \times m_S}{4\pi^2}}$$

$$r_V \approx \sqrt[3]{\frac{(224{,}7 \times 24 \times 3\,600)^2 \times 6{,}67 \times 10^{-11} \times 2{,}0 \times 10^{30}}{4\pi^2}}$$

$r_V \approx 1{,}1 \times 10^{11}$ m

Le rayon r_V de l'orbite de Vénus est $1{,}1 \times 10^{11}$ m.

La valeur $F_{S/V}$ de la force exercée par le Soleil sur Vénus a pour expression :

$F_{S/V} = G \times \frac{m_S \times m_V}{r_V^2}$

$F_{S/V} \approx 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{2{,}0 \times 10^{30} \times 4{,}87 \times 10^{24}}{(1{,}1 \times 10^{11})^2}$

$F_{S/V} \approx 5{,}4 \times 10^{22}$ N

La valeur $F_{S/T}$ de la force exercée par le Soleil sur la Terre a pour expression :

$F_{S/T} = G \times \frac{m_S \times m_T}{r_T^2}$

$F_{S/T} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{2{,}0 \times 10^{30} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(1{,}50 \times 10^{11})^2}$

$F_{S/T} \approx 3{,}5 \times 10^{22}$ N

On constate que $F_{S/V} > F_{S/T}$, donc c'est Vénus qui est la plus attirée par la Soleil.

Une réponse possible

• Introduction présentant la problématique :

Vénus et la Terre sont toutes deux attirées par le Soleil. Leur masse et le rayon de leur orbite étant différents, on cherche laquelle de ces deux planètes est la plus attirée par le Soleil.

• Mise en forme de la réponse :

La force de gravitation exercée par le Soleil, de masse m_S, sur une planète de masse m_P dont le centre est situé à la distance r de celui du Soleil est :

$$F_{S/P} = G \times \frac{m_S \times m_P}{r^2}$$

La distance r_T entre le centre de la Terre et celui du Soleil est le rayon de l'orbite de la Terre :

$$r_T = 1{,}50 \times 10^8 \text{ km}, \quad \text{soit } 1{,}50 \times 10^{11} \text{ m}$$

La période de révolution T_T de la Terre autour du Soleil est de 365,25 jours : $T_T = 365{,}25 \times 24 \times 3\,600$ s

La masse du Soleil est obtenue à partir de la 3e loi de Kepler décrite dans le **doc. 1** :

$\frac{T_T^2}{r_T^3} = \frac{4\pi^2}{G \times m_S}$ qui conduit à $m_S = \frac{4\pi^2 \times r_T^3}{G \times T_T^2}$

soit $m_S = \frac{4\pi^2 \times (1{,}50 \times 10^{11})^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times (365{,}25 \times 24 \times 3600)^2}$

Donc $m_S \approx 2{,}0 \times 10^{30}$ kg

Les masses de la Terre et de Vénus sont indiquées dans le texte :

$$m_V = 4{,}87 \times 10^{24} \text{ kg} \quad \text{et} \quad m_T = 5{,}97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

La distance r_V entre le centre de Vénus et celui du Soleil est le rayon de l'orbite de Vénus. On la calcule à partir de la 3e loi de Kepler :

$r_V = \sqrt[3]{\frac{T_V^2 \times G \times m_S}{4\pi^2}}$

soit $r_V = \sqrt[3]{\frac{(224{,}7 \times 24 \times 3600)^2 \times 6{,}67 \times 10^{-11} \times 2{,}0 \times 10^{30}}{4\pi^2}}$

Donc $r_V \approx 1{,}1 \times 10^{11}$ m

On peut alors calculer la valeur de la force exercée par le Soleil sur chacune de ces planètes :

$F_{S/V} = G \times \frac{m_S \times m_V}{r_V^2}$

soit $F_{S/V} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{2{,}0 \times 10^{30} \times 4{,}87 \times 10^{24}}{(1{,}1 \times 10^{11})^2}$

Donc $F_{S/V} \approx 5{,}5 \times 10^{22}$ N

et

$F_{S/T} = G \times \frac{m_S \times m_T}{r_T^2}$

soit $F_{S/T} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{2{,}0 \times 10^{30} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(1{,}50 \times 10^{11})^2}$

Donc $F_{S/T} \approx 3{,}5 \times 10^{22}$ N

On a donc $F_{S/V} > F_{S/T}$.

• Conclusion revenant sur la problématique :

Vénus et la Terre sont toutes deux attirées par le Soleil, mais, de ces deux planètes, c'est Vénus qui est la plus attirée par la Soleil.

Grille d'évaluation pour le professeur : voir p. 52.

26 **1. a.** La sonde Cassini-Huygens se situe à la distance $d = 6\,052 + 287 = 6\,339$ km du centre de Vénus le 26 avril 1998.

b. La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par Vénus sur Cassini-Huygens a pour expression :

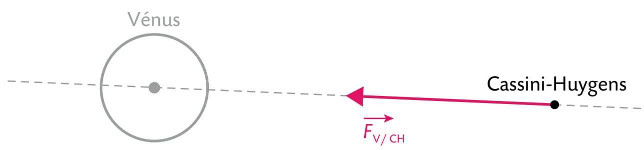
$$F_{V/CH} = G \times \frac{m_V \times m}{d^2}$$

c. $F_{V/CH} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{4{,}87 \times 10^{24} \times 5{,}6 \times 10^3}{(6\,339 \times 10^3)^2}$

$F_{V/CH} \approx 4{,}5 \times 10^4$ N

La valeur de la force exercée par Vénus sur Cassini-Huygens le 26 avril 1998 est $4{,}5 \times 10^4$ N.

d.



2. a. La force $\vec{F}_{V/CH}$ a pour effet de modifier la trajectoire et la valeur de la vitesse de la sonde Cassini-Huygens.

b. À partir de la position A, sans la planète, la trajectoire de la sonde dans le référentiel héliocentrique serait rectiligne suivant la direction de la flèche orange.

3. L'assistance gravitationnelle permet de modifier le mouvement d'une sonde sans avoir besoin d'utiliser de l'énergie pour faire fonctionner un moteur.