

Corrigés des exercices

Tableau des capacités exigibles par exercice

Capacité exigible	5 minutes chrono et QCM	Exercices résolus	Exercices rapides	Appliquer	S'entraîner	Objectif Première
<ul style="list-style-type: none"> Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié par une force. Représenter une force par un vecteur ayant une norme, une direction, un sens. 	2, 3, 6, 7	14, 39	15	18, 19, 20, 21, 22, 31, 32, 40	43, 44, 46, 48	50, 51
Exploiter le principe des actions réciproques.	4, 8, 9		23, 24, 25	26, 27, 32, 36, 37, 38	41, 44, 48	
Distinguer actions à distance et actions de contact.	1		16	17, 22	44, 48	
Identifier les actions modélisées par des forces dont les expressions mathématiques sont connues <i>a priori</i> .	10		29	31, 32	42, 43, 45, 46, 48	50, 51
Utiliser l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle.	12	13, 39	28, 29	31, 33, 35, 40	46, 47	50, 51
Utiliser l'expression vectorielle du poids d'un objet, approché par la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur cet objet à la surface d'une planète.	5		29	34	45, 46, 49	51
Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support dans des cas simples relevant de la statique.	11			30		

Exercices 1 à 12

Corrigés dans le manuel.

13 Calculer la norme d'une force APPLICATION

$$F_2 = G \times \frac{M \times m}{d^2}$$

$$\text{soit } F_2 = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{500 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 10,0 \text{ kg}}{(3,00 \times 10^3)^2 \text{ m}^2}$$

$$F_2 = 3,71 \times 10^{-17} \text{ N.}$$

14 Représenter une force par un vecteur

APPLICATION

Une solution :



15 **ORAL** Si l'exercice donne lieu à une présentation orale, la grille suivante peut être utilisée pour évaluer le niveau de maîtrise de la compétence « communiquer à l'oral ».

INDICATEURS POUR LA COMPÉTENCE « COMMUNIQUER À L'ORAL »

NIVEAU DE MAÎTRISE

A B C D

- Expression convenable devant l'auditoire (articulation, niveau sonore suffisant, débit ni trop lent ni trop rapide).
- Regard porté sur l'auditoire et utilisation du support visuel (pas ou peu de lecture de notes).
- Exposé apportant les éléments de réponse attendus, utilisant un vocabulaire adapté et rigoureux.
- Si la contrainte de temps est imposée : respect du temps imparti et répartition équitable du temps de parole entre les différents orateurs.

Parmi les éléments attendus, vérifier que l'acteur et le receveur sont convenablement identifiés, que les caractéristiques de la force sont cohérentes avec l'action qu'elle modélise et que la force est convenablement représentée.

16 L'action exercée par le fil sur la bille est une action de contact. Elle nécessite que l'acteur (le fil) touche le receveur (la bille) pour s'exercer. Au contraire, celle exercée par la Terre sur la bille est une action à distance.

17 Identifier des actions de contact ou à distance

Corrigé dans le manuel.

18 Représenter des forces



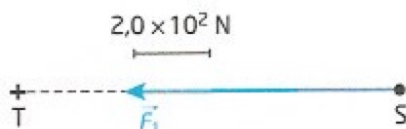
19 Utiliser une échelle de représentation

Longueur (en cm)	Norme (en N)
1,5	300
2,1	F_1

$$F_1 = \frac{2,1 \text{ cm} \times 300 \text{ N}}{1,5 \text{ cm}} = 4,2 \times 10^2 \text{ N.}$$

20 Respecter une échelle de représentation

HISTOIRE DES SCIENCES



21 Comparer des forces

a. Sur le papier les tailles des vecteurs sont dans le rapport 1 pour 2.

Longueur (en cm)	Norme (en N)
0,6	350
1,2	F_2

$$F_2 = \frac{1,2 \text{ cm} \times 350 \text{ N}}{0,6 \text{ cm}} = 7 \times 10^2 \text{ N.}$$

b. Les forces représentées ont la même direction, mais des sens opposés et des normes différentes.

Pour la troisième différence, on peut citer :

- la modélisation d'une action de contact pour l'une et d'une action à distance pour l'autre ;
- la dépendance à des paramètres différents : la vitesse du système pour l'une et pas pour l'autre ;
- l'évolution au cours du temps, en augmentation pour l'une et pas pour l'autre qui reste sensiblement constante ;
- les auteurs des actions qu'elles modélisent (acteurs) qui sont différents : l'air pour l'une et la Terre pour l'autre ; il s'agit bien d'une différence au même titre que le sens et la norme. Deux forces ne se distinguent pas forcément par l'auteur de l'action qu'elles modélisent. Exemples : portance et traînée, réaction normale d'un support et force de frottement de ce même support.

22 Analyser en termes de forces

HISTOIRE DES SCIENCES

a. Le système est le cosmonaute (A) en orbite autour de la Terre de centre (T), relié à la capsule (C) par un filin. La force modélisant l'action exercée par la Terre a pour direction la droite (AT) et est orientée vers T.

La force modélisant l'action exercée par le filin tendu a pour direction le filin tendu et est orientée vers C.

Lorsque le filin est détendu, seule la force modélisant l'action exercée par la Terre est prise en considération.

Remarque : l'interaction gravitationnelle entre A et C est négligée devant les autres interactions.

b. L'action exercée par la Terre est une action à distance. L'action exercée par le filin est une action de contact.

23 **ORAL** Les éléments attendus dans le contenu sont les suivants :

- l'acteur et le receveur sont convenablement identifiés pour décrire les actions réciproques dans le bilan de l'exemple concret choisi ;
- les actions identifiées sont réciproques l'une de l'autre ;
- les caractéristiques des forces sont cohérentes avec les actions qu'elles modélisent ;
- les forces sont convenablement représentées sur le support visuel ;
- le principe des actions réciproques s'exprime à travers l'exemple choisi en terme de relation vectorielle ;
- le principe des actions réciproques s'exprime à travers l'exemple choisi en termes de caractéristiques : même direction, même norme, mais des sens opposés.

Une évaluation par curseur du contenu est possible :

Niveau de maîtrise	A	B	C	D
Nombre d'éléments présents	6	4 ou 5	2 ou 3	0 ou 1

24 Quel que soit leur état de mouvement ou de repos, deux systèmes A et B en interaction exercent l'un sur l'autre des forces vérifiant la relation vectorielle :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

$\vec{F}_{A/B}$ est la force exercée par A sur B
 $\vec{F}_{B/A}$ est la force exercée par B sur A

25 D'après le principe des actions réciproques :

$$\vec{F}_{\text{poing/table}} = -\vec{F}_{\text{table/poing}}$$

La force modélisant l'action exercée par le poing sur la table et celle modélisant l'action exercée par la table sur le point ont donc :

- même direction ;
- même norme : $F_{\text{poing/table}} = F_{\text{table/poing}}$;
- des sens opposés, la première $\vec{F}_{\text{poing/table}}$ étant vers le bas et la seconde $\vec{F}_{\text{table/poing}}$ vers le haut.

26 Expliquer la propulsion d'une fusée

a. L'énoncé permet d'identifier $\vec{F}_{B/A}$ comme étant la force modélisant l'action exercée par les gaz.
La figure conduit à dire que cette force est de direction verticale et de sens vers le haut.

b. D'après le principe des actions réciproques : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$.
 $\vec{F}_{A/B}$ a donc la même direction que $\vec{F}_{B/A}$, mais un sens opposé.
 $\vec{F}_{A/B}$ est donc de direction verticale et de sens vers le bas, ce que confirme la figure.

c. Le principe des actions réciproques implique que ces forces sont de même norme : $F_{A/B} = F_{B/A}$.
La détermination demandée implique des éléments de justification en appui de la figure et/ou du principe des actions réciproques.

Cet exercice donne l'occasion d'explicitier l'une des fonctions du modèle (celui des forces ici) couplé à une loi ou un principe (celui des actions réciproques) : expliquer une observation (la propulsion d'une fusée). Une autre fonction est de prévoir.

27 Expliquer une mise en mouvement (ORAL)

Les éléments attendus dans le contenu sont les suivants :

- l'acteur et le receveur sont convenablement identifiés pour décrire les actions modélisées ;
- les actions sont identifiées et sont réciproques l'une de l'autre ;
- les caractéristiques des forces sont cohérentes avec les actions qu'elles modélisent ;
- les forces sont convenablement représentées sur le support visuel ;
- le principe des actions réciproques s'exprime bien à travers l'exemple choisi en terme de relation vectorielle : même direction, même norme, mais des sens opposés.

Il s'agit dans cet exercice d'interpréter une observation : la mise en mouvement d'un système. Les trois qualités recherchées dans l'explication peuvent être le fait qu'elle soit complète, cohérente et rigoureuse pour évaluer ou commenter le support et la présentation orale qui l'accompagne éventuellement.

28 (ORAL) Vérifier que :

- les trois caractéristiques (direction, sens et norme) de la force d'interaction gravitationnelle sont données en s'appuyant sur un schéma ;
- l'expression vectorielle est communiquée correctement, soit dans la présentation elle-même soit à la suite d'un questionnement à l'issue de la présentation.

29 Les caractéristiques du poids d'une balle sont :

- direction : verticale par définition ;
- sens : de la balle vers la Terre car le poids est égal, en première approximation, à la force d'interaction gravitationnelle qui est une force attractive ;
- norme : $P = m \times g = 0,050 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,49 \text{ N}$.

30 Représenter une force modélisant l'action d'un support

Corrigé dans le manuel.

31 Apprendre à rédiger

Corrigé dans le manuel.

32 Retour sur l'ouverture du chapitre

a. $P = m \times g = 70 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} = 6,9 \times 10^2 \text{ N}$.

b. À l'échelle de 1 cm pour 300 N, la situation peut être modélisée ainsi :



c. Pour les forces modélisant les actions exercées sur le « slacker » :

- le poids \vec{P} du « slacker » est de direction verticale, de sens vers le bas et de norme $6,9 \times 10^2 \text{ N}$;
- $\vec{F}_{S/K}$ est opposée au poids, donc a même direction (verticale), même norme ($6,9 \times 10^2 \text{ N}$), mais un sens opposé (vers le haut).

Pour les forces modélisant les actions exercées par le « slacker » :

- $\vec{F}_{K/S}$ est opposée à $\vec{F}_{S/K}$ d'après le principe des actions réciproque, donc a même direction (verticale), même norme ($6,9 \times 10^2 \text{ N}$), mais un sens opposé (vers le bas) ;
- $\vec{F}_{K/\text{Terre}}$, qui modélise l'action exercée par le « slacker » sur la Terre, est opposée à \vec{P} donc a même direction (verticale), même norme ($6,9 \times 10^2 \text{ N}$), mais un sens opposé (vers le haut).

Il convient de distinguer le poids \vec{P} modélisant l'action exercée par la Terre sur le « slacker » de la force $\vec{F}_{K/S}$ modélisant l'action exercée par le « slacker » sur la sangle. Bien que leurs caractéristiques soient identiques, ces forces ne modélisent pas les mêmes actions.

Cet exercice est l'occasion d'attirer l'attention sur le choix du système effectué qui change tout au long de l'exercice. C'est un élément important dans la perspective du prochain chapitre.

Si l'immobilité du « slacker » s'explique par la compensation du poids et de $\vec{F}_{S/K}$ (prochain chapitre), la relation $\vec{F}_{S/K} = -\vec{P}$ n'est pas respectée lors de son déplacement, contrairement à $\vec{F}_{S/K} = -\vec{F}_{K/S}$. Il est utile de rappeler que deux forces impliquées dans la modélisation d'une interaction, qui s'exercent sur deux objets différents, sont toujours opposées (principe des actions réciproques vu dans l'Activité 4). Elle se distingue des forces impliquées dans un bilan de forces qui concernent un seul objet, qui sont exercées seulement sur cet objet et qui peuvent se compenser (principe d'inertie vu au chapitre suivant). Les expressions « forces qui se compensent » et « forces opposées » constituent une confusion habituelle des élèves au niveau du langage.

33 In english please

a. La norme de la force modélisant l'action exercée par le Soleil sur Voyager 1 est :

$$F = G \times \frac{m \times M}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{800 \text{ kg} \times 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}}{(21 \times 10^9 \times 10^3)^2 \text{ m}^2}$$

$$F = 2,4 \times 10^{-4} \text{ N}.$$

b. D'après le texte, Voyager 1 ne subit plus l'influence du Soleil dans cet espace interstellaire.

34 Calculer la norme du poids d'un drone sur Titan DIFFÉRENCIATION ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE

Corrigé dans le manuel.
Aides en fin de manuel.

35 Exploiter la loi de gravitation universelle

S'AUTOÉVALUER

Corrigé dans le manuel

36 à 38

Corrigés dans le manuel.

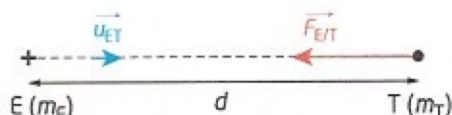
39 Nouveau statut pour Pluton

HISTOIRE DES SCIENCES

Exercice résolu, corrigé dans le manuel.

40 Stabilité d'une orbite APPLICATION

1.



2. La loi de gravitation universelle permet d'écrire :

$$F_{E/T} = G \times \frac{m_T \times m_E}{d^2} \text{ soit } d = \sqrt{G \times \frac{m_T \times m_E}{F_{E/T}}}$$

$$\text{A.N. : } d = \sqrt{6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{6,0 \times 10^{24} \text{ kg} \times 9,5 \times 10^{31} \text{ kg}}{9,5 \times 10^{23} \text{ N}}}$$

$$d = \sqrt{6,67 \times 6,0 \times 10^{-21+24-23+31} \text{ m}^2}$$

$$d = \sqrt{6,67 \times 6,0 \times 10^{21}} \text{ m} = 2,0 \times 10^{11} \text{ m}.$$

3. $d_{\text{Tatoo1-Tatoo2}} = 10$ millions de km = $1,0 \times 10^{10}$ m.

Ainsi $d > 4,0 \times 10^{10}$ m donc $d > 4 \times d_{\text{Tatoo1-Tatoo2}}$. Donc l'orbite de Tatooine serait stable.

41 Une expérience pour tester un principe

Corrigé dans le manuel.

Dans cet exercice, chaque dynamomètre dispose d'un fil, voire d'un crochet. Chacun de ces fils est donc inclus dans le système dynamomètre auquel il est lié habituellement. Si on excluait les fils des systèmes dynamomètres, les deux dynamomètres ne seraient pas en interaction. Ils seraient en interaction avec le fil. La relation entre les deux forces ne découlerait pas seulement du principe des actions réciproques.

42 Exploiter une simulation

a. D'après la relation $P = m \times g$, l'intensité de la pesanteur est le coefficient directeur de la droite représentative de la fonction linéaire $P = f(m)$.

En A, $m_A = 800 \text{ g} = 0,800 \text{ kg}$ et $P_A = 20 \text{ N}$.

$$g = \frac{P_A - P_0}{m_A - m_0} = \frac{20 \text{ N}}{0,800 \text{ kg}} = 25 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

b. L'écart s'explique, par exemple, par les erreurs de lecture sur le dynamomètre, de pointage sur le graphe et la précision de la valeur de g indiquée dans le rabat avec trois chiffres significatifs.

c. Il s'agit d'une simulation, puisque l'intensité de la pesanteur n'a pas changé, mais ce sont les graduations qui ont simplement été modifiées pour étalonner la mesure à celle effectuable sur Jupiter sans s'y rendre en passant par une lecture fictive.

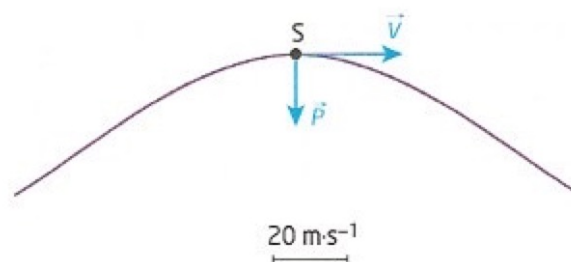
43 Saut à moto spectaculaire

a. et b. Allure de la trajectoire et vecteur vitesse au sommet S : voir schéma ci-dessous.

c. Action exercée : la pesanteur exercée par la Terre. La force qui la modélise est le poids du système {moto ; pilote} dont les caractéristiques sont :

- direction : verticale ;
- sens : vers le bas ;
- norme : $P = m \times g = 180 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} = 1,77 \times 10^3 \text{ N}$.

d. Représentation :


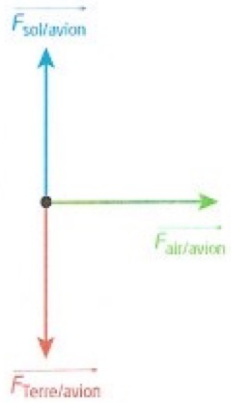


e. Force et vitesse se distinguent ici par leur direction et leur norme qui s'expriment dans des unités différentes. En outre, le vecteur vitesse modélise le déplacement du système par unité de temps, alors qu'une force modélise une action qui peut modifier la vitesse.

44 Mise en mouvement d'un avion à hélice

ORAL

Exemple de support visuel :

Situation	Modélisation par des forces
	

Une évaluation par curseur est possible, par exemple :

INDICATEURS	NIVEAU DE MAÎTRISE			
	A	B	C	D
ANALYSER-RAISONNER				
<ul style="list-style-type: none"> Le système {avion ; hélice} et les acteurs sont convenablement identifiés pour décrire les actions exercées sur le système : la Terre, le sol et l'air (par le biais d'un DOI éventuellement). Le principe des actions réciproques est appliqué pour expliquer la mise en mouvement de l'avion. L'action de l'avion (via son hélice) sur l'air est convenablement interprétée en terme de sens de la force qui la modélise. 				
RÉALISER				
<ul style="list-style-type: none"> Le système est modélisé par un point. La force modélisant l'action exercée par l'air sur l'avion est orientée dans le sens de déplacement de l'avion. Les forces modélisant les autres actions sont également représentées sans souci d'échelle ni de comparaison des normes. 				
COMMUNIQUER				
<ul style="list-style-type: none"> Expression convenable devant l'auditoire (articulation, niveau sonore suffisant, débit ni trop lent ou ni élevé). Regard porté sur l'auditoire et utilisation du support visuel (pas ou peu de lecture de notes). Exposé apportant les éléments de réponse attendus, utilisant un vocabulaire adapté et rigoureux. Respect du temps imparti (5 min). Exemple de support visuel ci-après. 				

45 Une chute vertigineuse

a. $P = m \times g = 90,7 \text{ kg} \times 9,78 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} = 8,87 \times 10^2 \text{ N}$ au niveau de l'avion. Au niveau du sol, la norme du poids d'Atkins peut être approchée par la norme de la force d'interaction gravitationnelle qui modélise l'action de la Terre sur Atkins au voisinage de sa surface.

$$P = F_{T/A} = G \times \frac{M_T \times m}{R_T^2}$$

$$P = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \text{ kg} \times 90,7 \text{ kg}}{(6,38 \times 10^3 \times 10^3 \text{ m})^2}$$

$$P = 8,87 \times 10^2 \text{ N}.$$

b. Les valeurs sont identiques compte tenu de la précision des données. La norme du poids n'est pratiquement pas modifiée. Lors de la chute, l'intensité de la pesanteur est pratiquement constante.

c. En prenant 1 cm pour 300 N :



46 Callisto, satellite de Jupiter

a. La loi de gravitation universelle permet d'écrire :

$$F_{C/J} = F_{J/C} = G \times \frac{m_C \times m_J}{d_{JC}^2}$$

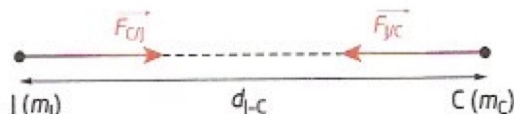
$$F_{C/J} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{1,08 \times 10^{23} \text{ kg} \times 1,90 \times 10^{27} \text{ kg}}{(1,9 \times 10^6 \times 10^3 \text{ m})^2}$$

$$F_{C/J} = 3,8 \times 10^{21} \text{ N}.$$

b. Ces forces ont la même direction : la droite (JC). Elles ont la même norme : $3,8 \times 10^{21} \text{ N}$.

$\vec{F}_{C/J}$ est orientée de Jupiter vers Callisto et $\vec{F}_{J/C}$ de Callisto vers Jupiter.

En prenant 1 cm pour $2 \times 10^{21} \text{ N}$:



c. La norme du poids d'un objet O peut être approchée par la norme de la force d'interaction gravitationnelle qui modélise l'action de Callisto sur cet objet au voisinage de sa surface.

$$P = F_{C/O} = G \times \frac{m_C \times m}{R_C^2} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{1,08 \times 10^{23} \text{ kg} \times 10 \text{ kg}}{(2\,410 \times 10^3 \text{ m})^2}$$

$$P = 12 \text{ N}.$$

d. À la surface de la Terre, la masse de l'objet reste inchangée : 10 kg.

e. À la surface de la Terre, la norme du poids de cet objet est $P = m \times g = 10 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} = 98 \text{ N}$.

47 * Attraction solaire

La loi de gravitation universelle conduit à :

$$F_{\text{Soleil/Terre}} = G \times \frac{m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Terre}}}{d_{\text{Soleil-Terre}}^2}$$

$$F_{\text{Soleil/Jupiter}} = G \times \frac{m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Jupiter}}}{d_{\text{Soleil-Jupiter}}^2} = G \times \frac{m_{\text{Soleil}} \times 318 \times m_{\text{Terre}}}{(5,2 \times d_{\text{Soleil-Terre}})^2}$$

$$F_{\text{Soleil/Jupiter}} = \frac{318}{5,2^2} G \times \frac{m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Terre}}}{d_{\text{Soleil-Terre}}^2} = 12 F_{\text{Soleil/Terre}}.$$

Jupiter est bien plus éloignée du Soleil que ne l'est la Terre. Pourtant, l'action exercée par le Soleil sur Jupiter peut être modélisée par une force dont la norme est 12 fois plus élevée que celle de la force modélisant l'action du Soleil sur la Terre.

48 * De l'état de repos à celui de mouvement

a. Sur l'objet 1 dans le référentiel terrestre s'appliquent les actions :

- à distance exercée par la Terre, modélisée par le poids, dont l'expression mathématique est connue a priori ;
- à distance exercée par l'objet 2, qui est responsable de la mise en mouvement du système ;
- de contact exercée par l'eau, qui permet un déplacement horizontal du système.

b. Les forces sont donc : \vec{P}_{Objet1} (ou \vec{P}_1), $\vec{F}_{\text{Objet2/Objet1}}$, $\vec{F}_{\text{Eau/Objet1}}$ (ou \vec{R}_1).

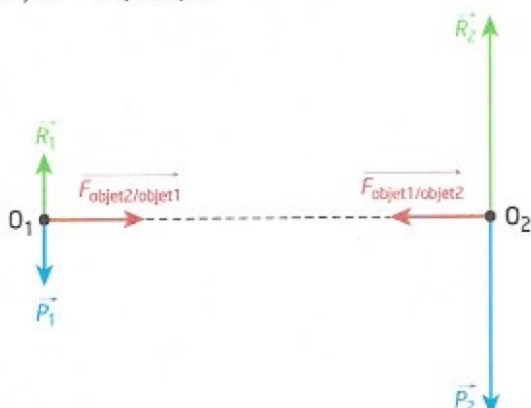
c. Sur l'objet 1, dans le référentiel terrestre et en l'absence d'objet 2, s'appliquent les actions :

- à distance exercée par la Terre modélisée par le poids ;
- de contact exercée par l'eau.

Les actions se compensent, donc les forces qui les modélisent ont même direction, même norme, mais des sens opposés.

d. D'après le principe des actions réciproques :

$$\vec{F}_{\text{Objet2/Objet1}} = -\vec{F}_{\text{Objet1/Objet2}}$$



e. Les objets 1 et 2 se mettent en mouvement du fait des actions réciproques exercées l'un sur l'autre.

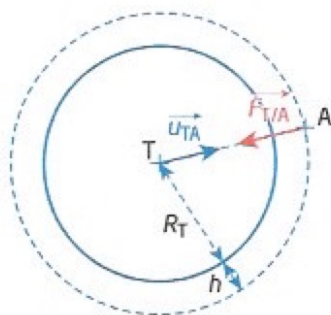
49 Avant l'espace, l'Everest

1. Au niveau de la mer, l'altitude est nulle. Graphiquement, on détermine : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Au niveau de l'Everest, l'altitude est de 8 840 m, soit 8,840 km. Graphiquement, on détermine : $g = 9,782 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2. $\frac{9,81 - 9,782}{9,81} = 0,00285$, soit 0,285 %. Ainsi, l'intensité de la pesanteur est en effet légèrement plus faible au sommet de l'Everest qu'au niveau de la mer (de moins de 0,3 %).

3. a.



b. La loi de gravitation universelle conduit à :

$\vec{F}_{T/A} = -G \times \frac{M_T \times m}{(R_T + h)^2} \vec{u}_{TA}$ avec \vec{u}_{TA} un vecteur de norme 1 de direction (TA) et orienté de T vers A.

c. De l'expression vectorielle, on déduit l'expression de la norme : $F_{T/A} = G \times \frac{M_T \times m}{(R_T + h)^2}$ et $P = m \times g$. En égalant les deux expressions, il vient : $m \times g = G \times \frac{M_T \times m}{(R_T + h)^2}$. Et comme m est non nulle, on peut diviser chaque membre de l'égalité par m . Ainsi :

$$g = G \times \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

d. Au niveau de la mer :

$$g = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \text{ kg}}{(6,38 \times 10^3 \times 10^3)^2 \text{ m}^2} = 9,78 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On retrouve la valeur extraite du graphe.

Au niveau de l'Everest :

$$g = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \text{ kg}}{(6,38 \times 10^3 \times 10^3 + 8\,840)^2 \text{ m}^2} = 9,76 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Les valeurs obtenues sont proches de celles extraites du graphe, mais inférieures. L'écart peut s'expliquer par l'erreur de pointage et de lecture sur le graphe, mais pas seulement. La Terre a été modélisée par une boule de rayon $6,38 \times 10^3 \text{ km}$. Ce n'est pas le cas, celle-ci étant aplatie aux pôles. L'utilisation d'une valeur de $6,37 \times 10^3 \text{ km}$ pour rayon conduit respectivement à $9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $9,79 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, valeurs plus proches de celles du graphe.

50 BepiColombo à la conquête de Mercure

ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE DIFFÉRENCIATION

Aides en fin de manuel.

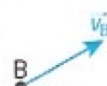
La loi de gravitation universelle conduit à :

$\vec{F}_{V/B} = -G \times \frac{M_V \times m}{D^2} \vec{u}_{VB}$ avec \vec{u}_{VB} un vecteur de norme 1, de direction (VB) et orienté vers V.

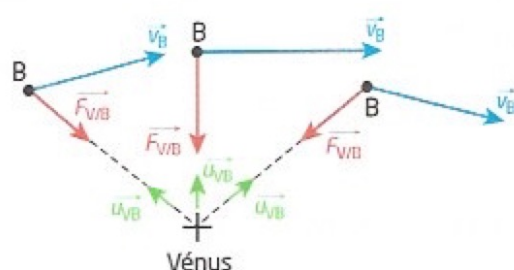
Cette force, qui modélise l'attraction de Vénus, a pour effet une variation du vecteur vitesse de BepiColombo.

Schéma de la situation dans le référentiel « vénusocentrique » :

• Avant l'assistance gravitationnelle :



• Pendant l'assistance gravitationnelle :



• Après l'assistance gravitationnelle :



Dans le référentiel « vénusocentrique », la direction du vecteur vitesse de BepiColombo est modifiée par l'assistance gravitationnelle de Vénus, mais la valeur de la vitesse avant et après assistance gravitationnelle est inchangée. Durant la phase d'assistance, la valeur de la vitesse de BepiColombo, mesurée dans le référentiel vénusocentrique, augmente à mesure que BepiColombo se rapproche de Vénus, puis diminue lorsqu'elle s'en éloigne.

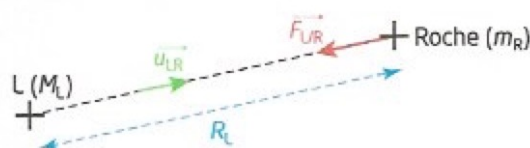
En revanche, dans le référentiel héliocentrique, la valeur de la vitesse de BepiColombo est modifiée avant et après assistance gravitationnelle, autrement dit, contrairement à ce qui se produit dans le référentiel « vénusocentrique », BepiColombo n'a plus la même valeur de vitesse après l'assistance gravitationnelle par rapport à avant, dans le référentiel héliocentrique.

Il est ainsi possible, grâce à l'assistance gravitationnelle, de modifier la direction du mouvement d'une sonde, mais surtout la valeur de sa vitesse dans le référentiel héliocentrique sans utiliser les moteurs et donc d'économiser du carburant pour réaliser cette opération.

51 Football... sur la Lune ! TÂCHE COMPLEXE

Aides en fin de manuel.

1. a. Schéma de la situation :



b. La loi de gravitation universelle conduit à :

$\vec{F}_{L/R} = -G \times \frac{M_L \times m_R}{R_L^2} \vec{u}_{LR}$ avec \vec{u}_{LR} un vecteur de norme 1, de direction (LR) et orienté vers R.

En première approximation, le poids de la roche sur la Lune est égal à la force d'interaction gravitationnelle modélisant l'action exercée par la Lune sur la roche (il a les mêmes caractéristiques, à savoir une direction voisine de la droite (LR), un sens de R vers L et une norme quasi-identique).

2. • **Problème** : est-il possible de jouer au football sur la Lune, avec un rocher lunaire de la taille d'un ballon de football, comme cela se pratique sur Terre ?

• **Calcul de la masse de la roche** : Si la roche, comme le ballon, a un rayon de 11 cm, la masse de la roche est :

$$m_{\text{Roche}} = \rho V = \rho \times \frac{4}{3} \pi \times (r_{\text{Roche}})^3.$$

A.N. : $m_{\text{Roche}} = 3,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \times \frac{4}{3} \pi \times (11 \text{ cm})^3 = 1,8 \times 10^4 \text{ g} = 18 \text{ kg}.$

• **Détermination de la norme du poids sur la Lune** : En supposant que le poids de la roche est égal à la force d'interaction gravitationnelle modélisant l'action exercée par la Lune sur la roche au voisinage de sa surface :

$$P_{\text{Roche}} = F_{\text{Lune/Roche}} = G \times \frac{M_L \times m_R}{R_L^2}.$$

A.N. : $P_{\text{roche}} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{7,36 \times 10^{22} \text{ kg} \times 18,4 \text{ kg}}{(1\,737 \times 10^3)^2 \text{ m}^2} = 29 \text{ N}.$

• **Comparaison avec le poids du ballon dans le référentiel terrestre** :

$$P_{\text{Ballon}} = m_{\text{Ballon}} \times g = 0,42381 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} = 4,2 \text{ N}.$$

$P_{\text{Roche}} > P_{\text{Ballon}}$ et même $P_{\text{Roche}} > 6,9 \times P_{\text{Ballon}}$: sur la Lune, le poids d'une roche de même taille qu'un ballon de football est près de 7 fois supérieur à celui d'un ballon sur Terre.

• **Conclusion** : Il n'est donc pas possible d'adopter les mêmes règles que sur Terre pour jouer au football, sans compter la nécessité d'une combinaison, l'absence de pelouse, etc. Les règles devront être modifiées : accepter une taille de la roche réduite pour modéliser un ballon ou accepter une masse plus importante à taille identique, autoriser la combinaison d'astronaute, l'absence de pelouse, etc.