

Thème 2 : Mouvement et interactions

Chapitre 9 : Modéliser une action mécanique sur un système

Les Forces : Modéliser l'Invisible

Comprendre et Modéliser les Actions
Mécaniques



Chapitre 9 : Modéliser une action mécanique sur un système

I. Notion de force

- Le système étudié est ramené à un point.
- Tout ce qui ne constitue pas le système est appelé extérieur.
- Un système peut recevoir différentes actions de la part de l'extérieur.
- Une action mécanique peut :
 - ★ provoquer ou modifier en mouvement le système
 - ★ déformer le système.
 - ★ n'avoir aucune conséquence

Rappel : le mouvement est défini par une trajectoire et une vitesse

a. Deux types d'actions

- ▶ Il existe 2 catégories d'actions : les actions de **contact** et à **distance**.
- ▶ Si les 2 corps doivent être en contact pour que l'action ait lieu alors c'est une action de contact.
- ▶ Si l'action a lieu sans contact entre les deux corps, alors c'est une action à distance.

Actions de Contact



Nécessite une touche physique directe entre l'acteur et le receveur.

Actions à Distance



L'interaction se fait à travers l'espace, sans lien matériel (ex : magnétisme, gravité).

- ▶ Sur un DOI (Diagramme Objets-Interactions) on représente l'ensemble des actions qui s'appliquent sur un système. Règles :

- ✓ Système au centre du diagramme
- ✓ Action de contact : double flèche pleine
- ✓ Action à distance : double flèche en pointillée

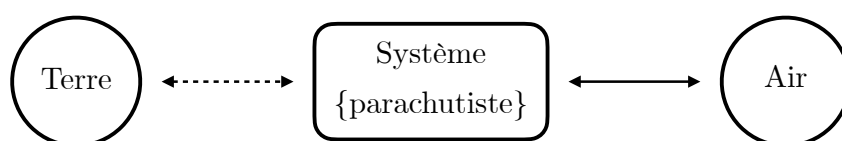
Exemple : On étudie un parachutiste et son équipement.



Le parachutiste est soumis à :

- l'action de la Terre : elle le tire vers le bas. (action à distance).
- l'action de l'air : frottement (action de contact)

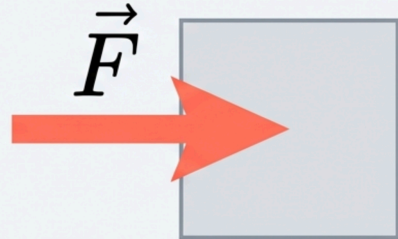
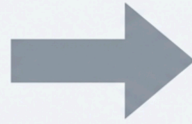
DOI :



La Force : L'Outil de Modélisation



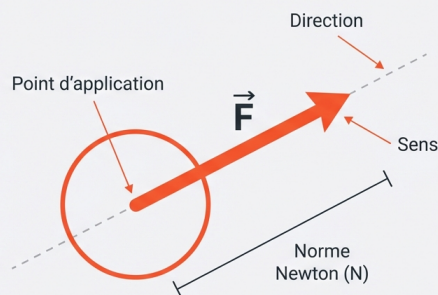
L'Action (Réelle)



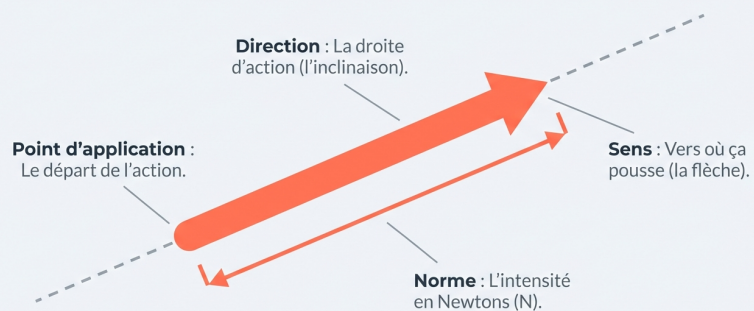
La Force (Modèle)

Une action mécanique est un phénomène physique concret.
Une FORCE est le modèle mathématique (abstrait) qui représente cette action.

De l'action à la Force



Carte d'Identité d'un Vecteur Force



b. De l'action à la force

On modélise une **action** mécanique exercée par un objet A sur un objet B par une **force**, notée $\vec{F}_{A/B}$. C'est un **vecteur** qui possède 4 caractéristiques :

- point d'application : le point où l'on considère que s'exerce l'action, donc le point représentant le système
- direction : droite qui porte le vecteur (droite d'action)
- sens : celui de la force (« vers »)
- valeur : noté $F_{A/B}$ (sans flèche) et s'exprime en Newton (N).

Remarque :

- **TOUTES** les forces s'expriment en Newton.
- On appelle **résultante** des forces la somme de toutes les forces extérieures appliquées au système.

Le Miroir : Principe des Actions Réciproques Troisième Loi de Newton



Si A pousse B, alors B pousse A.
Même valeur. Même direction. Sens opposés.

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

c. Principes des actions réciproques

- ▶ Si un corps A exerce sur un corps B une force $\vec{F}_{A/B}$, alors B exerce sur A une force $\vec{F}_{B/A}$ telle que :

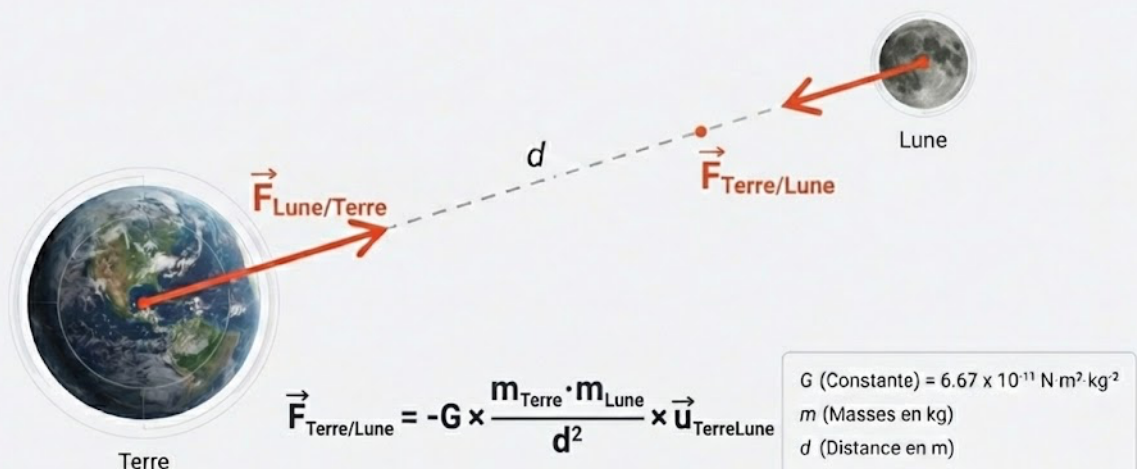
$$\vec{F}_{B/A} = - \vec{F}_{A/B}$$

- ▶ La force $\vec{F}_{B/A}$ a donc :
 - même direction que $\vec{F}_{A/B}$
 - sens opposé que $\vec{F}_{A/B}$
 - même valeur : $F_{B/A} = F_{A/B}$
- ▶ Ce principe est appelé **troisième loi de Newton**.

II. Exemples de forces

1. Force d'interaction gravitationnelle

L'Interaction Gravitationnelle



II. Exemples de forces

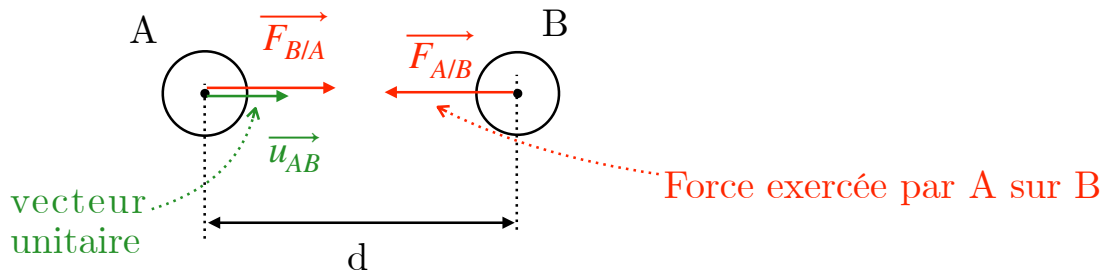
1. Force d'interaction gravitationnelle

- ▶ Soit deux corps A et B, de masses respectives m_A et m_B , séparés par une distance d . A exerce sur B une force $\vec{F}_{A/B}$ dite force d'interaction gravitationnelle (ou force de gravitation) :

$$\vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

avec $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
 G : constante de gravitation

Annotations : $\vec{F}_{A/B}$ (N), G ($\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$), m_A (kg), m_B (kg), d^2 (m^2), \vec{u}_{AB} (m)



- ▶ Un vecteur unitaire est un vecteur qui a une norme de 1. Cela impose une direction et un sens à une situation. C'est une sorte de référence.
- ▶ Principe des actions réciproque, ou Troisième loi de Newton (action réaction):

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

$$\vec{F}_{B/A} = -(-G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB})$$

$$\vec{F}_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

- ▶ Attention ! Un vecteur n'est jamais égal à une valeur.

~~$$\vec{F}_{B/A} = 50 \text{ N}$$~~

$$F_{B/A} = 50 \text{ N}$$

- ▶ On a donc : $F_{B/A} = F_{A/B}$

Exercice :

Calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle entre deux objets A et B de masse identique $m = 100 \text{ kg}$ distants d'une distance $d = 1 \text{ m}$

Donnée :

$$G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$

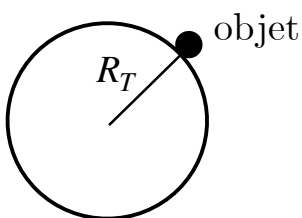
$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2}$$

$$F_{A/B} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{100 \times 100}{1^2}$$

$$F_{A/B} = 6,67 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

Exercice 2 : IMPORTANT

Exprimer la force de gravitation exercée par la Terre, de masse M_T sur un objet de masse m posé sur son sol puis calculer sa valeur.



Données :

$$M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$R_T = 6400 \text{ km}$$

$$G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$

$$\vec{F}_{Terre/objet} = -G \frac{M_T m}{R_T^2} \vec{u}_{Terre \rightarrow \text{Objet}}$$

$$F_{Terre/objet} = G \frac{M_T m}{R_T^2}$$

$$F_{Terre/objet} = G \frac{M_T}{R_T^2} \times m$$

$$F_{Terre/objet} = 9,8 \times m$$

$$F_{Terre/objet} = g \times m$$

On appelle Poids terrestre d'un objet, noté P, la force de gravitation exercée par la Terre sur cet objet. On a en valeur (intensité) :

$$P = F_{Terre/objet} = mg$$

g : intensité de pesanteur $N \cdot kg^{-1}$

$$g_{Terre} = 9,81 N \cdot kg^{-1} \approx 10 N \cdot kg^{-1}$$

Égalité vectorielle :

$$\vec{P} = \vec{F}_{Terre/objet} = -G \frac{M_{Terre} m}{(R_{Terre})^2} \vec{u}_{Terre/Objet}$$

$$\vec{P} = -G \frac{M_{Terre}}{(R_{Terre})^2} \vec{u}_{Terre/Objet} \times m$$

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

$$\vec{g} = -G \frac{M_{Terre}}{R_{Terre}^2} \vec{u}_{Terre/Objet}$$

De manière plus générale, le Poids d'un objet est le résultat de l'attraction exercée par l'astre sur lequel l'objet se trouve.

$$\vec{P} = \vec{F}_{astre/objet} = -G \frac{M_{astre} m}{(R_{astre})^2} \vec{u}_{astre/Objet}$$

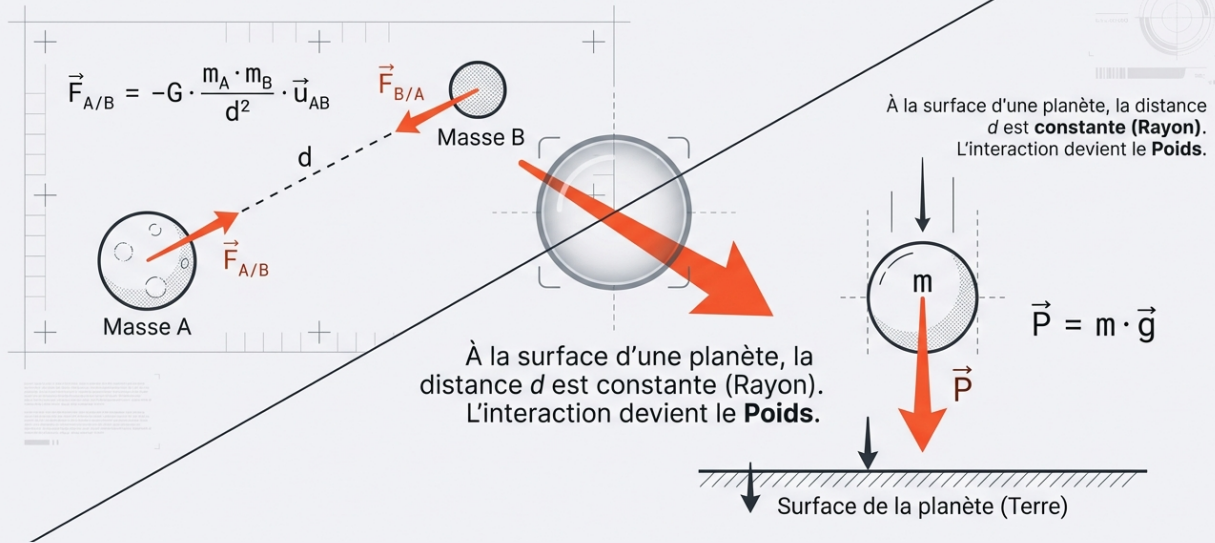
$$\vec{g}_{astre} = -G \frac{M_{astre}}{R_{astre}^2} \vec{u}_{astre/Objet}$$

L'intensité de pesanteur d'un astre dépend de sa masse et de sa taille.

\vec{g} est toujours **vertical** (direction) et **vers le bas** (sens).

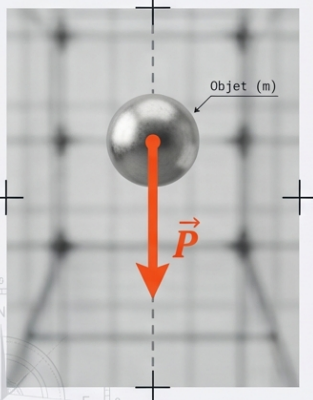
Comme $\vec{P} = m\vec{g}$, ces 2 vecteurs ont la même direction et le même sens.

De la Gravitation au Poids

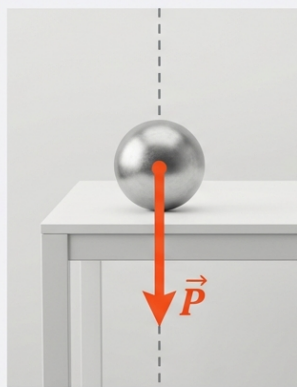


Caractéristiques du Poids (\vec{P})

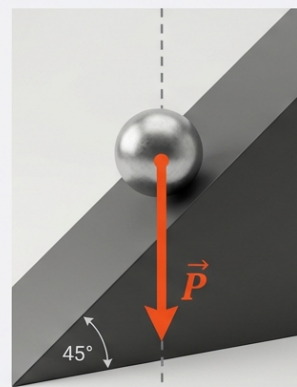
Chute libre



Plan horizontal



Plan incliné



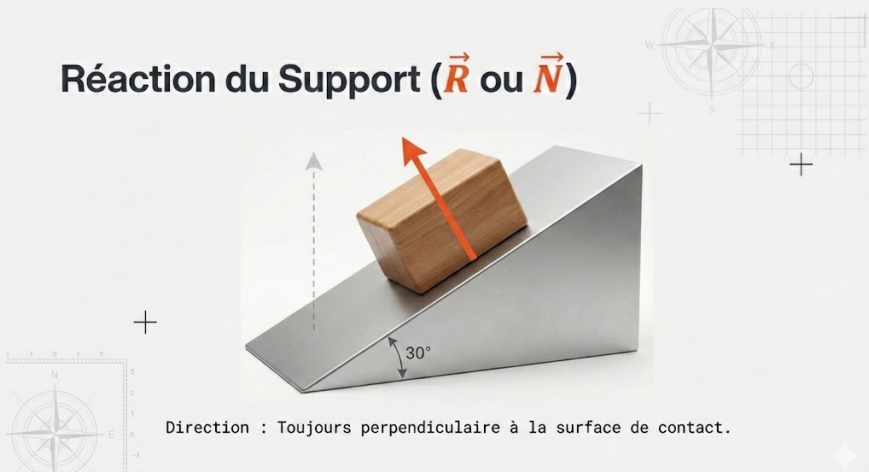
Caractéristiques

- Point: Centre de gravité (G)
- Direction: Verticale
- Sens: Vers le bas
- Norme: $P = m \times g$

2. Force exercée par un support

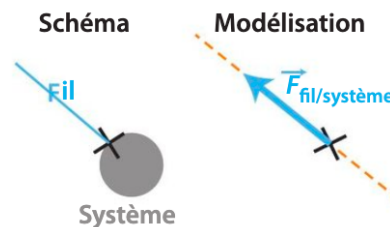
- Lorsque le système est posé sur un support (table, sol...), celui-ci exerce une action de contact sur le système. On note \vec{R} cette action nommée « réaction du support ».
- On nomme cette force réaction car le support réagit à l'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur l'objet (son poids P) en le soutenant (en le « poussant vers le haut »).

Réaction du Support (\vec{R} ou \vec{N})



3. Force exercée par un fil

- Lorsque le système est maintenu par un fil, celui-ci exerce une action de contact sur le système. On note \vec{T} cette action nommée « tension du fil ».
- La force \vec{T} a pour caractéristiques :
 - Direction : **celle du fil**
 - Sens : du système vers le fil



III. Le principe d'inertie

Principe d'inertie :

Lorsque les forces qui s'exercent sur un système se compensent alors le vecteur vitesse \vec{v} ne varie pas.

L'objet est alors soit immobile soit en mouvement rectiligne uniforme.

Réciproquement : Si le vecteur vitesse \vec{v} ne varie pas, alors les forces qui s'exercent sur le système se compensent.

forces se compensent $\Leftrightarrow \vec{v}$ ne varie pas (Mvt rect unif ou immobile) repos
 $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$

Exemple : On étudie dans le référentiel Terrestre une boule immobile suspendue à une branche d'un sapin.

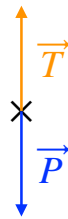


Système {Boule}

Bilan des forces :

- Poids : \vec{P}

- Tension du fil : \vec{T}



Boule immobile, par application du principe d'inertie : $\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$

Les forces se compensent.

Contraposée :

Si le vecteur vitesse \vec{v} varie, alors les forces qui s'exercent sur le système ne se compensent pas.

Réciproquement : Si les forces qui s'exercent sur le système ne se compensent pas alors le vecteur vitesse \vec{v} varie.

forces ne se compensent pas $\Leftrightarrow \vec{v}$ varie (mvt non rect unif)

$$\Sigma \vec{F} \neq \vec{0}$$

IV. Cas de la chute libre

- Définition : Un système est en chute libre lorsqu'il n'est soumis qu'à son poids.
- En théorie, possible uniquement dans le vide (sans frottements). Mais on peut négliger les frottements dans certaines situations (objets « lourds », forme compacte)
- Les forces ne peuvent pas se compenser (il n'y en a qu'une (le poids)).
Contraposé du principe d'inertie : \vec{v} varie. Le mouvement n'est pas rectiligne uniforme.
- Lors d'une chute libre, la masse de l'objet n'a aucune influence sur le mouvement (video sur la chute d'une boule de bowling et de plumes)

Exercice résolu 2



Exercice du même type : n° 26 page 204

Attraction d'un ballon

| Extraire l'information ; effectuer des calculs ; construire des vecteurs.

Lors d'une compétition, une gymnaste lance un ballon de masse $m_B = 125$ g.

1. Identifier les actions exercées sur le ballon à l'instant où la photographie ci-contre a été prise.

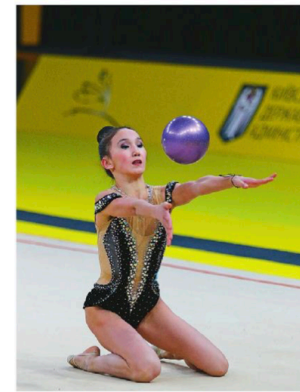
2. a. Rappeler l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{T/B}$ exercée par la Terre T sur le ballon B. On utilisera un vecteur unitaire $\vec{u}_{T \rightarrow B}$.

b. Déterminer les caractéristiques de cette force $\vec{F}_{T/B}$.

c. Représenter cette force en utilisant pour échelle 1 cm \leftrightarrow 0,5 N.

Données

- Rayon de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^3$ km.
- Masse de la Terre : $m_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg.
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.



19 Hubble et la Terre

CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances ; effectuer des calculs ; construire des vecteurs.

Le télescope spatial Hubble est en orbite à une distance $d = 6,96 \times 10^3$ km du centre de la Terre.

1. Identifier la force \vec{F} d'interaction gravitationnelle représentée sur le schéma ci-dessous.



2. Exprimer la valeur de cette force, puis la calculer.

3. Donner l'expression vectorielle de \vec{F} .

4. Reproduire le schéma et représenter la force exercée par Hubble sur la Terre en utilisant pour échelle : 1 cm \leftrightarrow 3×10^4 N.

Données

- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.
- Masse de la Terre : $m_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg.
- Masse du télescope Hubble : $m_H = 11 \times 10^3$ kg.

15 Connaître l'action d'un support

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

Le système étudié est le vase avec l'eau et les fleurs qu'il contient, posé sur une étagère.

1. Identifier les deux forces exercées sur le système.

2. Rappeler la relation entre ces forces et les représenter sur un schéma.



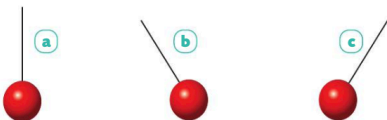
Utiliser le réflexe 4

16 Représenter l'action d'un fil

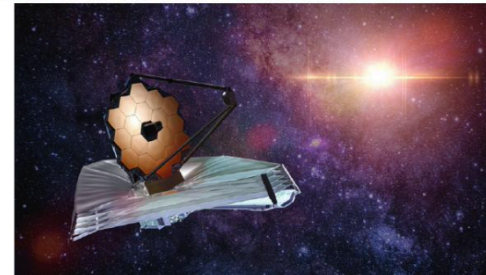
CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

• Représenter, sans souci d'échelle, la force modélisant l'action du fil sur l'objet dans chacune des situations suivantes.



33 Télescope spatial James Webb (7 pts)



Le télescope spatial James Webb, de masse égale à 6 200 kg, a été lancé à la fin de l'année 2021. Il est situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre.

1. a. Donner l'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{T/S}$ d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre (T) sur le satellite (S). On utilisera un vecteur unitaire $\vec{u}_{T \rightarrow S}$ orienté depuis la Terre vers le satellite.

Utiliser le réflexe 3

b. Calculer la valeur de cette force.

2. a. Recopier le schéma ci-dessous puis représenter sans souci d'échelle le vecteur $\vec{u}_{T \rightarrow S}$.



b. Représenter sans souci d'échelle le vecteur $\vec{F}_{T/S}$.

Données

- Masse de la Terre : $m_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

17 La patineuse de vitesse

| Effectuer des calculs ; faire un schéma adapté.

Une patineuse de vitesse, de masse $m = 65$ kg, attend l'ordre du starter pour débiter sa course.

1. Proposer un référentiel permettant l'étude du mouvement de la patineuse.

2. Représenter le diagramme objets-interactions correspondant à la situation.

3. a. Donner les caractéristiques du poids \vec{P} de la patineuse.

b. Déterminer les caractéristiques de la force \vec{R} exercée par la glace sur la patineuse.

4. On modélise la patineuse par un point S. Schématiser les forces appliquées sur ce système.

Donnée

$$g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$



2 Relier forces et mouvement d'un système (2)

Interpréter des observations.

Les forces exercées sur un glaçon qui se déplace sur une table horizontale sont représentées sur le schéma suivant.



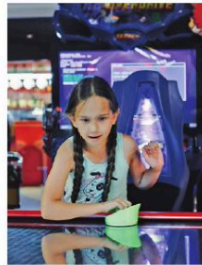
- Expliquer pourquoi le mouvement du glaçon est rectiligne uniforme.

26 Air Hockey (6 pts)

15 min

Au *Air Hockey* il faut faire entrer un palet dans le but adverse. Le palet glisse sans frottement sur la table grâce à des jets d'air qui le soulèvent en permanence.

Le document ci-dessous est un pointage du système {palet} au cours de son mouvement filmé avec une caméra placée à hauteur de la table.



\times \times \times \times \times
 M_0 M_1 M_2 M_3 M_4

1. Décrire le mouvement du palet. **Utiliser le réflexe 1**

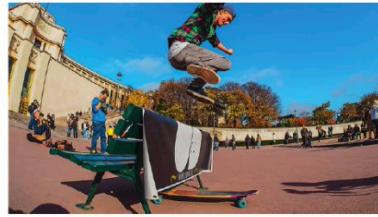
C2 2. a. Les forces qui s'exercent sur le palet se compensent-elles ? Justifier

b. Schématiser les forces qui s'exercent sur le palet.

3. À la fin de la partie, l'air n'est plus projeté entre la table et le palet. La force due aux frottements entre la table et le palet ne peut plus être négligée. Comment le mouvement du palet est-il modifié ?

13 Appliquer le principe d'inertie

Exploiter des informations.



Un skateur effectue un saut par-dessus un banc pendant que son skate continue de rouler sur le sol. Avant le saut, le skateur et sa planche ont le même mouvement rectiligne uniforme par rapport au sol. Pendant le saut, la planche conserve son mouvement rectiligne uniforme. On néglige les frottements dus à l'air et au sol.

- Décrire la trajectoire du skateur et la trajectoire de sa planche lors du saut.
- Lors du saut, quelles sont les forces qui s'exercent :
 - sur le skateur ?
 - sur sa planche ?
- Ces forces se compensent-elles ?

30 min

27 Lancer de balle (10 pts)

L'image ci-dessous est une capture d'écran réalisée lors du pointage du mouvement d'une balle lancée de gauche à droite. Au cours de ce mouvement, on considère que l'action de l'air est négligeable.



1. a. Faire le bilan des forces s'exerçant sur la balle durant son mouvement.

C1 b. En déduire que le mouvement de la balle ne peut pas être rectiligne uniforme.

C3 c. Expliquer pourquoi on peut considérer que la balle est en chute libre. **Utiliser le réflexe 3**

2. Décrire le mouvement de la balle.

3. a. Reproduire le schéma et tracer les vecteurs vitesse aux points M_9 et M_{11} en utilisant comme échelle 1 cm pour $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. Montrer que les résultats précédents sont en accord avec la contraposée du principe d'inertie.