

**Je vais répondre à :**

Étudier l'effet d'une force sur la rotation d'un objet autour d'un axe

Calculer et utiliser la relation du moment d'une force par rapport à un axe

Faire l'inventaire des moments qui s'exercent sur un système

Étudier les conditions d'équilibre d'un solide en rotation autour d'un axe

Déterminer le centre de gravité d'un solide en équilibre soumis à son poids

Étudier le basculement d'un solide posé sur un plan

**Situation-problème**



Maëva prépare son départ en voyage scolaire. Elle n'a rien pour emporter ses affaires et hésite entre acheter une valise ou un sac à dos. Son père lui conseille une valise à roulettes avec une poignée télescopique. Il affirme que plus la poignée est longue, plus il sera facile pour Maëva de transporter la valise et moins elle se fatiguera. Mais Maëva n'est pas convaincue et elle trouve les sacs à dos plus jolis.

**Le père de Maëva a-t-il raison ? Quels arguments peut-il avancer pour convaincre sa fille de prendre une valise à poignée télescopique ?**

## 1/ Déterminer le centre de gravité

Élise a entendu dire qu'il était nécessaire d'équilibrer les roues d'un véhicule afin de garder des pneus en bon état et d'ainsi diminuer sa consommation en carburant. Son garagiste lui explique que cette opération consiste à faire tourner la roue sur un axe pour ajouter ensuite des plombs sur la jante des pneumatiques afin de répartir la masse uniformément autour de l'axe de rotation. Le centre de gravité des roues se retrouve alors parfaitement au centre de l'objet. Élise se demande comment trouver le centre de gravité d'un objet.



### S'approprier

- 1 Quel est l'effet d'un équilibrage de roue sur le centre de gravité ? .....

### Analyser/Raisonner

- 2 Comme la masse est répartie uniformément, le centre de gravité G de la roue se trouve en son centre. Le centre de gravité G est aussi le point d'application du poids de la roue. Si  $m = 7 \text{ kg}$ , donner les caractéristiques du poids et tracer la force sur l'image en prenant 1 cm pour 20 N.

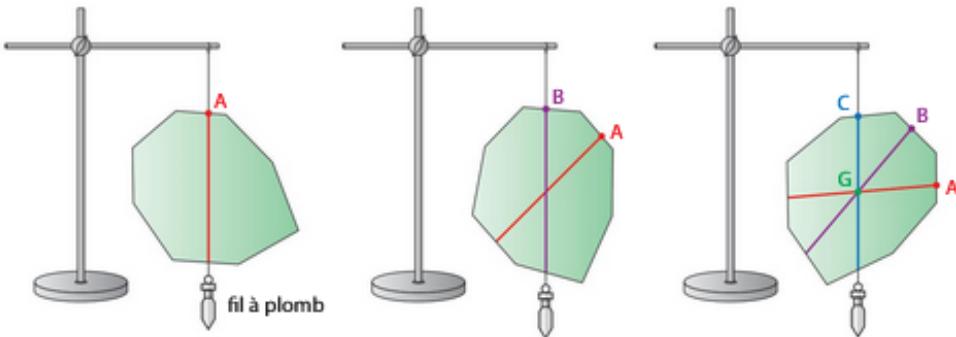


<https://www.youtube.com/watch?v=r-vgR5fOOOY>

### Réaliser

#### Expérience : Déterminer le centre de gravité d'un objet complexe

- Découper un morceau de carton de forme quelconque.
- La forme présente-t-elle des axes de symétries ? Des centres de symétries ? .....
- Avec une perforatrice, faire trois trous vers le bord du carton à trois endroits éloignés.
- Suspendre l'objet par un fil à une potence et un fil à plomb pour qu'il passe par le trou de l'objet (A, B ou C), attendre que l'objet se retrouve dans sa position d'équilibre.
- Tracer un trait vertical comme sur le schéma ci-dessous.
- Répéter deux fois cette opération, en déduire la position du centre de gravité.



- Vérifier que ce centre de gravité est un centre d'équilibre à l'aide de la pointe d'une punaise.

### Valider/Communiquer

- 3 Dire où s'applique  $\vec{P}$  pour le carton de l'expérience. .....

- 4 Proposer une méthode à Élise pour trouver le centre de gravité d'un objet plus complexe. .....

## 2/ Etudier le basculement d'un solide

Au mois de mai 2012, dans un centre commercial à Dubaï, l'artiste coréen Rocky Byun a mis en équilibre des objets dans des positions improbables. On peut le voir mettre en équilibre des cailloux, une machine à laver, une chaise, un lit, une motocross.

**Rocky Byun explique que son art consiste à trouver le centre de gravité des objets pour les mettre en équilibre.**



<https://www.youtube.com/watch?v=brfF49NOq5Y>

### S'approprier

- 1 Quelle est la méthode de Rocky Byun pour mettre les objets en équilibre ?

### Réaliser

L'étude se fera à partir d'un solide déformable.

- 2 Compléter le schéma ci-contre en reliant par une flèche chaque étiquette à l'élément correspondant.

- 3 Réaliser l'expérience en reproduisant les trois positions photographiées ci-dessous.



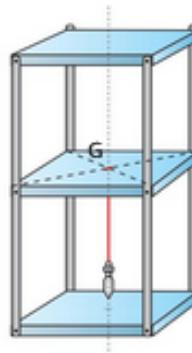
Position ①



Position ②



Position ③



Centre de gravité

Base de sustentation

Fil à plomb

Verticale passant par le centre de gravité



La base de sustentation est la surface délimitée par les points d'appui du solide.

- 4 Dire dans quelle position le solide bascule.

- 5 Quelle est la force matérialisée par le fil à plomb ? Justifier la réponse.

- 6 Donner la nature géométrique de la base de sustentation de ce solide en vous aidant du schéma.

### Valider

- 7 En déduire la condition pour qu'un solide bascule.

### Communiquer

- 8 Peut-on trouver facilement le centre de gravité d'un objet complexe, comme une motocross ?

- 9 Lorsque Rocky Byun a trouvé le centre de gravité d'un objet, que doit-il faire ?

### VIDÉO

Polygone de sustentation

→ [lienmini.fr/4935-092](http://lienmini.fr/4935-092)



<https://www.youtube.com/watch?v=6zOHpcvJ1Lw>

### 3/ Etudier l'effet d'une force sur la rotation d'un objet

Jonas et son père regardent une course automobile à la télévision. Lors des arrêts au stand pour le changement des pneus, Jonas remarque qu'un seul mécanicien intervient pour soulever la voiture d'une masse proche de 700 kg. Son père lui dit que cette action est facilitée par l'utilisation d'un outil appelé « lève rapide » ou « diable » qui permet de soulever des masses par effet de rotation.



**Jonas ne comprend pas le fonctionnement du diable. Comment lui expliquer ?**

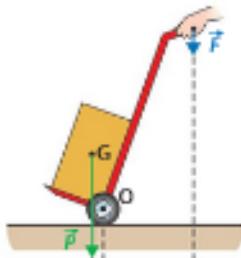
#### Doc. 1

- Bras de levier :** c'est la distance  $d$  entre la droite d'action de la force  $\vec{F}$  et le centre de rotation.
- Moment de la force :** le produit  $F \times d$  est égal au moment  $M$  de la force. Il s'exprime en N.m (newton.mètre). Le moment d'une force caractérise l'aptitude de cette force à faire tourner un objet autour d'un axe. Plus le moment est grand, plus l'effet de rotation est important.

#### Analyser/Raisonner

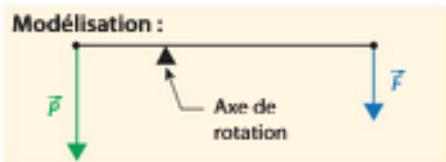
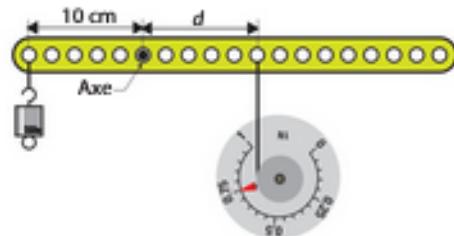
1 Décrire et expliquer brièvement la composition du diable dessiné.

2 Quelles sont les deux forces dessinées sur le schéma ? Que représentent-elles ?



#### Réaliser

- Fixer un axe aimanté sur le tableau métallique.
- Positionner une barre à trous sur l'axe aimanté à 10 cm d'un bord.
- Placer une masse de 200 g à l'extrémité gauche de la tige.
- Placer le dynamomètre dans la position 1, à la distance  $d = 0,10$  m de l'axe de rotation (côté long de la barre à trous). (Attention, la barre à trous doit être horizontale et le fil du dynamomètre doit lui être perpendiculaire.)
- Noter la valeur de la force  $\vec{F}$  (position 1) dans le tableau.
- Déplacer le dynamomètre dans la position 2 du tableau ou  $d = 0,16$ , puis rétablir l'équilibre et noter la valeur de  $\vec{F}$ .
- Déplacer à nouveau le dynamomètre dans la position 3 du tableau ou  $d = 0,26$ , puis rétablir l'équilibre et noter la valeur de  $\vec{F}$ .
- Compléter le tableau en calculant le produit  $F \cdot d$  en arrondissant à 0,01.



	Position 1	Position 2	Position 3
Distance $d$ ou bras de levier (en m)	0,10	0,16	0,26
Valeur $F$ de la force (en N)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Produit $F \cdot d$ (en N.m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

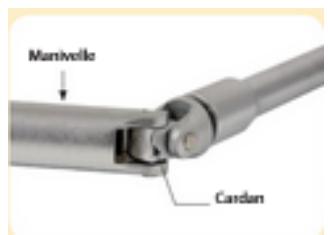
3 Le produit  $F \times d$  reste-t-il constant lorsque la distance  $d$  augmente ?

#### Communiquer

4 D'après l'expérience réalisée, la longueur des bras facilite-t-elle le soulèvement ?

#### 4/ Etudier l'équilibre d'un solide en rotation

Olivier a cassé une partie du système permettant de monter ou descendre le volet roulant de sa chambre. L'objet cassé s'appelle un cardan et permet de faire la liaison entre la manivelle et le mécanisme lié au volet roulant. Olivier affirme que lors de la rotation de la manivelle, deux forces s'exercent sur la tige centrale alors qu'une autre force, la réaction, s'oppose à ces deux forces.

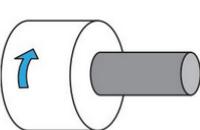


Olivier se demande quelles sont les conditions d'équilibre de ce système.

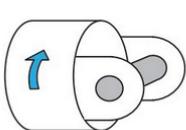
#### S'approprier

- Quel dessin représente le lien entre la manivelle (en blanc) et le cardan (en gris) ?
- Sur le dessin choisi, représenter la (ou les) force(s) exercée(s) par la rotation de la manivelle (flèche bleue) sur le cardan.

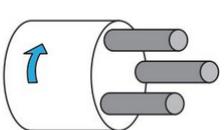
Dessin 1



Dessin 2

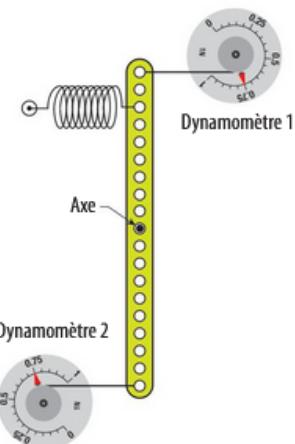


Dessin 3

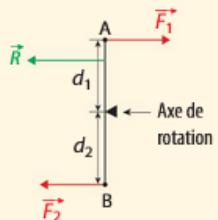


#### Réaliser

- Fixer un axe de rotation sur le tableau métallique.
  - Placer le centre de la barre à trous sur l'axe de rotation.
  - Placer les deux dynamomètres.
- Attention : la barre à trous doit être verticale et les fils des dynamomètres doivent lui être perpendiculaires, ficelle tendue mais sans exercer de force sur la barre à trous (affichage à 0).
- Accrocher un ressort à la barre à trous de façon à ce qu'il exerce une force sur la barre.
  - Compléter les colonnes associées à  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$ .



**Modélisation :**  
 $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  sont les forces exercées par la rotation de la manivelle sur le cardan.



$\vec{R}$  est la réaction du cardan sur la manivelle.

	$\vec{F}_1$	$\vec{F}_2$	$\vec{R}$
Valeur de la force (N)			
Sens de rotation : horaire ↗ ou anti-horaire ↘			
Bras de levier (m)			
Moment de la force (N.m)			

#### Valider

- Le système de l'expérience précédente était-il à l'équilibre ?
- À l'aide du théorème des moments, en déduire le moment de la force  $\vec{R}$ .



**Théorème des moments :**  
À l'équilibre, la somme des moments des forces qui font tourner un objet dans le sens horaire est égale à la somme des moments des forces le faisant tourner dans le sens anti-horaire.

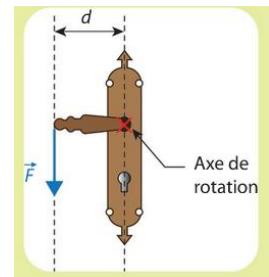
#### Communiquer

- En vous aidant du théorème des moments, que répondre à Olivier ?

## 1/ Effet bras de levier

Un objet est mis en rotation autour d'un axe lorsque la droite d'action de la force exercée

( $\vec{F}$  sur le dessin) est perpendiculaire à l'axe de rotation.

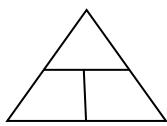


## 2/ Moment d'une force

- L'effet de rotation peut être mesuré à l'aide d'une grandeur physique appelée « moment ». Le moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à l'axe de rotation O est noté  $M_{\vec{F}}$ , plus il est grand plus l'effet de rotation est important (efficace).

Il se calcule grâce à la relation :

$$M_{\vec{F}} = \mathbf{F} \times \mathbf{d}$$



- Le bras de levier correspond à la distance (dsur le dessin) entre l'axe de rotation et la droite d'action de la force. Pour dévisser un objet le moment reste toujours le même quel que soit l'outil utilisé. Mais plus le bras de levier de l'outil utilisé est grand, moins la force sollicitée pour dévisser est grande.

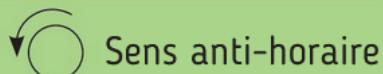
Exemple : l'extrémité de la poignée se trouve à 10 cm de l'axe. On applique une force de 5 N sur la poignée. Quelle est le moment de la force qui est exercé sur la poignée.

Je connais :  $d = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$  et  $F = 5 \text{ N}$

Je cherche  $M_{\vec{F}} = F \times d = 5 \text{ N} \times 0,10 \text{ m} = 0,5 \text{ N.m}$

## 3/ Inventaire des moments

- Un solide en rotation autour d'un axe est en équilibre s'il y a égalité entre la somme des moments des forces qui tendent à le faire tourner dans le sens horaire et la somme des moments des forces qui tendent à le faire tourner dans le sens antihoraire.



-contre :

– le moment  $M_{P_1} = P_1 \times d_1$  provoque une rotation dans le sens anti-horaire ;

– le moment  $M_{P_2} = P_2 \times d_2$  provoque une rotation dans le sens horaire.

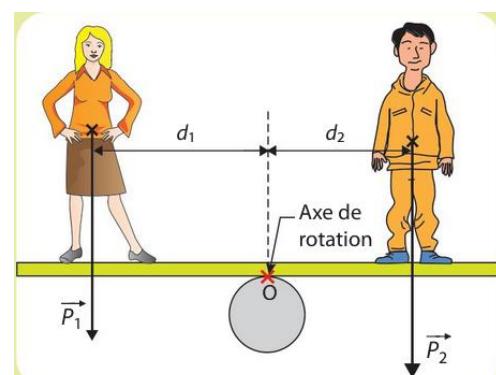
À l'équilibre :  $M_{P_1} = M_{P_2}$

Exemple : La dame pèse 50 kg et se trouve à 1,5 m de l'axe.

Le monsieur se trouve à 1 m de l'axe. On donne  $g = 10 \text{ N/kg}$

Quel est le poids de la dame ?  $P = m \times g = 50 \times 10 = 500 \text{ N}$

Quel est le poids du monsieur ?

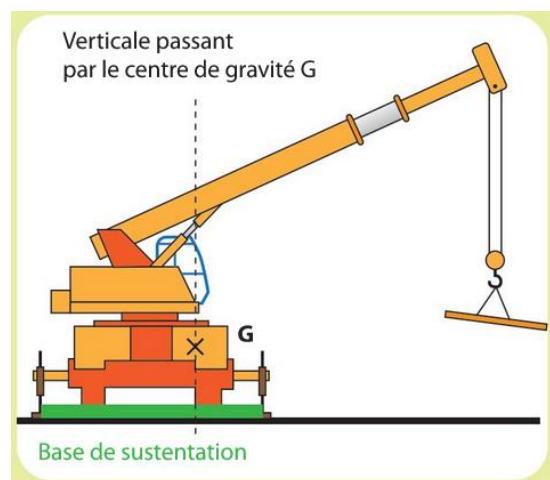


#### 4/ Basculement d'un solide

- Le centre de gravité G d'un solide représente son centre d'équilibre, il peut être déterminé avec un fil à plomb pour les objets plans pouvant être suspendus. Le poids du solide s'applique en son centre de gravité.

- Un objet solide posé sur un sol plat est stable si la verticale passant par le centre de gravité G coupe la base de sustentation.

Exemple : Si la grue soulève un objet trop lourd, le centre de gravité G se déplace vers la droite (à cause du poids de l'objet) et si la verticale passant par le centre de gravité du système {grue + objet} ne coupe plus la base de sustentation de la grue alors la grue bascule vers la droite.



## EXERCICES : OBTENIR L'EQUILIBRE D'UN SOLIDE EN ROTATION

### Je teste mes acquis

→ lienmini.fr/4935-093



- 1** Le bras de levier  $d$  est :
- une droite d'action de la force
  - une distance
  - un angle de rotation
- 2** Pour un même effet de rotation, plus le bras de levier est grand, plus la force est :
- faible
  - élevée
  - constante
- 3** Le moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à un axe se calcule en utilisant la formule :
- $\frac{F}{d}$
  - $F \times d$
  - $\frac{d}{F}$
- 4** Si la droite d'action du poids d'un objet passe par la base de sustentation alors l'objet :
- est instable
  - est stable
  - bascule
- 5** Une force  $\vec{F}$  de 30 N s'exerce sur un axe en rotation, le bras de levier est 60 cm, le moment de cette force a pour valeur :
- 1 800 N.m
  - 180 N.m
  - 18 N.m
- 6** Lorsque la valeur du moment est grande :
- l'effet de rotation est faible
  - l'effet de rotation est grand
  - l'effet de rotation ne change pas
- 7** Soit  $M_1$  et  $M_2$  les moments de 2 forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  faisant tourner un objet dans 2 sens opposés (horaire et anti-horaire). À l'équilibre, les moments sont :
- égaux
  - opposés
  - différents
- 8** Le centre de gravité se note :
- G
  - g
  - P
- 9** La base de sustentation est la surface délimitée entre un objet et son support par les points :
- d'appui
  - d'arrêt
  - de contact
- 10** Un objet posé bascule lorsque la verticale passant par son centre de gravité et la base de sustentation :
- se coupent
  - ne se coupent pas
  - se rencontrent

### 1 Basculement d'une quille

1. Dans le tableau suivant, indiquer si chacune des quilles peut tomber ou non. Laisser apparents les traits de construction qui justifient la réponse.

Inclinaison de 0°	Inclinaison de 10°	Inclinaison de 15°
<input type="checkbox"/> tombe <input type="checkbox"/> ne tombe pas	<input type="checkbox"/> tombe <input type="checkbox"/> ne tombe pas	<input type="checkbox"/> tombe <input type="checkbox"/> ne tombe pas

3. Pour l'inclinaison de 10°, la quille est-elle en équilibre stable ou instable ?

### 2 Issue de secours

En France, les issues de secours sont équipées de portes avec barres d'ouverture qui permettent de les débloquer. Sur la photographie, la charnière de la porte droite se situe à droite de l'image.

1. Expliquer ce qu'il se passe si on ouvre la porte en appuyant en position ① ?



2. Quelle est la meilleure position pour ouvrir la porte ? Justifier.

### 3 Dévisser un boulon

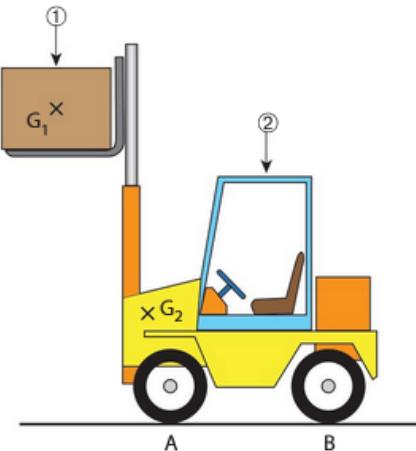
Pour dévisser un boulon, Ismaël utilise une clé simple qu'il tient à son extrémité. La force  $\vec{F}$  exercée pour desserrer l'écrou vaut 3 N et la longueur de la clé 12 cm.

1. Quelle formule permet de calculer le moment de la force  $\vec{F}$  ?

2. Calculer la valeur du moment de  $\vec{F}$ .

3. Avec une clé télescopique, Ismaël peut atteindre une longueur de 22 cm. La rotation du boulon est-elle facilitée ?

#### 4 Basculement d'un chariot



Un chariot élévateur ② est utilisé pour assurer la manutention d'une charge ① de masse 500 kg.

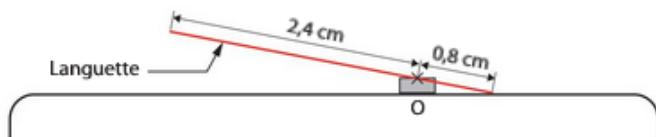
$G_1$  est le centre de gravité de la charge ①,  $G_2$  le centre de gravité de l'ensemble ① + ②.

1. Calculer la valeur du poids  $\vec{P}_1$  de la charge ① (prendre  $g = 10 \text{ N/kg}$ ).
2. Représenter le poids  $\vec{P}_1$  en prenant comme échelle : 1 cm pour 1 000 N.
3. Tracer la verticale passant par le point  $G_2$ . L'élévateur bascule-t-il ? Justifier la réponse.

#### 5 Ouverture d'une canette

Pour faciliter l'ouverture d'une canette, une languette est fixée sur le dessus et agit comme un levier. Mélissa affirme : « La force exercée par le doigt sur la languette est trois fois moins importante que celle exercée sur la canette par la languette. »

Le schéma en coupe ci-dessous montre une représentation simplifiée d'une languette (en rouge) avec ses dimensions. Le point O est le centre de rotation de la languette.



1. Sur le dessin, représenter la force  $\vec{F}_D$  exercée par le doigt sur la languette puis la force  $\vec{F}_L$  de la languette sur la canette.
2. Si la force  $\vec{F}_D$  exercée par le doigt est de 5 N, calculer le moment  $M_{\vec{F}_D}$  exercé par cette force par rapport à O.
3. Le moment déterminé dans la question précédente est égal à celui exercé par la force  $\vec{F}_L$  par rapport à O, soit  $M_{\vec{F}_L}$ . Vérifier que  $F_L = 15 \text{ N}$ .
4. Reproduire le dessin de l'énoncé en prenant 1 cm pour 5 N.
5. L'affirmation de Mélissa est-elle vérifiée ?

#### 6 Caméra sur grue

Benoît est assistant sur un plateau de tournage, il manipule une caméra montée sur une grue. La grue est équipée d'un contrepoids de masse 15 kg. Les dimensions sont données sur le modèle. Benoît affirme que ce système lui permet de soulever facilement sa caméra de 4 kg.

Modélisation :



1. Représenter sur le modèle les deux forces  $\vec{P}_1$  et  $\vec{P}_2$  exercées respectivement par la caméra et le contrepoids.
2. Calculer les valeurs de  $\vec{P}_1$  et  $\vec{P}_2$  avec  $g = 10 \text{ N/kg}$ .
3. Faire l'inventaire des moments des forces de ce système de levage.
4. L'équilibre est-il réalisé ? Expliquer.
5. Comment rétablir l'équilibre ?

#### 7 Tour de Pise

EXPÉRIMENTAL

Thomas et Louise sont en vacances en Italie, ils observent la tour de Pise et constatent sur leur guide qu'elle penche de  $4^\circ$ . Ils se demandent si elle peut basculer davantage et atteindre la tour Capital Gate (Abu Dhabi) qui a une inclinaison de  $18^\circ$ .



1. Rechercher sur internet les dimensions réelles de la tour de Pise. Noter la hauteur et la largeur.
2. Dire pourquoi un objet peut basculer.
3. Utiliser le fichier « Tour de Pise » en insérant les bonnes dimensions et incliner la tour jusqu'à la limite du basculement.
4. Noter la valeur de l'angle limite de basculement.
5. Que répondre à Thomas et Louise concernant la possibilité d'atteindre  $18^\circ$  ?

À TÉLÉCHARGER

Tour de Pise

→ lienmini.fr/4935-095

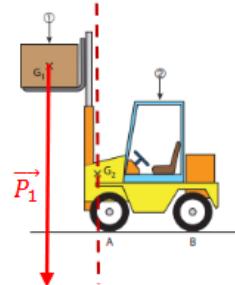


## Correction des exercices

### Corrections des exercices « J'approfondis » du chapitre 9

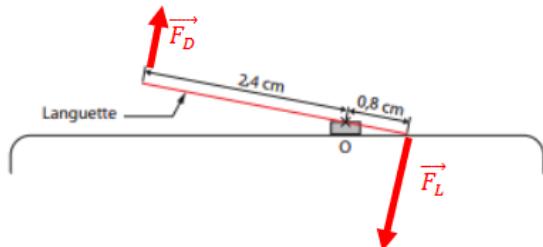
#### 4. Basculement d'un chariot

1. La valeur du poids de la charge 1 est :  $P_1 = 500 \times 10 = 5000 \text{ N}$
2. Voir dessin (flèche de 5 cm)
3. Verticale en pointillé voir dessin. L'objet ne bascule pas car la verticale coupe la base de sustentation.



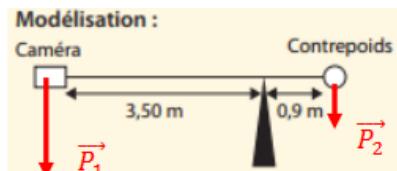
#### 5. Ouverture d'une canette

1. Voir dessin.
2.  $M_{F_D/O} = 5 \times 0,024 = 0,12 \text{ N.m}$
3. Si  $M_{F_D/O} = 5 \times 0,024 = 0,12 \text{ N.m}$   
Si  $M_{F_L/O} = F_L \times 0,008 = 0,12 \text{ N.m}$   
alors  $F_L = \frac{0,12}{0,008} = 15 \text{ N}$
4. Représentation sur le dessin.
5. L'affirmation de Melissa est vérifiée, la force exercée par le doigt est 3 fois moins importante que celle exercée sur la languette.



#### 6. Caméra sur grue

1. Voir dessin.
2.  $P_1 = 4 \times 10 = 40 \text{ N}$   
 $P_2 = 15 \times 10 = 150 \text{ N}$
3.  $M_{P_1/O} = 40 \times 3,50 = 140 \text{ N.m}$   
 $M_{P_2/O} = 150 \times 0,9 = 135 \text{ N.m}$
4. L'équilibre n'est pas réalisé car la somme des moments n'est pas nulle.
5. Il faut rétablir l'équilibre en exerçant une force sur le contrepoids.



#### 7. Tour de Pise

1. Dimensions : diamètre 15,4 m et hauteur 58 m.
2. Un objet bascule si la verticale passant par le centre de gravité ne coupe plus la base de sustentation.
3. Je déplace le point B afin de régler le diamètre de la base à 15,4 m.  
– Je déplace le point C afin de régler la hauteur de la tour à 58 m.  
– J'incline la tour afin d'être à la limite du basculement lorsque la verticale en pointillés bleus rencontre le point B.  
– Je note l'angle d'inclinaison entre la tour et la verticale.
4. La valeur de l'angle limite de basculement est 15,37°.
5. La tour de Pise ne pourra pas être autant inclinée que 18°.