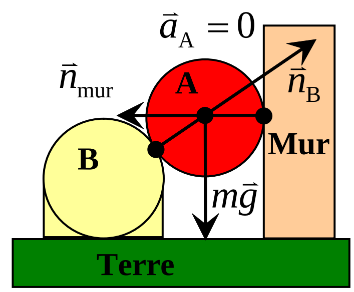
Chapitre 2.3a – Les forces de contact

La force normale

La **force normale** est la force exercée par une **surface** sur un objet en **contact** avec elle **empêchant** ceux-ci de **s'interpénétrer**. La surface, jouant le rôle de support ou d'appui, applique une **force de poussée** toujours **perpendiculaire à la surface**. Lorsque l'objet n'est plus en contact avec la surface, celle-ci n'applique plus de force normale.

La force normale résulte du fait que les atomes contenus dans un objet repoussent les atomes d'un autre objet lorsque ceux-ci sont très près. Cette force est de **nature électrique**.

Il est important de préciser que la force normale ne peut **pas être évaluée** à l'aide d'une **formule directement**, car elle dépend de la situation. Ainsi, la force normale pourra seulement être évaluée à l'aide de la **2e loi de Newton**.



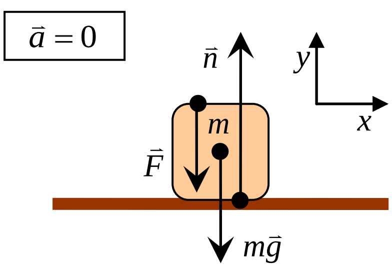
En raison de la géométrie sphérique de l'objet A, toutes les normales sont orientées vers son centre.

Symbole : $\vec{n}$

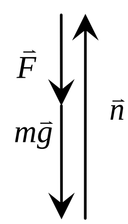
Unité SI (newton) : $[\vec{n}] = \mathrm{N}$

Situation A : *Un bloc appuyé contre une planche*. Un bloc de 5 kg repose contre une planche de bois horizontale. Albert pousse avec une force de 20 N verticalement vers le bas sur le bloc. On désire évaluer la force normale qu'applique la planche de bois sur le bloc.

Voici le schéma des forces de la situation :



Résolution de la 2e loi de Newton graphiquement :



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \text{où} \quad \vec{F} + m\vec{g} + \vec{n} = 0$$

Évaluons la force normale à l'aide de la 2e loi de Newton :

$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} + m\vec{g} + \vec{n} = m\vec{a}$ (Remplacer $\sum \vec{F}$)

$\Rightarrow \quad \vec{F} + m\vec{g} + \vec{n} = 0$ (Bloc à l'équilibre, donc $\vec{a} = 0$)

$\Rightarrow \quad -F - mg + n = 0$ (Décomposition des forces en y)

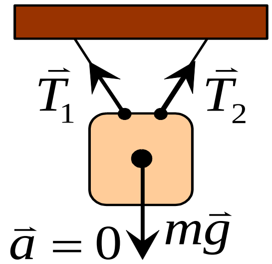
$\Rightarrow \quad n = F + mg$ (Isoler n)

$\Rightarrow \quad n = (20) + (5)(9{,}8)$ (Remplacer valeurs numériques)

$\Rightarrow \quad \boxed{n = 69 \ \mathrm{N}}$ (Évaluer n)

La tension

La **tension** est le nom que porte la force appliquée par une **corde** sur un objet. Une corde ne peut **<u>pas pousser</u>** un objet, car elle n'est pas rigide (ce n'est pas une tige). Pour qu'elle puisse appliquer une force de tension, la **corde** doit être **tendue**. **L'orientation** de la tension est toujours **parallèle** à la **corde** et orienté vers **l'extérieur de l'objet** afin de tirer sur l'objet.



Comme dans le cas de la force normale, la tension ne peut **pas être évaluée** à l'aide d'une **formule directement**, car elle dépend de la situation. La tension pourra seulement être évaluée à l'aide de la **2^{e} loi de Newton**. Lorsqu'un la tension doit dépasser une valeur critique pour satisfaire la situation en jeu, la corde peut alors briser.

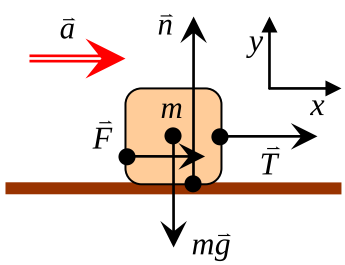
Dans le corps humain, les **muscles** jouent le rôle de **force de tension**, car ils se comportent comme des cordes (on ne peut pas pousser avec un muscle).

Symbole : $\vec{T}$

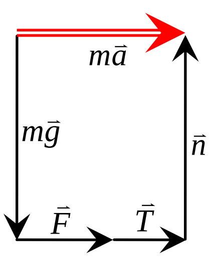
Unité SI (newton) : $\left[\vec{T}\right] = \mathrm{N}$

Situation B : *Quand on est deux, ça va deux fois mieux*. Un bloc de 50 kg est déposé sur une surface horizontale sans frottement. Lorsqu'Albert pousse horizontalement sur le bloc avec une force de 10 N et que Béatrice tire le bloc à l'aide d'une corde, le bloc accélère au rythme de 0,3 m/s^2. On désire évaluer la tension appliquée par la corde sur le bloc.

Voici le schéma des forces de la situation :



Résolution de la 2^{e} loi de Newton graphiquement :



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \text{où} \quad \vec{F} + \vec{T} + m\vec{g} + \vec{n} = m\vec{a}$$

Évaluons la tension à l'aide de la 2^{e} loi de Newton selon l'axe *x* :

$\sum F_x = ma_x \quad \Rightarrow \quad F + T = ma_x$ (Remplacer $\sum F_x$)

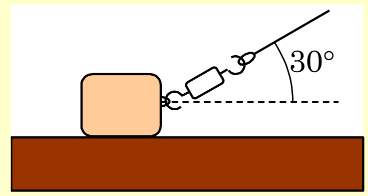
$\Rightarrow \quad F + T = m(+a)$ (Bloc accélère, donc $a_x = +a$ où $a = 0{,}3 \text{ m/s}^2$)

$\Rightarrow \quad T = ma - F$ (Isoler *T*)

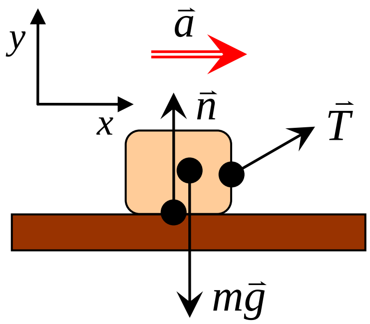
$\Rightarrow \quad T = (50)(0{,}3) - (10)$ (Remplacer valeurs numériques)

$\Rightarrow \quad \boxed{T = 5 \text{ N}}$ (Évaluer *T*)

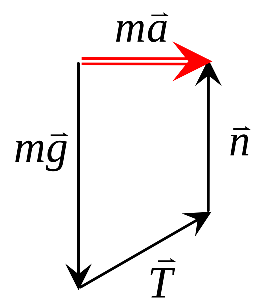
Situation 4 : ***Un bloc sur un plan horizontal sans frottement.*** Sur une surface horizontale sans frottement, on tire sur un bloc de 2 kg avec une corde orientée à $\theta = 30°$ par rapport à l'horizontale. Un dynamomètre placé entre la corde et le bloc indique 4 N. On désire déterminer le module de la force normale exercée par la surface sur le bloc ainsi que l'accélération du bloc



Voici le schéma des forces de la situation :



Résolution de la 2[e] loi de Newton graphiquement :



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \text{où} \quad \vec{T} + m\vec{g} + \vec{n} = m\vec{a}$$

Développons notre 2[e] loi de Newton selon l'axe x afin d'obtenir l'accélération a_x du bloc :

$$\sum F_x = ma_x \quad \Rightarrow \quad T\cos(30°) = ma_x \qquad \text{(Remplacer } \textstyle\sum F_x \text{)}$$

$$\Rightarrow \quad a_x = \frac{T\cos(30°)}{m} \qquad \text{(Isoler } a_x \text{)}$$

$$\Rightarrow \quad a_x = \frac{(4)\cos(30°)}{(2)} \qquad \text{(Remplacer valeurs num.)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{a_x = 1{,}73 \ \text{m/s}^2} \qquad \text{(Évaluer } a_x \text{)}$$

Développons notre 2[e] loi de Newton selon l'axe y afin d'obtenir la normale n appliquée par le sol sur le bloc :

$$\sum F_y = ma_y \quad \Rightarrow \quad n - mg + T\sin(30°) = ma_y \qquad \text{(Remplacer } \textstyle\sum F_y \text{)}$$

$$\Rightarrow \quad n - mg + T\sin(30°) = 0 \qquad \text{(Remplacer } a_y = 0 \text{)}$$

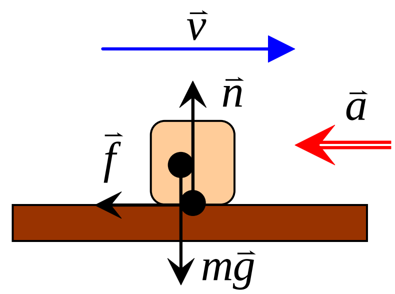
$$\Rightarrow \quad n = mg - T\sin(30°) \qquad \text{(Isoler } n \text{)}$$

$$\Rightarrow \quad n = (2)(9{,}8) - (4)\sin(30°) \qquad \text{(Remplacer valeurs num.)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{n = 17{,}6 \ \text{N}} \qquad \text{(Évaluer } n \text{)}$$

La force de frottement exercée par une surface

Le **frottement de surface** est la force exercée par une **surface** sur un objet qui tend à **s'opposer** au **glissement** de l'objet sur la surface. La surface, jouant le rôle de friction, applique une **force** toujours **parallèle** à la **surface** dans le **sens opposé** au **mouvement relatif** de l'**objet** **<u>par rapport</u>** à la **surface**. Lorsque l'objet n'est plus en contact avec la surface, celle-ci n'applique plus de force de frottement.



Nous allons exploiter deux méthodes pour évaluer le module de la force de frottement :

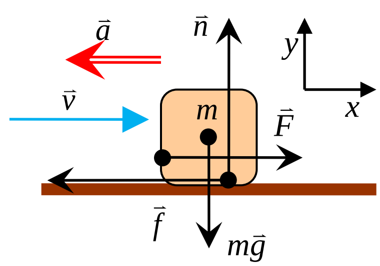
1) Utiliser la 2e loi de Newton.
2) Utiliser le modèle simplifié du frottement (voir **chapitre 2.5** : $f = \mu n$).

Symbole : $\vec{f}$

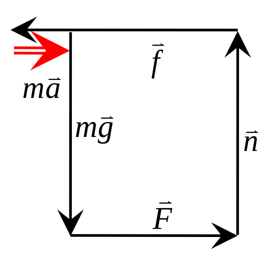
Unité SI (newton) : $[\vec{f}] = \text{N}$

Situation C : *Frotter et décélérer*. Albert pousse horizontalement sur un bloc de 20 kg avec une force de 40 N et le bloc décélère à un rythme de 0,2 m/s² en raison du frottement de contact avec le sol. On désire évaluer le module de la force de frottement qu'exerce le sol sur le bloc.

Voici le schéma des forces de la situation :



Résolution de la 2e loi de Newton graphiquement :



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \text{où} \quad \vec{F} + m\vec{g} + \vec{n} + \vec{f} = m\vec{a}$$

Évaluons le module du frottement à l'aide de la 2e loi de Newton selon l'axe x :

$\sum F_x = ma_x \quad \Rightarrow \quad F - f = ma_x$ (Remplacer $\sum F_x$)

$\Rightarrow \quad F - f = m(-a)$ (Bloc décélère, donc $a_x = -a$ où $a = 0,2\ \text{m/s}^2$))

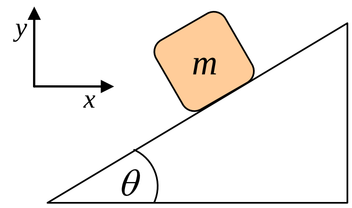
$\Rightarrow \quad f = F + ma$ (Isoler f)

$\Rightarrow \quad f = (40) + (20)(0,2)$ (Remplacer valeurs numériques)

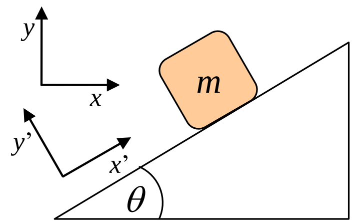
$\Rightarrow \quad \boxed{f = 44\ \text{N}}$ (Évaluer f)

La géométrie du plan incliné

Le plan incliné est un problème de physique ayant une géométrie particulière, car un objet qui glisse sur celui-ci n'effectue pas un mouvement purement horizontal ou purement vertical. Dans les faits, le mouvement est une combinaison des deux mouvements précédents.



Pour simplifier les mathématiques, il est préférable de définir un axe parallèle au plan incliné et un axe perpendiculaire au plan. Cependant, ce nouveau choix d'axe implique une décomposition des forces verticales (comme la force gravitationnelle).



Voici la décomposition selon l'axe *x*' et *y*' de la force gravitationnelle :

$m\vec{g}$ en *x*' : $-mg\sin(\theta)$

$m\vec{g}$ en *y*' : $-mg\cos(\theta)$

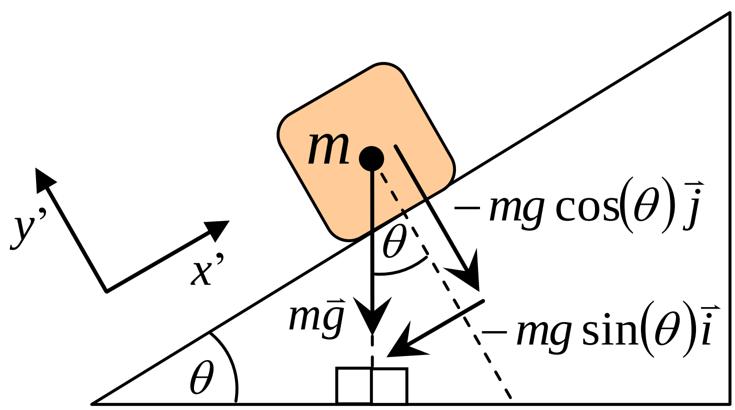
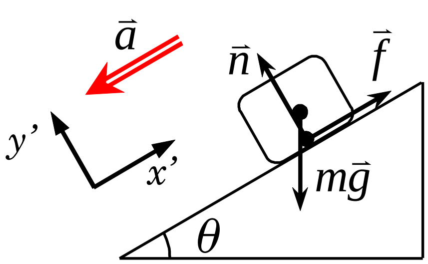
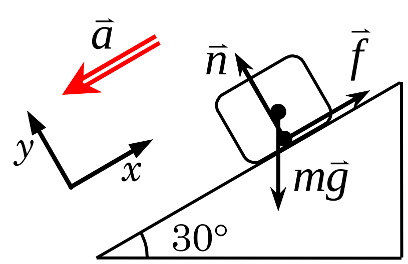


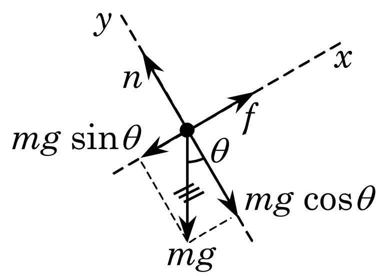
Schéma des forces	Avantage	Inconvénient
 (Situation où $mg\sin(\theta) > f$)	➢ Pas besoin de décomposer la force de frottement de contact $\vec{f}$. ➢ Pas besoin de décomposer la force normale $\vec{n}$. ➢ Pas besoin de décomposer l'accélération $\vec{a}$.	➢ La force gravitationnelle $m\vec{g}$ doit être décomposée en *x*' et en *y*'.

Situation 6 : ***Un bloc sur un plan incliné avec frottement.*** On dépose un bloc de 2 kg sur un plan incliné à 30° par rapport à l'horizontale. Le module de la force de frottement qui s'exerce sur le bloc est égal à 6 N. On désire déterminer l'accélération du bloc (grandeur et orientation).

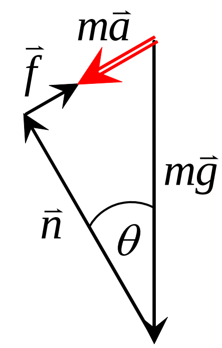
Voici le schéma des forces de la situation :



Décomposition des forces selon l'axe x et y :



Résolution de la 2e loi de Newton graphiquement :



$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

où $m\vec{g} + \vec{n} + \vec{f} = m\vec{a}$

Développons notre 2e loi de Newton selon l'axe x afin d'obtenir l'accélération a_x du bloc :

$\sum F_x = ma_x \quad \Rightarrow \quad f - mg\sin(\theta) = ma_x$ (Remplacer $\sum F_x$)

$\Rightarrow \quad a_x = \dfrac{f - mg\sin(\theta)}{m}$ (Isoler a_x)

$\Rightarrow \quad a_x = \dfrac{(6)-(2)(9,8)\sin((30°))}{(2)}$ (Remplacer valeurs num.)

$\Rightarrow \quad \boxed{a_x = -1,9 \ \text{m/s}^2}$ (Évaluer a_x)

Le bloc accélère à un rythme de **1,9 m/s²** le long du plan incliné **vers la gauche** (qui est dans le sens négatif de l'axe x).

P.S. Pour obtenir la normale à la surface n, nous devrions résoudre la 2e loi de Newton selon l'axe y tel que

$$\sum F_y = ma_y \quad \Rightarrow \quad n - mg\cos(\theta) = 0 \quad \text{où} \quad a_y = 0 \quad .$$