4 LES FORCES, 1RE PARTIE

En 2008, on a amené le sous-marin Onondaga sur la terre ferme pour l'installer le long du quai de Pointe-au-Père à Rimouski. Pour y arriver, on a tiré le sous-marin de 1400 tonnes le long d'une rampe inclinée de 4° à l'aide des poulies. En tout, le câble d'acier tirait 18 fois sur la poulie attachée au sous-marin. Le sous-marin était sur des petits charriots, ce qui limitait la friction entre le sol et le sous-marin de sorte qu'on va la négliger ici. Avec quelle force devait-on tirer sur le câble pour faire monter le sous-marin à vitesse constante ?

Site historique maritime de la Pointe-au-Père

Découvrez la réponse à cette question dans ce chapitre.

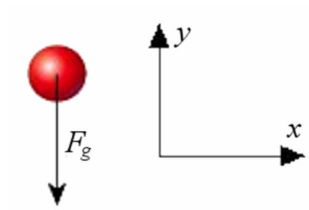
4.1 LA FORCE DE GRAVITATION

Formule de la force

Puisque les objets qui tombent accélèrent, il doit y avoir une force qui agit sur eux. Cette force est la force de gravitation. Puisqu'on sait que tous les objets tombent avec la même accélération de 9,8 m/s², peu importe leur masse, on peut facilement trouver la formule de la force de gravitation avec la 2e loi de Newton.

Pour un objet en chute libre, la seule force qui agit est la force gravitationnelle. La direction de la force est évidemment vers le bas. L'équation des forces nous donne donc

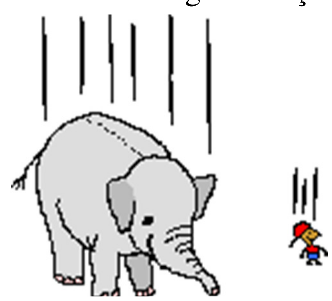
$$\sum F_y = ma_y$$
$$-F_g = m \cdot -9,8 \tfrac{m}{s^2}$$
$$F_g = m \cdot 9,8 \tfrac{m}{s^2}$$
$$F_g = mg$$



Ainsi, la grandeur de la force gravitationnelle doit être égale à *mg* pour que tous les objets tombent avec une accélération de 9,8 m/s².

Donc, plus la masse de l'objet est grande, plus la force gravitationnelle est grande. Ça semble bien logique puisque les objets plus massifs sont plus difficiles à soulever.

On comprend alors pourquoi tous les objets ont la même accélération. La force plus grande sur un objet plus massif est exactement compensée par le fait que l'objet plus massif est plus difficile à accélérer.



edublognss.wordpress.com/2013/04/16/gravitation/

Unités de *g*

Le *g* dans la formule de la force gravitationnelle n'est pas l'accélération de l'objet même si elle est en m/s² (le *g* correspond à l'accélération seulement si l'objet est en chute libre). La force gravitationnelle est toujours *mg,* peu importe l'accélération de l'objet.

En réalité, ce *g* est la grandeur du champ gravitationnel près de la Terre (on va davantage explorer ce concept au chapitre 6).

Pour bien souligner que ce n'est pas une accélération, on utilise des N/kg pour la valeur de *g* quand on l'utilise pour calculer la force gravitationnelle

$$g = 9,8 \tfrac{N}{kg}$$

Les N/kg sont équivalents à des m/s², mais ce changement d'unités souligne la différence conceptuelle entre le g qui mesure l'accélération des corps en chute libre et le g qui donne la grandeur du champ gravitationnel à la surface de la Terre.

Un g de 9,8 N/kg, signifie qu'il y a une force de 9,8 N pour chaque kilogramme de l'objet.

On a donc la force gravitationnelle suivante.

Force de gravitation (F_g) ou Poids (P) (formule valide près de la surface de la Terre)

1) Grandeur de la force

$$P = mg \qquad \text{où } g = 9{,}8\,\tfrac{N}{kg}$$

2) Direction de la force

Vers le bas (centre de la Terre).

3) Point d'application de la force

À partir du centre de masse de l'objet.
(À voir au chapitre sur le centre de masse.
Pour l'instant, prenez un point à peu près au centre de l'objet.)

Masse et poids

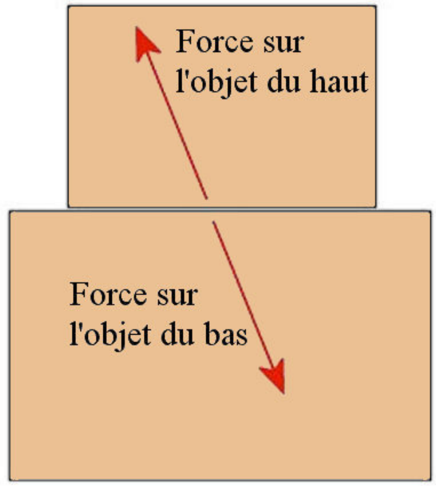
La force gravitationnelle sur les objets s'appelle aussi *le poids*, qu'il ne faut pas confondre avec la masse. La masse est en kilogrammes et représente la quantité de matière dans un objet alors que le poids est en newtons et représente la force de gravitation agissant sur l'objet.

La masse est une propriété intrinsèque d'un objet, ce qui signifie que les objets ont toujours la même masse, peu importe leur position dans l'univers. Par contre, le poids d'un objet varie selon sa position dans l'univers. Un objet de 10 kg dans l'espace très loin de toutes les planètes et de toutes les étoiles aurait un poids nul (il n'y aurait pas de force de gravitation puisqu'il n'y a pas de planètes ou d'étoiles proches pour faire de force gravitationnelle), mais ça reste un objet de 10 kg. Si on veut mettre cet objet de 10 kg en mouvement avec une accélération de 2 m/s², il faudra quand même une force de 20 N, même si le poids de l'objet est nul.

C'est Isaac Newton qui fit la première véritable distinction entre la masse et le poids en 1685.

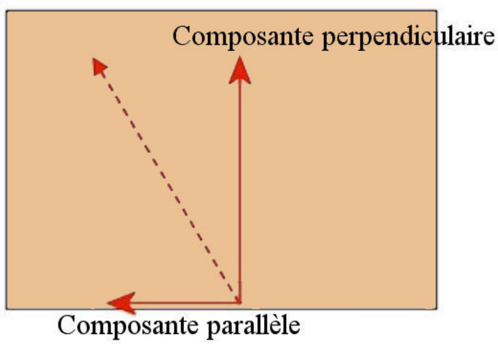
4.2 LA NORMALE

Qu'est-ce que la normale ?



Quand deux objets entrent en contact, il y a une force entre les deux objets. De façon très générale, les forces peuvent être représentées comme sur la figure de droite.

Il y a deux forces selon la troisième loi de Newton. Si l'objet du haut fait une force sur l'objet du bas, alors l'objet du bas fait une force de même grandeur et de direction opposée sur l'objet du haut. Examinons la force sur l'objet du haut. Nous allons séparer cette force en deux composantes : la composante perpendiculaire à la surface de contact et la composante parallèle à la surface de contact.

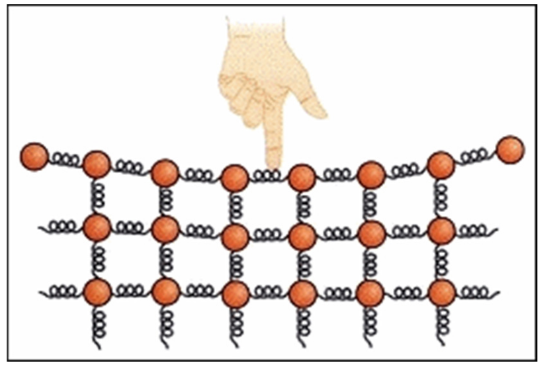


Nous étudierons la composante parallèle à la surface plus tard (ce sera la force de friction du chapitre suivant) et nous concentrerons nos efforts sur la composante perpendiculaire pour l'instant. Comme *normale* est synonyme de perpendiculaire, cette composante de la force porte le nom de *force normale* ou tout simplement de *normale*. Elle est notée F_N (On utilise parfois *N*, mais ça risque d'être mêlant avec le symbole de l'unité newton).

Cette composante représente une répulsion entre les objets en contact. Illustrons cela en supposant que vous êtes debout et immobile sur un matelas. On remarque alors que les ressorts du matelas sont écrasés par votre présence. Si vous faites une force sur les ressorts du matelas vers le bas pour les écraser, alors les ressorts du matelas font une force sur vous vers le haut selon la troisième loi de Newton. C'est cette force qui vient annuler la force de gravitation agissant sur vous. Elle doit annuler exactement la force de gravitation. Si la force faite par les ressorts est plus petite que la force de gravitation, alors il y a un excès de force vers le bas. Vous allez alors accélérer vers le bas et compresser davantage les ressorts, ce qui augmentera la force qu'ils font sur vous. Si la force faite par les ressorts est plus grande que la force de gravitation, alors il y a un excès de force vers le haut. Vous allez donc accélérer vers le haut et décompresser les ressorts, ce qui diminuera la force qu'ils font sur vous. Ces deux effets nous amènent donc vers un état où la force faite par les ressorts annule exactement votre poids.

Ça peut paraitre surprenant, mais c'est exactement ce qui se passe si vous poussez sur une surface avec votre doigt. Quand vous poussez sur un objet, il y a une légère déformation, même avec les objets qu'on pense très rigides. Les objets, puisqu'ils ont de l'élasticité, agissent alors comme un ressort : en écrasant l'objet, les forces entre les atomes font une force qui s'oppose à la déformation.

En fait, on peut représenter les forces entre les atomes par des ressorts, comme sur la figure de droite. En poussant sur la surface, vous rapprochez les atomes les uns des autres, ce qui comprime tous les ressorts entre les atomes. Si votre doigt fait une force vers le bas sur les atomes pour comprimer ces ressorts, alors, par la troisième loi de Newton, les atomes font une force vers le haut sur votre doigt. C'est cette force qui est la force normale.



www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/32b.shtml

Comme le contact entre des objets ne peut qu'écraser les objets, la force normale ne peut être qu'une répulsion entre deux objets en contact. Elle ne peut jamais être une attraction.

Ainsi, si vous êtes debout et immobile sur le sol, vos pieds exercent une force sur le sol qui le comprime un peu (beaucoup moins qu'un matelas, mais ça comprime). Si vos pieds font une force sur le sol vers le bas, alors le sol exerce une force de même grandeur vers le haut sur vos pieds selon la troisième loi de Newton. Cette force, la force normale, vient annuler la force de gravitation agissant sur vous et vous restez alors immobile. Ce vidéo reprend un peu cette explication.
https://www.youtube.com/watch?v=aJc4DEkSq4I

On peut donc résumer ainsi.

Normale (N ou F_N)

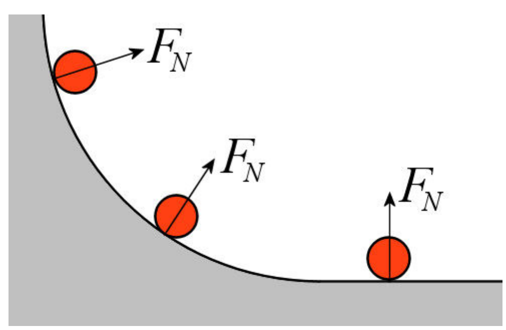
1) Grandeur de la force
À déterminer avec les lois de Newton.

2) Direction de la force
Répulsion entre les objets, perpendiculaire à la surface de contact.

3) Point d'application de la force
Surface de contact entre les objets.

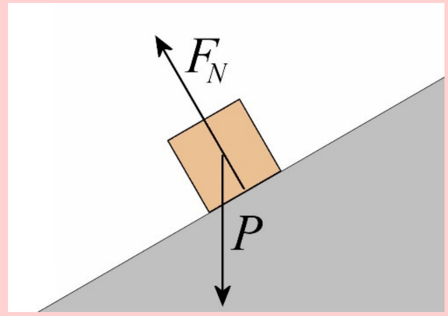
La force est toujours perpendiculaire à la surface de contact entre les objets. Prenons les trois boules de droite pour illustrer cela.

On peut voir que la force sur la boule est toujours une force de répulsion (la pente repousse la boule) et que cette force est toujours perpendiculaire à la surface de contact (la pente dans ce cas).



Erreur fréquente : Penser que le poids et la normale sont associés selon la troisième loi de Newton.

Cela voudrait dire que la normale serait toujours de la même grandeur que le poids et qu'elle serait toujours dans la direction opposée. Ça peut parfois être vrai (comme c'est le cas pour un objet immobile sur une surface horizontale), mais généralement ce n'est pas le cas. L'exemple d'un objet sur un plan incliné sans friction illustre cela. Les forces sur l'objet sont le poids (vers le bas) et la normale (perpendiculaire à la surface de contact). On voit que ces deux forces ne sont pas opposées l'une à l'autre. Elles ne sont donc pas reliées par la troisième loi de Newton.



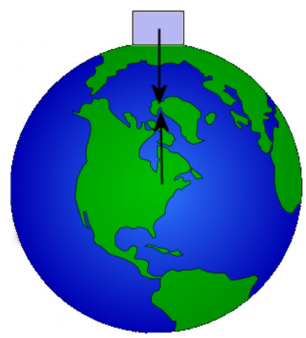
Mais si la normale n'est pas associée au poids par la troisième loi de Newton, quelle force est associée à la gravitation ? Appliquons le truc cité précédemment : on trouve la force associée en inversant simplement les deux objets dans la phrase suivante :

La Terre exerce une force de gravitation sur la boite.

On a alors

La boite exerce une force de gravitation sur la Terre.

La force associée est donc la force gravitationnelle exercée par la boite sur la Terre.



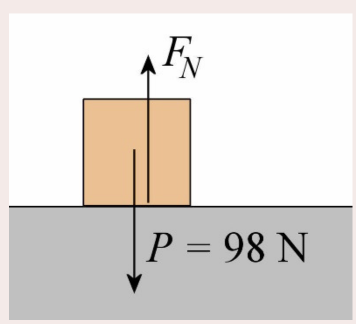
www.clker.com/clipart-earth-cartoon.html

Le calcul de la normale

Il n'y a pas de formule qui permet de trouver directement la grandeur de la normale. Il faut utiliser la deuxième loi de Newton pour la trouver. Voici quelques exemples.

Exemple 4.2.1

Une boite de 10 kg est au repos sur le sol. Quelle est la grandeur de la normale exercée par le sol sur la boite ?



<u>Les forces agissant sur l'objet</u>

Il y a deux forces sur la boite.

1) Le poids (P) dirigé vers le bas et qui a une grandeur de

$$10 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ N/kg} = 98 \text{ N}.$$

2) La normale (F_N). C'est une force de répulsion exercée par le sol et donc dirigée vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -98N + F_N$$

2^e^ loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -98N + F_N = 0$$

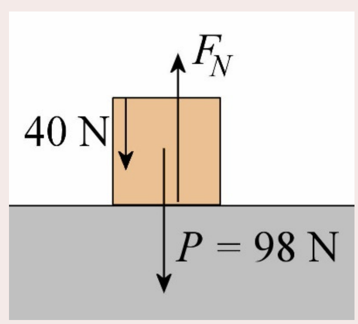
Solution de l'équation

La normale est donc

$$-98N + F_N = 0$$
$$F_N = 98N$$

Exemple 4.2.2

Une boite de 10 kg est au repos sur le sol. On applique une force de 40 N vers le bas sur la boite. Quelle est la grandeur de la normale exercée par le sol sur la boite ?



Les forces agissant sur l'objet

Il y a trois forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 98 N vers le bas.
2) La normale (F_N) vers le haut.
3) La force de 40 N vers le bas.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -98N + F_N - 40N$$

2^e loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -98N + F_N - 40N = 0$$

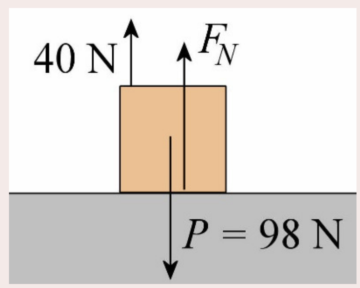
Solution de l'équation

La normale est donc

$$-98N + F_N - 40N = 0$$
$$F_N = 138N$$

Exemple 4.2.3

Une boite de 10 kg est au repos sur le sol. On applique une force de 40 N vers le haut sur la boite. Quelle est la grandeur de la normale exercée par le sol sur la boite ?



Les forces agissant sur l'objet

Il y a trois forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 98 N vers le bas.
2) La normale (F_N) vers le haut.
3) La force de 40 N vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -98N + F_N + 40N$$

2^e loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -98N + F_N + 40N = 0$$

Solution de l'équation

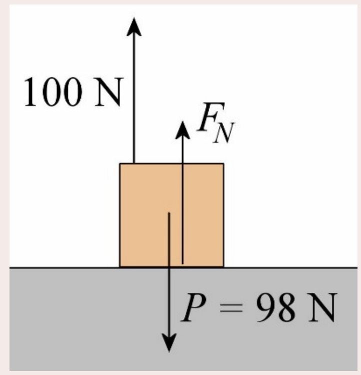
La normale est donc

$$-98N + F_N + 40N = 0$$
$$F_N = 58N$$

On voit dans ces deux derniers exemples que la normale n'a pas toujours la même grandeur que le poids, ce qui montre une fois de plus que le poids et la normale ne sont pas deux forces associées par la troisième loi de Newton.

Exemple 4.2.4

Une boite de 10 kg est au repos sur le sol. On applique une force de 100 N vers le haut sur la boite. Quelle est la grandeur de la normale exercée par le sol sur la boite ?



Les forces agissant sur l'objet

Il y a trois forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 98 N vers le bas.
2) La normale (F_N) vers le haut.
3) La force de 100 N vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -98N + F_N + 100N$$

2e loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on doit avoir

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -98N + F_N + 100N = 0$$

Solution de l'équation

La normale est donc

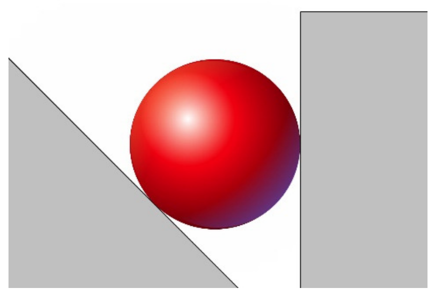
$$-98N + F_N + 100N = 0$$
$$F_N = -2N$$

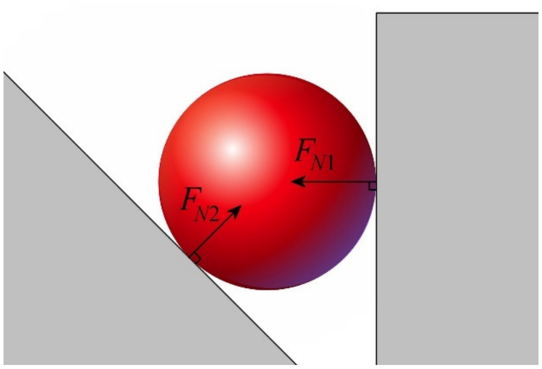
Cette réponse est impossible, la normale ne peut prendre une valeur négative. Si c'était le cas, cela voudrait dire que la normale est dans le sens contraire de la direction indiquée sur la figure. Or, comme on sait que la force normale est une force de répulsion entre les objets, on avait déjà indiqué correctement sa direction sur la figure. Si elle est négative et donc dans le sens contraire, la normale devient une attraction entre les objets ce qui ne peut jamais arriver.

Cette situation est donc impossible. Bien sûr, on peut tirer sur une boite de 10 kg avec une force de 100 N. Ce qui est impossible, c'est de dire que la boite reste au repos. Si on soulève avec une force de 100 N une boite dont le poids est de 98 N, il y a une force résultante de 2 N vers le haut qu'aucune autre force ne peut annuler. La boite accélère donc vers le haut dans cette situation. Elle n'est donc plus en contact avec le sol et la normale est nulle.

Il y a une normale à chaque contact avec un autre objet

La normale est une force de contact. À tous les endroits où l'objet qu'on étudie touche à un autre objet, il y a une normale qui s'exerce. Cette normale est toujours une force de répulsion et est toujours perpendiculaire à la surface de contact. Prenons l'exemple de cette boule pour illustrer cela.

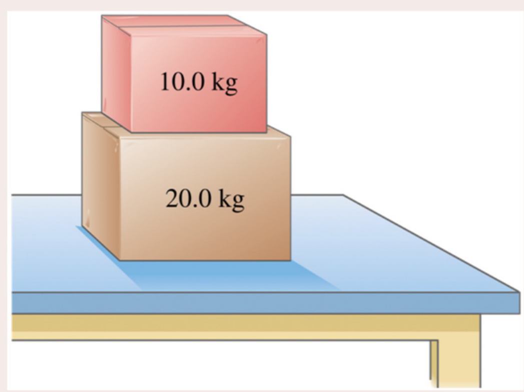




Cette boule touche à deux autres objets, ce qui signifie qu'il y a deux forces normales qui s'exercent sur cette boule. Comme les normales doivent être toujours perpendiculaires à la surface de contact, les normales ont les directions montrées sur la figure de gauche.

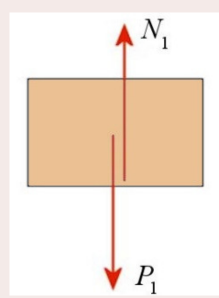
Exemple 4.2.5

Dessinez toutes les forces s'exerçant sur les deux boites sur la figure. (Vous n'avez pas à trouver les grandeurs des forces.)



www.alpcentauri.info/chapter_4_problems1.html

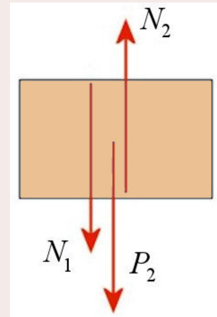
Commençons par la boite du haut. Comme la boite a une masse, elle a un poids dirigé vers le bas. Comme elle touche à la boite en dessous d'elle, il y a une normale vers le haut. Cette force est vers le haut puisque la boite du bas repousse la boite du haut.



Les forces sont donc :

1) Le poids (P_1) vers le bas.
2) La normale faite par la boite du bas (N_1) vers le haut.

Allons-y ensuite avec la boite du bas. Il y a évidemment un poids vers le bas. Comme la boite touche à deux choses (la boite du haut et la table), il y a 2 normales. Puisque ce sont des forces de répulsion, la table fait une normale vers le haut et la boite du haut fait une force vers le bas. Les forces sont donc :



1) Le poids (P_2) vers le bas.
2) La normale faite par le sol (N_2) vers le haut.
3) La normale faite par le sol (N_1) vers le haut.

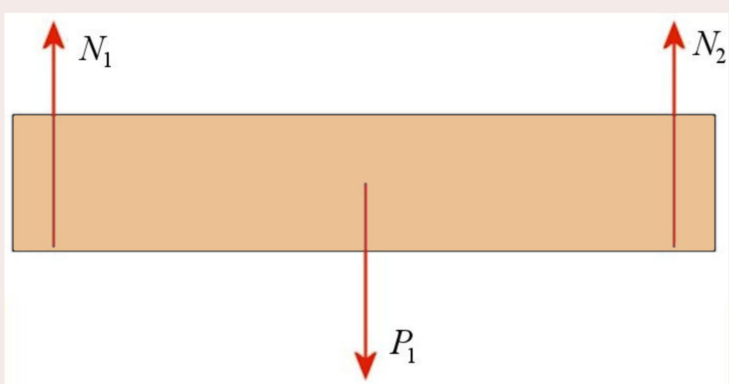
Remarquez que la normale faite par la boite du haut s'appelle N_1. Il était inutile d'utiliser un nouveau symbole tel que N_3 puisque cette force est de même grandeur que la normale faite sur la boite du haut. On sait cela à cause de la troisième loi de Newton : si la boite du bas fait la force normale N_1 vers le haut sur la boite du haut, alors la boite du haut fait une force normale N_1 vers le bas sur la boite du bas.

Exemple 4.2.6

Dessinez toutes les forces s'exerçant sur les trois boites sur la figure. (Vous n'avez pas à trouver les grandeurs des forces.)

Commençons par la boite du haut. Il y a bien sûr une force de gravitation vers le bas. Comme cette boite touche à deux objets (les boites de gauche et de droite), il y a aussi deux normales qui agissent sur la boite du haut. Ces forces sont vers le haut puisque les boites de gauche et de droite repoussent la boite du haut. Les forces sur la boite du haut sont donc :

1) Le poids (P_1) dirigé vers le bas.
2) La normale faite par la boite de gauche (N_1) vers le haut.
3) La normale faite par la boite de droite (N_2) vers le haut.

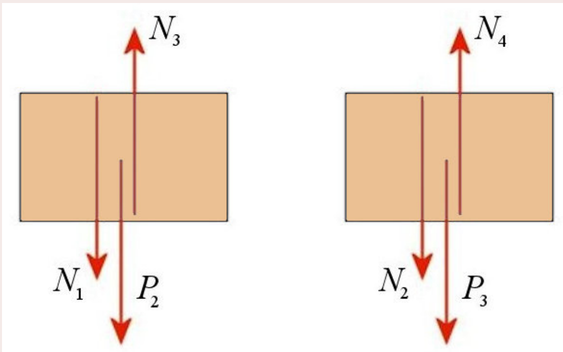


Allons ensuite aux boites supportant la boite du haut. Chacune de ces boites a un poids vers le bas. Ces boites touchent aussi à deux choses (le sol et la boite du haut) et il y a donc deux normales agissant sur chacune de ces boites. Les forces sur la boite de gauche sont donc :

1) Le poids (P_2) dirigé vers le bas.
2) La normale faite par le sol (N_3) vers le haut.
3) La normale faite par la boite du haut (N_1) vers le bas.

Les forces sur la boite de droite sont donc :

1) Le poids (P_3) dirigé vers le bas.
2) La normale faite par le sol (N_4) vers le haut.
3) La normale faite par la boite du haut (N_2) vers le bas.



4.3 LA TENSION

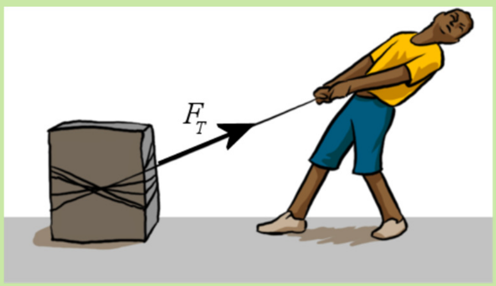
La force de tension est la force exercée par une corde. On peut affirmer, dès le départ, qu'une corde peut uniquement tirer sur un objet dans la direction de la corde, elle ne peut pas pousser ni exercer de force dans une direction perpendiculaire à la corde parce que la corde pliera si on tente de faire des forces de ce genre.

Tension (T ou F_T)

1) Grandeur de la force
   La valeur est donnée ou est à déterminer avec les lois de Newton.

2) Direction de la force
   La corde tire dans le sens de la corde.

3) Point d'application de la force
   Endroit où est fixée la corde.



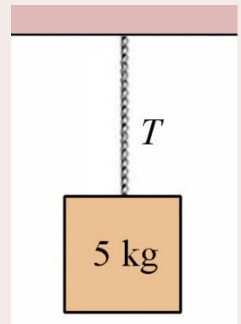
www.mstworkbooks.co.za/natural-sciences/gr9/gr9-ec-01.html

Le calcul de la tension

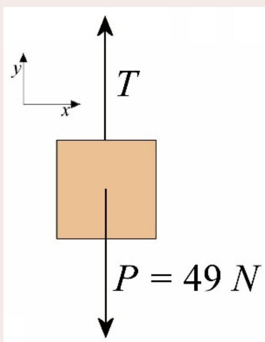
Il n'y a pas de formule qui permet de trouver directement la grandeur de la tension. Il faut utiliser la deuxième loi de Newton pour la trouver. Voici quelques exemples.

Exemple 4.3.1

Quelle est la force de tension exercée par la corde qui soutient cette boite de 5 kg au repos ?



Les forces agissant sur l'objet



Il y a deux forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 49 N vers le bas.
2) La tension de la corde (T) vers le haut (puisqu'une corde doit tirer).

Il n'y a pas de normale, car la boite ne touche à rien (à l'exception de la corde).

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -49N + T$$

2e loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on a

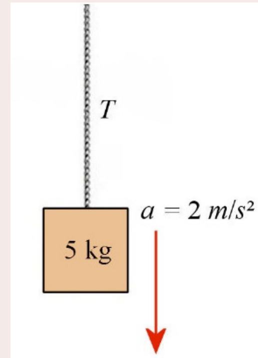
$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -49N + T = 0$$

Solution de l'équation

La tension est donc

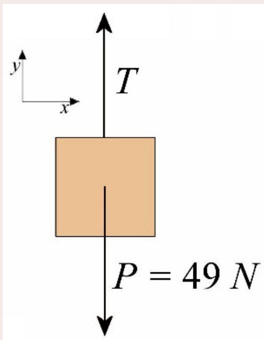
$$-49N + T = 0$$
$$T = 49N$$

Exemple 4.3.2



Quelle est la force de tension exercée par la corde qui soutient la boite si elle accélère vers le bas à 2 m/s² ?

Les forces agissant sur l'objet



Il y a deux forces sur la boite.

1) Le poids (*P*) de 49 N vers le bas.
2) La tension de la corde (*T*) vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -49N + T$$

2e loi de Newton

Puisque l'accélération en *y* est de -2 m/s², on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -49N + T = 5kg \cdot \left(-2\tfrac{m}{s^2}\right)$$

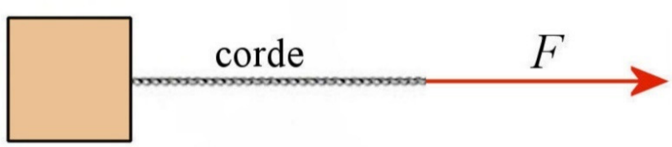
Solution de l'équation

La tension est donc

$$-49N + T = 5kg \cdot \left(-2\tfrac{m}{s^2}\right)$$
$$-49N + T = -10N$$
$$T = 39N$$

La force exercée par la corde est la même à chaque bout (si on néglige la masse de la corde)

Déterminons maintenant si la force que la corde fera sur le bloc est la même que la force que l'on exerce à l'autre bout de la corde, dans la situation illustrée sur la figure. Autrement dit, on va examiner s'il se perd de la force dans la corde.



Considérons en premier les forces sur la corde. Puisque la corde tire sur le bloc vers la droite, le bloc tire sur la corde vers la gauche selon la troisième loi de Newton. On a alors

L'équation des forces de la corde est

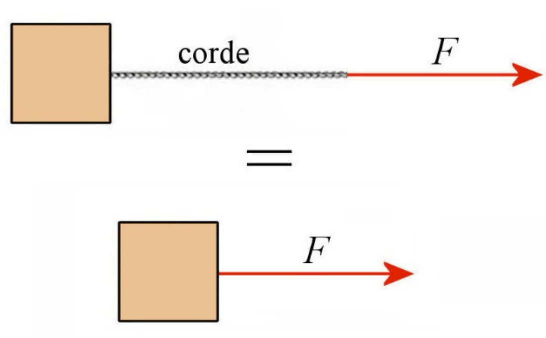
$$F_1 - F_2 = m_{corde} a$$

Si on néglige la masse de la corde en posant $m_{corde} = 0$ (ce qu'on fera toujours à moins d'indications contraires), on a

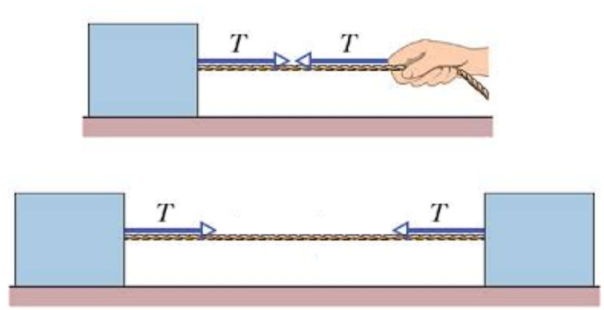
$$F_1 - F_2 = 0$$
$$F_1 = F_2$$

On voit donc que les deux forces à chaque bout de la corde doivent être identiques. Cette paire de force tend la corde et la met sous tension. C'est pour cela que cette force est appelée la force de tension et qu'elle est notée T ou F_T.

Puisque la force exercée par la boite sur la corde a une grandeur T, la force exercée par la corde sur la boite a aussi une grandeur T, ce qui est la même force que celle exercée à l'autre bout de la corde. Cela montre qu'il ne se perd pas de force dans la corde. (Ce n'est plus vrai si on ne néglige pas la masse de la corde. Dans ce cas, une partie de la force sert à accélérer la corde et il se perd donc une partie de la force.)

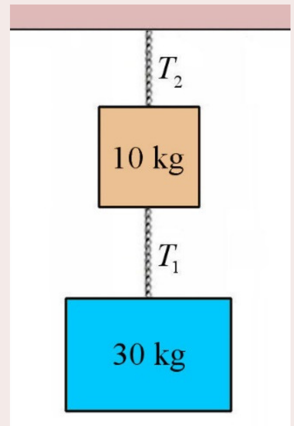


Cela signifie aussi que la force exercée par une corde a la même grandeur à chaque bout de la corde. Ainsi, si une corde relie deux objets, la corde tire sur chacun des objets avec des forces de même grandeur.



www.physicsforums.com/threads/direction-of-tension-force.806174/

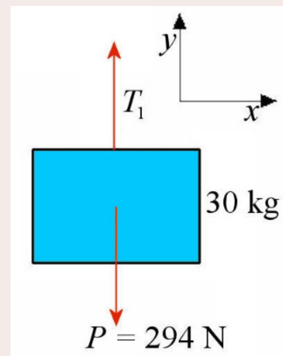
Exemple 4.3.3



On fixe deux blocs tels qu'illustrés sur la figure. Quelles sont les tensions de chacune des deux cordes ?

Quand il y a plusieurs objets, on peut résoudre le problème en faisant les équations des forces pour chaque objet séparément.

Bloc de 30 kg



Les forces agissant sur l'objet

Il y a deux forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 294 N vers le bas.
2) La force faite par la tension (T_1) vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -294N + T_1$$

2e loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -294N + T_1 = 0$$

Solution de l'équation

La tension est donc

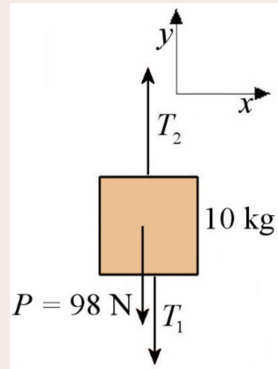
$$-294N + T_1 = 0$$
$$T_1 = 294N$$

Bloc de 10 kg

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur ce bloc.

1) Le poids (P) de 98 N vers le bas.
2) La force faite par la tension (T_1) vers le bas.
3) La force faite par la tension (T_2) vers le haut.



Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -98N - T_1 + T_2$$

2^e loi de Newton

Puisque la boite n'accélère pas, on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -98N - T_1 + T_2 = 0$$

Solution de l'équation

On a

$$-98N - T_1 + T_2 = 0$$

Comme la corde qui relie les deux boites doit faire la même force de tension à chaque bout de la corde, on doit avoir que T_1 = 294 N. Notre équation devient donc

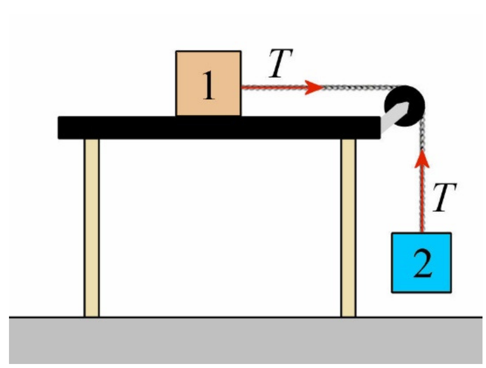
$$-98N - 294N + T_2 = 0$$

et la solution est

$$T_2 = 392N$$

La tension de la corde 1 est donc de 294 N et la tension de la corde 2 est donc 392 N. Cela veut dire que la corde 1 tire avec une force de 294 N à chacun de ses bouts et que la corde 2 tire avec une force de 392 N à chacun de ses bouts.

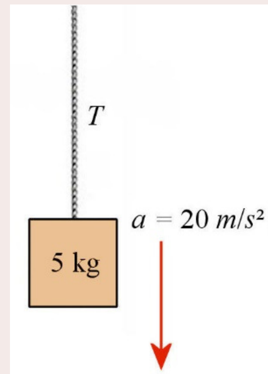
Notez que la force faite à chaque bout d'une corde reste la même si la corde passe par des poulies (si on néglige la masse de la poulie).



La tension ne peut pas être négative

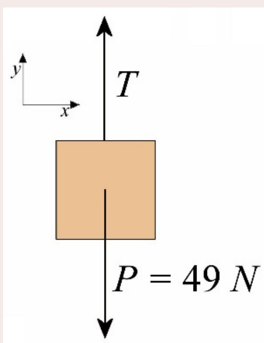
Quand on déterminera la force de tension à l'aide des lois de Newton, la réponse ne pourra être négative puisque nous aurons déjà tenu compte de la direction de la force (une corde tire). Une réponse négative voudra dire que la force est dans le sens contraire à celui qu'on avait indiqué. Cela voudrait dire que la corde pousse, ce qui est impossible.

Exemple 4.3.4



Quelle est la force de tension exercée par la corde qui soutient la boite montrée sur la figure si elle accélère vers le bas à 20 m/s² ?

Les forces agissant sur l'objet



Il y a deux forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 49 N vers le bas.
2) La tension de la corde (T) vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_y = -49N + T$$

2ᵉ loi de Newton

Puisque l'accélération en y est de -20 m/s², on a

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -49N + T = 5kg \cdot \left(-20\tfrac{m}{s^2}\right)$$

Solution de l'équation

La tension est donc

$$-49N + T = 5kg \cdot \left(-20\tfrac{m}{s^2}\right)$$
$$-49N + T = -100N$$
$$T = -51N$$

Cette valeur est impossible. Cette situation est impossible puisque la boite ne peut avoir une accélération supérieure à 9,8 m/s² vers le bas s'il n'y a que la gravitation qui fait une force vers le bas.

4.4 APPLICATIONS DES LOIS DE NEWTON

Pour résoudre des problèmes de dynamique, on suit la méthode montrée au chapitre 3. Toutefois, on peut maintenant donner quelques précisions.

Forces sur l'objet

À la première étape de la méthode, on doit trouver les forces qui agissent sur l'objet. Comme on connait maintenant 3 forces, voici comment on détermine toutes les forces agissant sur l'objet.

Les forces sur un objet

a) La gravitation
Il y a une force de gravitation sur tous les objets, à moins qu'on néglige leur masse.

b) La normale
Pour savoir s'il y a une normale, demandez-vous si l'objet touche à un autre objet (sauf une corde). Si oui, il y a une force de répulsion entre les objets à chaque contact avec un autre objet.

c) La tension
Toutes les cordes font une force de tension.

d) Toutes autres forces mentionnées explicitement dans le problème.

Choix des axes

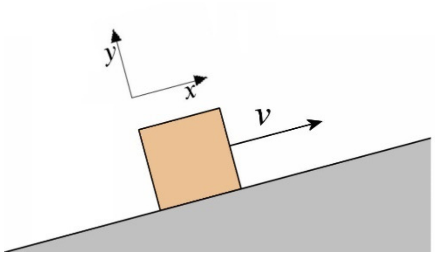
À la 3e étape de la méthode, on doit choisir des axes et séparer les forces en composantes. Précisons comment choisir des axes.

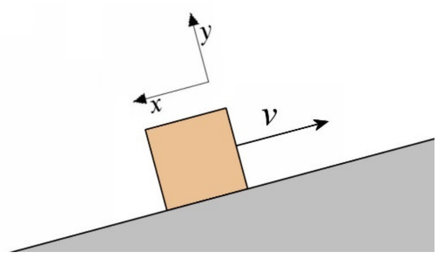
Objet au repos

Si on étudie un objet qui reste au repos, on peut mettre les axes comme on veut, pourvu que l'axe des x soit perpendiculaire à l'axe des y.

Objet en mouvement en ligne droite

Au chapitre 4 et 5, les objets se déplacent uniquement en ligne droite. Dans ce cas, l'accélération peut seulement être dans la direction de la vitesse ou dans la direction opposée à la vitesse. Ainsi, si l'objet se déplace ou va se déplacer en ligne droite, on simplifie grandement la solution si un des axes est dans la direction du mouvement de l'objet ou dans la direction opposée au mouvement de l'objet.





Si on met l'axe des *x* dans la direction de la vitesse (figure de gauche) ou dans la direction opposée à la vitesse (figure de droite), l'accélération sera alors toute dans la direction de l'axe des *x* alors que composante de l'accélération en *y* sera nulle. On a alors

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

Si on met l'axe des *y* dans la direction de la vitesse ou dans la direction opposée à la vitesse, on a

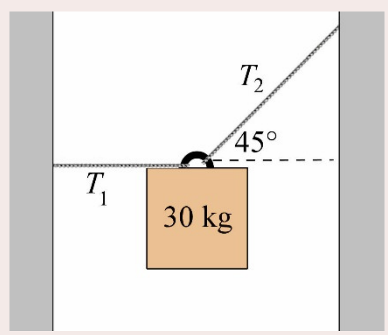
$$a_x = 0 \qquad\qquad a_y = a$$

Même si on met l'axe dans le sens opposé à la vitesse, on n'ajoute pas de signe négatif devant *a*. Cela va plutôt changer le signe de la valeur de *a*.

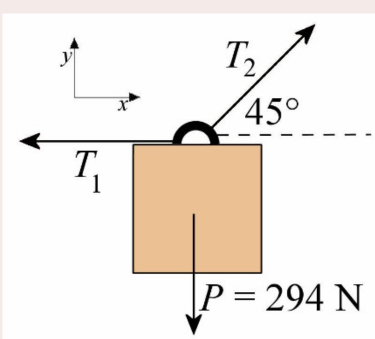
Exemples avec un seul objet

Exemple 4.4.1

Quelles sont les tensions des deux cordes qui soutiennent cette masse de 30 kg ?



On peut trouver les tensions des cordes avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur le bloc de 30 kg.



Les forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur la masse.

1) Le poids (P) de 294 N vers le bas.
2) La force de tension faite par la corde 1 (T_1).
3) La force de tension faite par la corde 2 (T_2).

Somme des forces

Pour faire la somme des forces, on peut utiliser un tableau comme celui-ci.

Forces	x	y
Poids	0	-294 N
Corde 1	- T_1	0
Corde 2	T_2 cos 45°	T_2 sin 45°

Dans ce tableau, on trouve les composantes des forces. Pour faire la somme des forces en x et en y, il ne reste qu'à additionner les composantes de chacune des colonnes.

(Voici une remarque importante : en utilisant l'angle entre la force et l'axe des x, vous aurez uniquement des cosinus pour la composante en x et uniquement des sinus pour la composante en y. De plus, vous ne pouvez jamais avoir des angles différents en x et en y pour une même force. Ainsi, l'angle est de 45° pour les deux composantes de T_2.)

La somme des forces en x est (somme de la colonne x du tableau)

$$\sum F_x = 0 - T_1 + T_2 \cos 45°$$

La somme des forces en y est (somme de la colonne y du tableau)

$$\sum F_y = -294N + T_2 \sin 45°$$

2e loi de Newton

La masse de 30 kg n'accélérant pas, les composantes de l'accélération sont nulles. On a alors les deux équations suivantes.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma_x &\quad\rightarrow\quad& 0 - T_1 + T_2 \cos 45° = 0 \\ \sum F_y &= ma_y &\quad\rightarrow\quad& -294N + T_2 \sin 45° = 0 \end{aligned}$$

Solution des équations

Avec la deuxième équation, on peut trouver la valeur de T_2.

$$-294N + T_2 \sin 45° = 0$$
$$T_2 = 415,78N$$

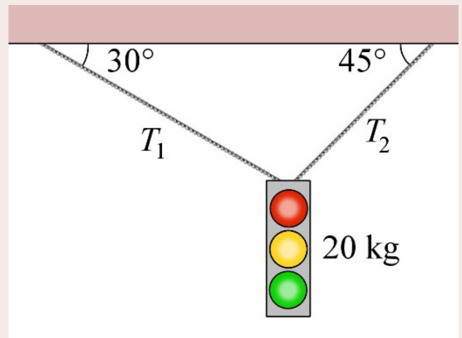
On peut ensuite utiliser cette valeur dans la somme des forces en x pour obtenir T_1.

$$-T_1 + T_2 \cos 45° = 0$$

$$-T_1 + 415,78N \cos 45° = 0$$
$$T_1 = 294N$$

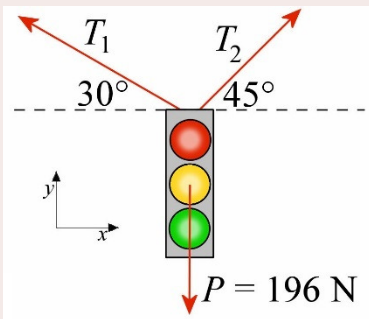
Les tensions des cordes sont donc 294 N (corde 1) et 415,78 N (corde 2).

Exemple 4.4.2



Quelles sont les tensions des cordes qui soutiennent ce feu de circulation ?

On peut trouver les tensions des cordes avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur le feu de circulation.



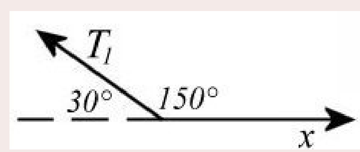
Les forces agissant sur l'objet

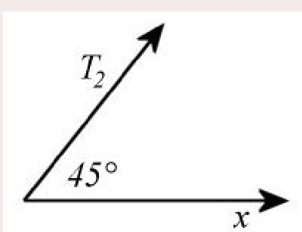
Il y a 3 forces sur le feu de circulation.

1) Le poids (P) de 196 N vers le bas.
2) La tension de la corde 1 (T_1).
3) La tension de la corde 2 (T_2).

Somme des forces

Pour séparer en composantes, il est important d'avoir les bons angles pour les tensions. L'angle cherché est l'angle entre cette force avec l'axe de x positifs. Pour T_1, l'angle entre la force et l'axe des x est 150°.





Pour la tension T_2, l'angle est de 45°.

Le tableau des forces est alors

Forces	x	y
Poids	0	-196 N
Corde 1	$T_1 \cos 150°$	$T_1 \sin 150°$
Corde 2	$T_2 \cos 45°$	$T_2 \sin 45°$

La somme des forces en x est

$$\sum F_x = 0 + T_1 \cos 150° + T_2 \cos 45°$$

La somme des forces en y est

$$\sum F_y = -196N + T_1 \sin 150° + T_2 \sin 45°$$

2^e^ loi de Newton

Le feu de circulation n'accélérant pas, les composantes de l'accélération sont nulles. On a alors les deux équations suivantes.

$$\begin{aligned} \sum F_x = ma_x \quad &\rightarrow \quad T_1 \cos 150° + T_2 \cos 45° = 0 \\ \sum F_y = ma_y \quad &\rightarrow \quad -196N + T_1 \sin 150° + T_2 \sin 45° = 0 \end{aligned}$$

Solution des équations

On a deux équations et deux inconnues. Vous pouvez résoudre le système d'équations en prenant la méthode de votre choix (substitution, Gauss-Jordan, Cramer ou autres, rappelez-vous le cours d'algèbre linéaire…). Ici, on prendra la méthode par substitution. Ainsi, si on isole T_2 dans la première équation

$$T_2 = \frac{-T_1 \cos 150°}{\cos 45°}$$

et qu'on substitue dans la deuxième équation, on a

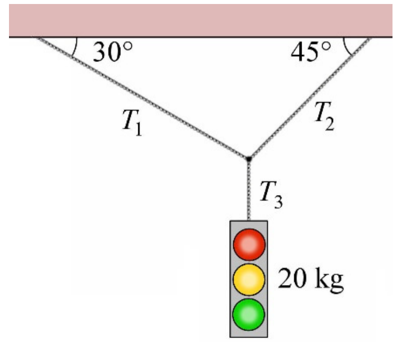
$$\begin{gathered} -196N + T_1 \sin 150° + T_2 \sin 45° = 0 \\ -196N + T_1 \sin 150° + \frac{-T_1 \cos 150°}{\cos 45°} \sin 45° = 0 \\ -196N + T_1 \left(\sin 150° - \cos 150° \tan 45° \right) = 0 \\ T_1 = \frac{196N}{\sin 150° - \cos 150° \tan 45°} \\ T_1 = 143,5N \end{gathered}$$

En utilisant cette valeur, on trouve ensuite T_2.

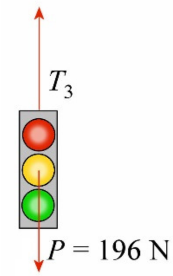
$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{-T_1 \cos 150°}{\cos 45°} \\ &= 175,7N \end{aligned}$$

Une fois la réponse obtenue, ça peut être une bonne idée de remplacer ces chiffres dans les deux équations de départ (2^e^ loi de Newton en x et en y) pour vérifier que ça marche…

Ces exemples peuvent sembler longs, mais on les a faits de façon très détaillée. Plus tard, on ira plus vite. Si vous êtes déjà à l'aise pour sauter des étapes, comme le tableau des composantes, allez-y.

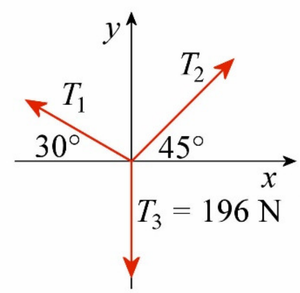


On pourrait faire une petite variante du dernier exemple. On pourrait suspendre le feu de circulation comme sur la figure de droite. (Il y a une corde de plus dans cette version, qui relie le feu au nœud qui relie les trois cordes.)



Dans cette variante, on trouverait premièrement la tension de la troisième corde en faisant la somme des forces sur le feu (figure de gauche).

On trouverait alors assez facilement que la tension T_3 doit être de 196 N.

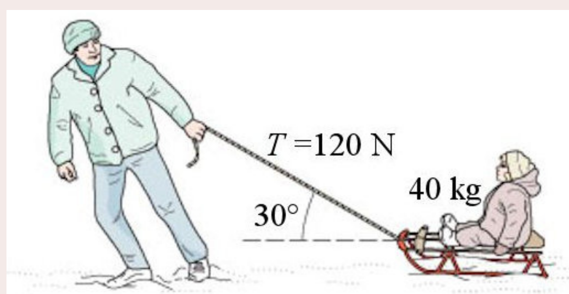


On examinerait ensuite les forces sur le nœud qui relie les trois cordes. On aurait alors les forces montrées sur la figure de droite.

Avec ces forces, on revient exactement aux mêmes forces qu'on avait dans notre exemple précédent. Les tensions T_1 et T_2 sont donc les mêmes que celles calculées à l'exemple.

Tout ça pour dire que s'il y a un nœud reliant plusieurs cordes, on trouve souvent la solution du problème en faisant la somme des forces sur le nœud.

Exemple 4.4.3



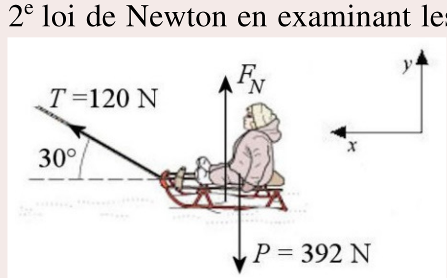
www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/physics-archive-2013-october-15

Lucien tire avec une force de 120 N sur le traineau d'Adèle. On suppose qu'il n'y a pas de friction. (Le 40 kg est la masse d'Adèle et du traineau.)

a) Quelle est l'accélération d'Adèle ?

b) Quelle est la grandeur de la normale entre le sol et le traineau ?

On trouve l'accélération et la normale avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur le traineau et Adèle.

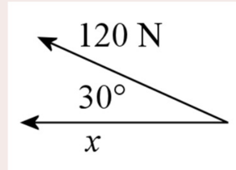


<u>Les forces agissant sur l'objet</u>

Il y a 3 forces sur le traineau et Adèle.

1) Le poids (P) de 392 N vers le bas.
2) La normale (F_N) vers le haut.
3) La force de 120 N faite par la corde (T).

Somme des forces



Pour séparer en composantes, il est important d'avoir le bon angle pour la tension. Avec l'axe utilisé, l'angle est 30°.

Le tableau des forces est donc

Forces	***x***	***y***
Poids	0	-392 N
Normale	0	F_N
Tension	120 N cos 30° = 103,92 N	120 N sin 30° = 60 N

La somme des forces en x est

$$\sum F_x = 103,92N$$

La somme des forces en y est

$$\sum F_y = -392N + F_N + 60N$$

2^e^ loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction de la vitesse, toute l'accélération est dans la direction des x.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \to \qquad 103,92N = 40kg \cdot a$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \to \qquad -392N + F_N + 60N = 0$$

Solution des équations

On peut maintenant répondre aux deux questions posées avec ces équations.

La première équation nous donne l'accélération.

$$103,92N = 40kg \cdot a$$
$$a = 2,598 \tfrac{m}{s^2}$$

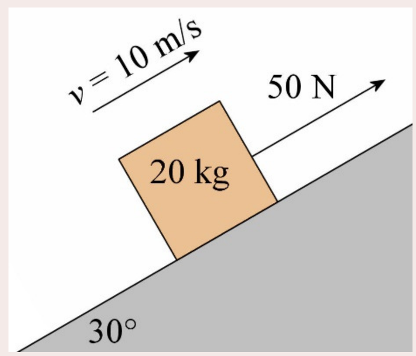
La deuxième équation nous donne la grandeur de la force normale.

$$-392N + F_N + 60N = 0$$
$$F_N = 332N$$

Erreur fréquente : Penser que la normale est toujours *mg* pour un objet sur une surface horizontale

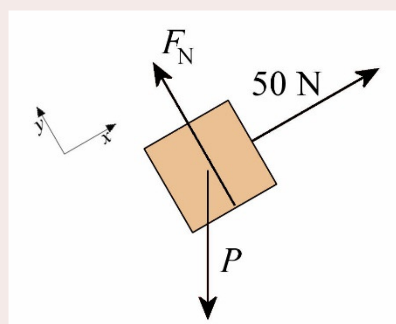
Le dernier exemple montre que la normale est de 332 N alors que le poids est de 392 N. On voit que la normale est plus petite que le poids. Elle est plus petite parce que Lucien tire un peu vers le haut avec la corde. Il soutient donc une partie du poids et cela diminue la normale. On voit donc que la normale n'est pas nécessairement égale au poids, même sur une surface horizontale. Plusieurs étudiants qui veulent aller trop vite n'auraient pas fait la somme des forces verticales et auraient simplement présumé que la normale est égale au poids. Ce serait une erreur.

Exemple 4.4.4



Cette boite de 20 kg se déplace à 10 m/s vers le haut d'une pente. Il y a une force de 50 N qui tire la boite vers le haut de la pente. Quelle sera la vitesse de cette boite 2 secondes plus tard s'il n'y a pas de friction ?

Pour trouver la vitesse 2 secondes plus tard, il nous faut l'accélération de la boite. On trouve cette accélération avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur le bloc de 20 kg.



Les forces agissant sur l'objet

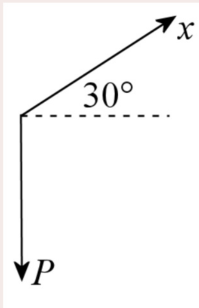
Il y a 3 forces sur la boite.

1) Le poids (P) de 196 N vers le bas.
2) La normale (F_N) perpendiculaire à la pente.
3) La force de 50 N.

L'axe des x est incliné dans la direction de la pente puisque c'est dans cette direction que la boite se déplace.

Somme des forces

La normale est alors directement dans la direction de l'axe des y et la force de 50 N est directement dans la direction de l'axe des x. Alors, il n'est pas difficile de trouver



les composantes de ces forces. Par contre, la situation est plus compliquée pour le poids. Traçons la force et l'axe des *x* ensemble (figure de gauche).

L'angle entre l'axe des *x* et la force est de -120°. (Rappelez-vous la convention de signe. Ici, le sens positif est dans le sens contraire des aiguilles d'une montre puisque c'est dans ce sens que l'on tourne quand on va de l'axe des *x* positifs vers l'axe des *y* positifs. Quand on tourne en allant de l'axe des *x* positifs vers la force, on va dans le sens des aiguilles d'une montre. Comme cela est dans le sens contraire du sens positif ici, l'angle est négatif.)

Le tableau des forces est donc

Forces	*x*	*y*
Poids	196 N cos -120° = -98 N	196 N sin -120° = -169,7 N
Normale	0	F_N
F	50 N	0

La somme des forces en *x* est

$$\sum F_x = -98N + 50N$$

La somme des forces en *y* est

$$\sum F_y = -169,7N + F_N$$

2^e^ loi de Newton

Puisque l'axe des *x* est dans la direction de la vitesse, toute l'accélération est dans la direction des *x*.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \rightarrow \qquad -98N + 50N = 20kg \cdot a$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad -169,7N + F_N = 0$$

Solution des équations

On peut alors trouver l'accélération avec la première équation

$$-98N + 50N = 20kg \cdot a$$
$$a = -2,4 \tfrac{m}{s^2}$$

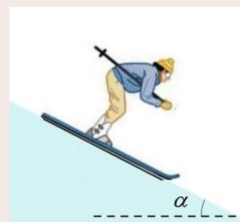
Puisque la vitesse est positive (on a mis l'axe dans la direction de la vitesse), une accélération négative signifie que cet objet ralentit.

On peut maintenant trouver la vitesse deux secondes plus tard.

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ &= 10\tfrac{m}{s} + -2,4\tfrac{m}{s^2} \cdot 2s \\ &= 5,2\tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

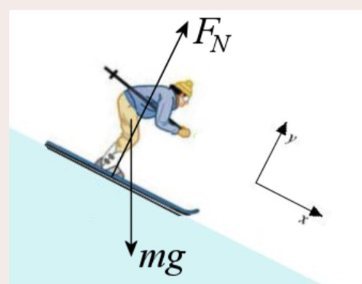
La boite est toujours en train de glisser vers le haut de la pente (puisque la vitesse est positive), mais on constate qu'elle a ralenti.

Exemple 4.4.5



Un skieur de masse m est sur une pente inclinée avec un angle α. Quelle est l'accélération du skieur et quelle est la normale s'exerçant sur ce skieur s'il n'y a pas de friction ?

On trouve l'accélération et la normale avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur le skieur. Il n'y a pas de chiffres dans cet exemple, mais cela ne change rien à la façon de procéder.



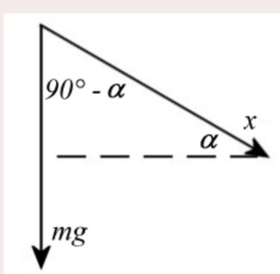
vhcc2.vhcc.edu/ph1fall9/frames_pages/openstax_problems.htm

Les forces agissant sur l'objet

Il y a deux forces sur le skieur.

1) Le poids (mg) vers le bas.
2) La normale faite par la pente (F_N).

Somme des forces



L'axe des x est incliné dans la direction de la pente, car on se doute bien que c'est dans cette direction que le skieur se déplace ou va se déplacer.

L'angle entre l'axe des x et la force de gravitation est de -(90° - α).

Le tableau des forces est donc

Forces	x	y
Poids	$mg\cos(-(90°-\alpha))$	$mg\sin(-(90°-\alpha))$
Normale	0	F_N

Les sommes des forces en x et y sont donc

$$\sum F_x = mg\cos\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)$$
$$\sum F_y = mg\sin\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)+F_N$$

2^e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction de la vitesse, toute l'accélération est dans la direction des x.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \rightarrow \qquad mg\cos\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)=ma$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad mg\sin\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)+F_N=0$$

Solution des équations

On trouve l'accélération avec la première équation.

$$\cancel{m}g\cos\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)=\cancel{m}a$$
$$a = g\cos\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)$$
$$a = g\cos\left(90°-\alpha\right)$$
$$a = g\sin\alpha$$

Ce qui est le résultat cherché. On a utilisé quelques identités trigonométriques pour simplifier notre résultat. Nous reviendrons sur ces identités après notre exemple. On peut ensuite trouver la normale avec la deuxième équation.

$$mg\sin\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)+F_N=0$$
$$F_N = -mg\sin\left(-\left(90°-\alpha\right)\right)$$
$$F_N = mg\sin\left(90°-\alpha\right)$$
$$F_N = mg\cos\alpha$$

Remarque intéressante : l'accélération d'un objet sur une pente sans friction est indépendante de la masse. Dans une course de luge sur une piste sans friction, tous arrivent en même temps au bas de la pente, les gros comme les maigres, s'ils partent en même temps avec la même vitesse. C'est un peu normal qu'il en soit ainsi parce que l'accélération gravitationnelle est la même pour tous les objets.

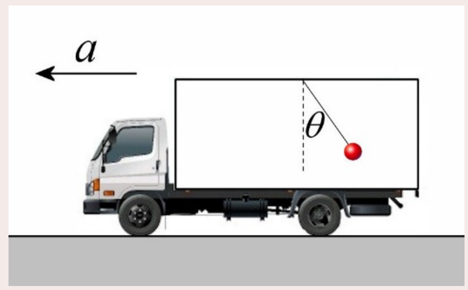
Rappel des identités trigonométriques

Les formules suivantes peuvent être parfois utiles pour simplifier quand on a un problème sans données numériques.

$$\cos(-x) = \cos x \qquad \cos(90° - x) = \sin x \qquad \cos(180° - x) = -\cos x$$
$$\sin(-x) = -\sin x \qquad \sin(90° - x) = \cos x \qquad \sin(180° - x) = \sin x$$
$$\cos(90° + x) = -\sin x \qquad \cos(180° + x) = -\cos x$$
$$\sin(90° + x) = \cos x \qquad \sin(180° + x) = -\sin x$$

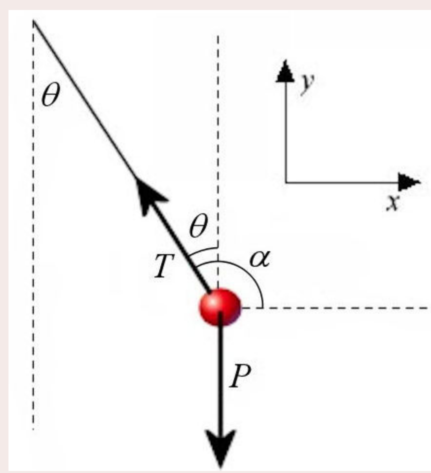
Exemple 4.4.6

Une masse est accrochée à l'aide d'une corde au plafond d'une boite d'un camion. Quel est l'angle que fait le pendule avec la verticale si le camion accélère à 5 m/s² ?



www.canstockphoto.com/delivery-cargo-truck-13682465.html

On trouve l'angle fait par la corde en trouvant la direction de la force de tension qui agit sur la masse. La direction de la tension est α et l'angle entre la corde et la verticale est $\theta = \alpha - 90°$. (Remarquez qu'ici, on a choisi un axe des x dans la direction opposée au mouvement, juste pour faire différent…) On trouve la direction de la tension avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur la masse.



Les forces agissant sur l'objet

Il y a 2 forces sur la masse au bout de la corde.

1) Le poids (P) vers le bas.
2) La tension de la corde (T).

Somme des forces

Le tableau des forces est

Forces	***x***	***y***
Poids	0	$-mg$
Tension	T_x	T_y

Quand on ne connait pas la grandeur et la direction d'un vecteur, comme pour la tension ici, la solution s'obtient toujours plus facilement en utilisant les composantes

T_x et T_y plutôt que $T \cos(\alpha)$ et $T \sin(\alpha)$. Quand on aura les composantes, on trouvera facilement la direction du vecteur.

Les sommes des forces en x et y sont donc

$$\sum F_x = T_x$$
$$\sum F_y = -mg + T_y$$

2^e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction opposée à la vitesse (qui est vers la gauche, car la masse doit suivre le mouvement du camion), toute l'accélération de 5 m/s² est dans la direction des x négatifs.

$$a_x = -5 \tfrac{m}{s^2} \qquad\qquad a_y = 0$$

(Comme l'accélération est vers la gauche et que l'axe est vers la droite, la composante de l'accélération est négative.)

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \rightarrow \qquad T_x = m \cdot \left(-5 \tfrac{m}{s^2}\right)$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad -mg + T_y = 0$$

Solution des équations

Les équations nous donnent assez directement les composantes de la tension.

$$T_x = m \cdot \left(-5 \tfrac{m}{s^2}\right)$$
$$T_y = mg$$

La direction de la tension est donc

$$\tan\alpha = \frac{T_y}{T_x}$$
$$\tan\alpha = \frac{mg}{m \cdot \left(-5 \tfrac{m}{s^2}\right)}$$
$$\tan\alpha = \frac{g}{\left(-5 \tfrac{m}{s^2}\right)}$$
$$\alpha = 117{,}03°$$

(Comme le diviseur est négatif, on ajoute 180° à la réponse donnée par la calculatrice quand on fait l'arctan.)

On trouve finalement l'angle θ.

$$\begin{aligned}\theta &= \alpha - 90° \\ &= 117,03° - 90° \\ &= 27,03°\end{aligned}$$

Exemples avec plusieurs objets

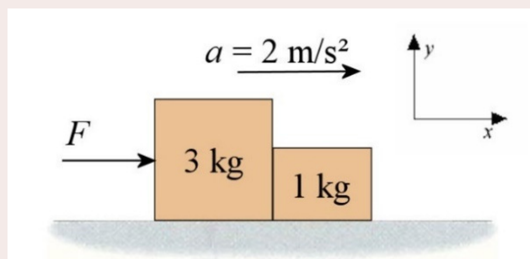
Quand il y a plusieurs objets dans notre système, il y a deux options :

A) Traiter tous les objets comme un seul objet.
B) Traiter les objets séparément.

Dans les exemples suivants, ces deux façons de considérer le système seront employées selon ce qui sera demandé de calculer.

Exemple 4.4.7

On pousse avec une force F sur les boites de la figure. Les boites ont alors une accélération de 2 m/s² vers la droite (et il n'y a pas de friction entre le sol et les boites).



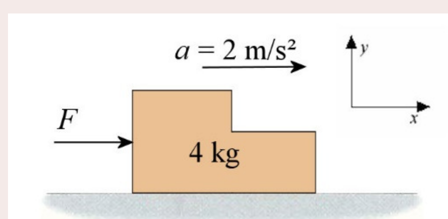
a) Quelle est la grandeur de la force F ?

Pour trouver cette force, on peut considérer que les deux boites forment un objet de 4 kg. On trouve la force avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur ce bloc de 4 kg.

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur l'objet de 4 kg.

1) Le poids de 39,2 N vers le bas.
2) La normale (F_N) vers le haut.
3) La force F vers la droite.



Somme des forces

Les sommes des forces sont

$$\sum F_x = F$$
$$\sum F_y = -39,2N + F_N$$

2^e^ loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération de 2 m/s² est dans la direction des x positifs.

$$a_x = 2\tfrac{m}{s^2} \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \rightarrow \qquad F = 4kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2}$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad -39,2N + F_N = 0$$

Solution des équations

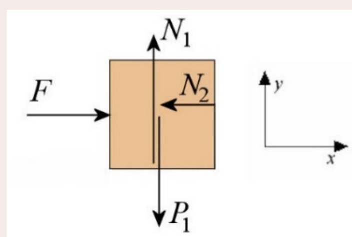
La deuxième équation nous permettrait de trouver la normale faite par le sol sur les boites, mais ce n'est pas demandé. On trouve la force F avec la première équation.

$$\begin{aligned} F &= 4kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2} \\ &= 8N \end{aligned}$$

b) Quelle est la normale s'exerçant entre les deux boites ?

Quand on demande une force entre les deux objets, on doit absolument séparer le système et considérer les forces sur un des objets.

Prenons la boite de 3 kg.



Les forces agissant sur l'objet

Il y a 4 forces sur la boite de 3 kg.

1) Le poids (P_1) de 29,4 N vers le bas.
2) Une normale faite par le sol (N_1) vers le haut.
3) Une normale faite par la boite de 1 kg (N_2) vers la gauche.
4) La force de 8 N (F) vers la droite.

Somme des forces

Les sommes des forces sont

$$\sum F_x = 8N - N_2$$
$$\sum F_y = -29,4N + N_1$$

2e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération de 2 m/s² est dans la direction des x positifs.

$$a_x = 2\tfrac{m}{s^2} \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \rightarrow \qquad 8N - N_2 = 3kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2}$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \rightarrow \qquad -29,4N + N_1 = 0$$

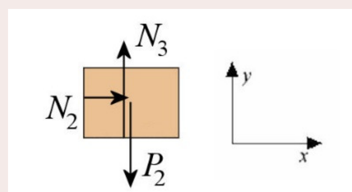
Solution des équations

Puisqu'on cherche N_2, on utilise la première équation pour obtenir

$$8N - N_2 = 3kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2}$$
$$8N - N_2 = 6N$$
$$N_2 = 2N$$

On aurait aussi pu prendre le bloc de 1 kg pour obtenir ce résultat.

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 3 forces sur le bloc de 1 kg.

1) Le poids (P_2) de 9,8 N vers le bas.
2) Une normale faite par le sol (N_3) vers le haut.
3) Une normale faite par la boite de 3 kg (N_2) vers la droite.

Pour la normale faite par la boite de 3 kg, on utilise le même symbole que la normale fait par la boite de 1 kg sur la boite de 3 kg puisque ces deux forces sont associées par la 3e loi de Newton.

La force F n'agit pas sur cette boite. Si la personne pousse sur la boite de 3 kg, elle ne touche pas à la boite de 1 kg.

Somme des forces

Les sommes des forces sont

$$\sum F_x = N_2$$
$$\sum F_y = -9,8N + N_3$$

2^e^ loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération de 2 m/s² est dans la direction des x positifs.

$$a_x = 2\tfrac{m}{s^2} \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad N_2 = 1kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2}$$
$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -9,8N + N_3 = 0$$

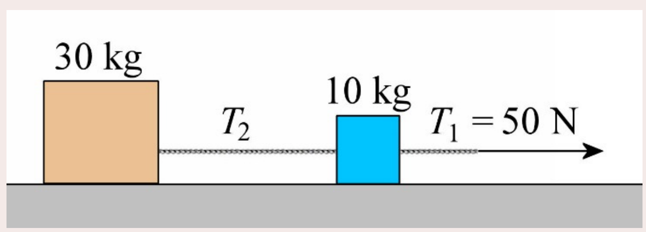
Solution des équations

On trouve N_2 avec la première équation.

$$N_2 = 1kg \cdot 2\tfrac{m}{s^2}$$
$$= 2N$$

Exemple 4.4.8

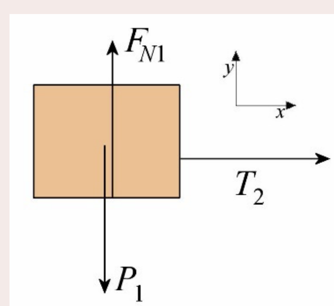
On tire deux blocs tels qu'illustrés sur la figure. (Il n'y a pas de friction entre le sol et les boites.) Quelle est la tension de la corde entre les blocs ?



Comme la tension est une force entre les blocs, il faut trouver les forces sur chacun des blocs et utiliser la 2^e loi de Newton pour trouver la tension.

Bloc de 30 kg

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 3 forces sur cet objet de 30 kg.

1) Le poids de 294 N vers le bas.
2) La normale faite par le sol (F_{N1}) vers le haut.
3) La force faite par la tension (T_2) vers la droite.

Somme des forces

Comme la tension est une force en x, on peut la trouver en considérant uniquement la somme des forces en x.

$$\sum F_x = T_2$$

2^e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération est dans la direction des x positifs.

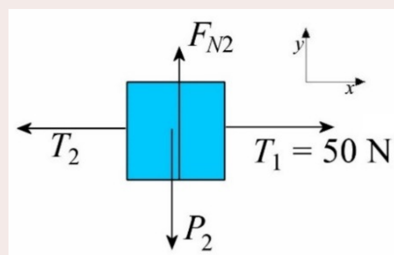
$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton en x donne

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad T_2 = 30kg \cdot a$$

Bloc de 10 kg

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 4 forces sur cet objet de 10 kg.

1) Le poids de 98 N vers le bas.
2) La normale faite par le sol (F_{N2}) vers le haut.
3) La force faite par la tension (T_2) vers la gauche.
4) La force faite par la tension (T_1 = 50 N) vers la droite.

Somme des forces

La somme des forces en x est

$$\sum F_x = 50N - T_2$$

2^e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération est dans la direction des x positifs.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton en x donne alors

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad 50N - T_2 = 10kg \cdot a$$

Solution des équations

On a alors les deux équations suivantes.

$$T_2 = 30kg \cdot a$$
$$50N - T_2 = 10kg \cdot a$$

En additionnant ces deux équations, on obtient

$$(T_2) + (50N - T_2) = 30kg \cdot a + 10kg \cdot a$$
$$50N = 40kg \cdot a$$
$$a = 1,25 \tfrac{m}{s^2}$$

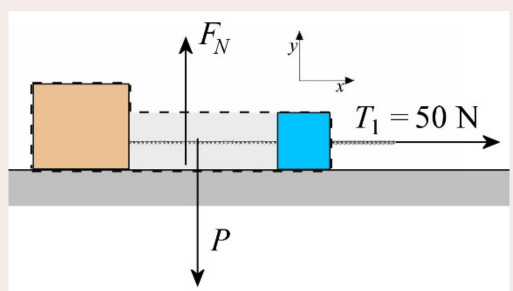
Ce truc, qui consiste à additionner les équations, fonctionnera toujours (du moins jusqu'à ce qu'on arrive au chapitre 12). En faisant cela, toutes les forces qui agissent entre deux objets du système et toutes les tensions des cordes qui relient 2 objets du système s'éliminent. Si elles ne s'éliminent pas, il y a un problème avec vos axes ou vos équations de la deuxième loi de Newton.

Une fois qu'on a l'accélération, on peut facilement trouver l'accélération. Avec la première équation, on obtient

$$\begin{aligned} T_2 &= 30kg \cdot a \\ &= 30kg \cdot 1,25 \tfrac{m}{s^2} \\ &= 37,5N \end{aligned}$$

Remarquez qu'on aurait pu trouver l'accélération en considérant qu'on tire une masse de 40 kg avec une force de 50 N. Dans ce cas, l'équation de la 2e loi de Newton aurait donné

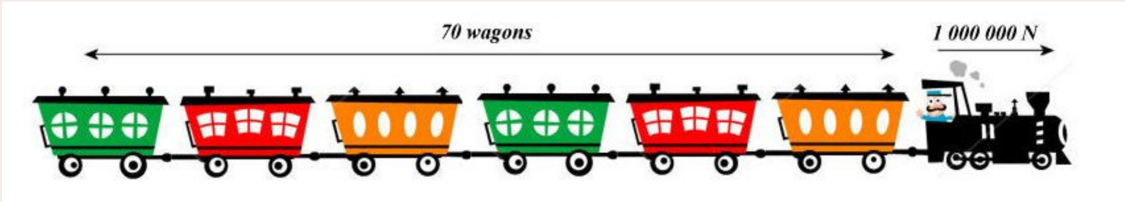
$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad 50N = 40kg \cdot a$$



Ce qui donne une accélération de 1,25 m/s². Avec cette accélération, on aurait alors trouvé la tension avec l'équation des forces en *x* agissant sur un des blocs.

Exemple 4.4.9

Un train, initialement au repos, est composé d'une locomotive de 100 tonnes et de 70 wagons de 10 tonnes chacun. Au démarrage, la force faite par la locomotive est de 1 000 000 N. Quelle est alors la tension dans la tige entre le 10e et le 11e wagon ?



www.shutterstock.com/pic-45673156/stock-vector-train-and-wagon-alternatives-with-different-cartoon-characters.html

On pourra trouver la tension en séparant le train en 2 parties.

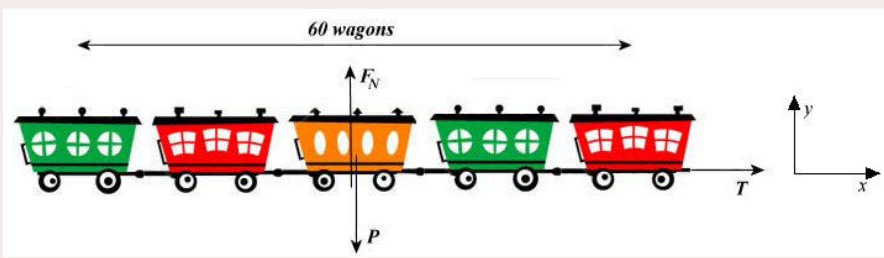
1) Les 60 derniers wagons.
2) La locomotive et les 10 premiers wagons.

En examinant les forces sur une de ces parties et en utilisant la 2e loi de Newton, on pourra trouver la tension. Nous allons prendre les 60 derniers wagons.

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur cette partie du train.

1) Le poids (P) vers le bas.
2) La normale faite par le sol (F_N) vers le haut.
3) La tension (T) de la tige vers la droite.



Somme des forces

Les sommes des forces sont

$$\sum F_x = T$$
$$\sum F_y = -P + F_N$$

2e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération est dans la direction des x.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \qquad \to \qquad T = 600\,000kg \cdot a$$
$$\sum F_y = ma_y \qquad \to \qquad -P + F_N = 0$$

Solution des équations

On a un petit problème. On cherche *T*, mais on ne peut pas la trouver sans connaitre *a* et la deuxième équation ne permet pas de trouver cette accélération. En fait, on trouve *a* en examinant les forces sur l'ensemble du train.

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur le train.

1) Le poids vers le bas.
2) La normale faite par le sol vers le haut.
3) La force de 10^6 N faite par la locomotive vers la droite.

Somme des forces

La somme des forces en *x* est

$$\sum F_x = 10^6 N$$

2e loi de Newton

Puisque l'axe des *x* est dans la direction du mouvement, toute l'accélération est dans la direction des *x*.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors

$$\sum F_x = ma_x \quad \to \quad 10^6 N = (800\,000kg) \cdot a$$

(La masse totale vient de l'addition de la masse des 70 wagons (700 tonnes) et de la masse de la locomotive (100 tonnes).)

Solution des équations

On peut alors trouver l'accélération

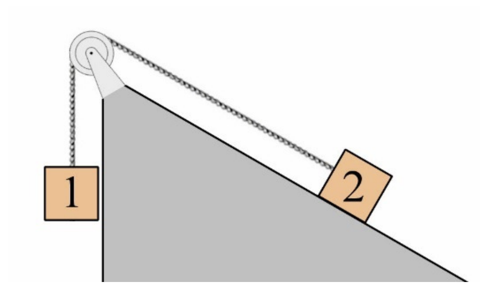
$$10^6 N = (800\,000kg) \cdot a$$
$$a = 1,25 \tfrac{m}{s^2}$$

Maintenant qu'on a l'accélération, on peut trouver la tension de la tige entre le 10e et 11e wagon.

$$\begin{aligned} T &= 600\,000kg \cdot a \\ &= 600\,000kg \cdot 1,25\tfrac{m}{s^2} \\ &= 750\,000N \end{aligned}$$

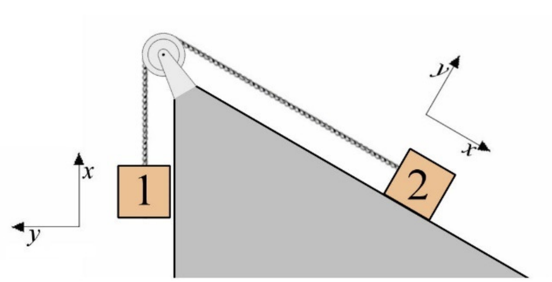
Comment choisir les axes si des objets du système se déplacent dans des directions différentes

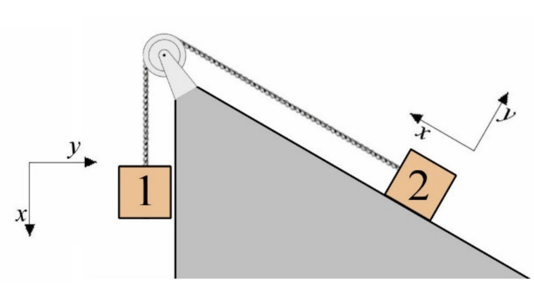
Dans certains systèmes, il peut y avoir des objets qui se déplacent dans des directions différentes. Voici un exemple d'un tel système.



Supposons que la masse du bloc 1 soit suffisante pour que le bloc 1 parte vers le bas. Dans ce cas, le bloc 2 partira évidemment vers le haut de la pente. On a donc affaire à un système dans lequel les objets se déplacent dans des directions différentes.

Mais on doit choisir un axe dans le sens de la vitesse ou dans le sens opposé à la vitesse. Que doit-on choisir alors si les vitesses des deux blocs sont dans des directions différentes ? En fait, on peut choisir des axes différents pour chacun des blocs. On peut donc choisir (par exemple) des systèmes d'axes avec l'axe des x dans la direction de la vitesse pour chacun des objets ou des systèmes d'axes avec l'axe des x dans la direction opposée à la vitesse pour chacun des objets.

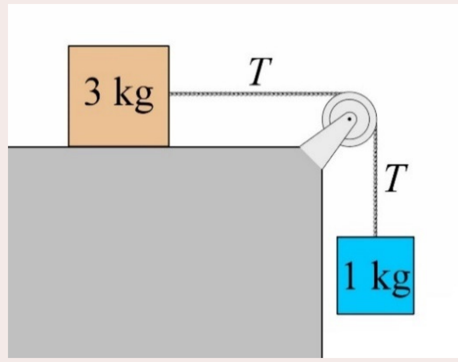




Il faut éviter d'utiliser des systèmes d'axes avec l'axe des x dans la direction de la vitesse pour certains objets et des systèmes d'axes avec l'axe des x dans la direction opposée à la vitesse pour d'autres objets. En théorie, on peut le faire, mais ça amène quelques complications qu'on voudrait bien éviter.

Si les objets restent au repos, on imagine qu'ils se déplacent quand même et on choisit des axes des x qui sont tous dans la direction de la vitesse de chaque objet ou qui sont tous dans la direction opposée à la vitesse de chaque objet.

Exemple 4.4.10

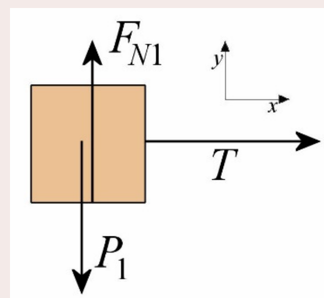


Quelles sont la tension de la corde et l'accélération des blocs dans le système illustré sur la figure de droite ? (Il n'y a pas de friction entre le sol et le bloc de 3 kg.)

On trouve la tension et l'accélération avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur chacun des blocs.

Bloc de 3 kg

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 3 forces sur le bloc de 3 kg.

1) Le poids (P_1) de 29,4 N vers le bas.
2) La normale faite par le sol (F_N) vers le haut.
3) La force faite par la corde (T) vers la droite.

Somme des forces

Les sommes des forces sont

$$\sum F_x = T$$
$$\sum F_y = -29,4N + F_N$$

On utilise un axe des x vers la droite qui sera la direction de la vitesse du bloc.

2e loi de Newton

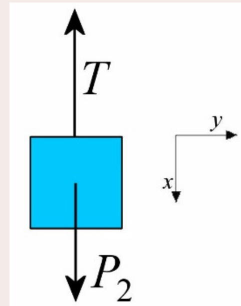
Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération est dans la direction des x.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors les équations suivantes.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad T = 3kg \cdot a$$
$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -29,4N + F_N = 0$$

Bloc de 1 kg



Les forces agissant sur l'objet

Il y a 2 forces sur le bloc de 1 kg.

1) Le poids (P_2) de 9,8 N vers le bas.
2) La force faite par la corde (T) vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_x = 9,8N - T$$

L'axe des x est maintenant vers le bas puisque ce sera la direction de la vitesse du bloc. On a donc utilisé deux systèmes d'axes différents pour chacun des blocs, mais la direction de l'axe des x est celle de la vitesse dans les deux cas.

2e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement, toute l'accélération est dans la direction des x.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad 9,8N - T = 1kg \cdot a$$

Solution des équations

Pour trouver l'accélération et la tension, on doit donc résoudre le système d'équations suivant.

$$T = 3kg \cdot a$$
$$-29,4N + F_N = 0$$
$$9,8N - T = 1kg \cdot a$$

On peut donc trouver l'accélération et la tension avec les 1re et 3e équations. En additionnant ces deux équations, on obtient

$$(T) + (9,8N - T) = 1kg \cdot a + 3kg \cdot a$$
$$9,8N = 4kg \cdot a$$
$$a = 2,45 \tfrac{m}{s^2}$$

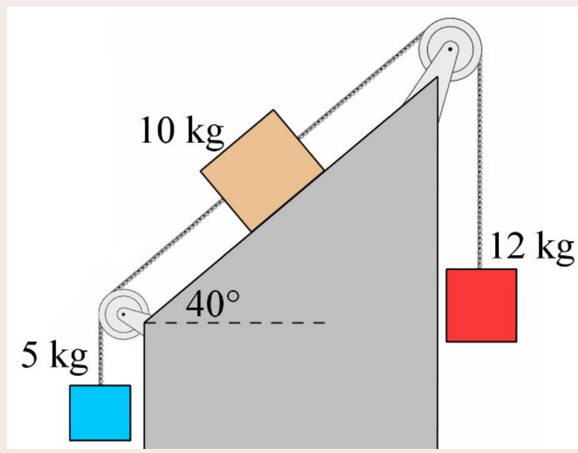
Une fois qu'on a l'accélération, on peut facilement trouver la tension

$$\begin{aligned} T &= 3kg \cdot a \\ &= 3kg \cdot 2,45\tfrac{m}{s^2} \\ &= 7,35N \end{aligned}$$

Remarquez que la tension de la corde n'est pas simplement le poids de la masse suspendue. Ces forces seraient égales si le système n'accélérait pas. Avec une accélération, la tension de la corde n'est plus égale au poids de la masse suspendue.

Exemple 4.4.11

Quelles sont les tensions des cordes et l'accélération des blocs dans ce système ? (Il n'y a pas de friction entre la pente et le bloc de 10 kg.)



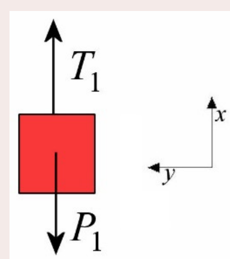
On trouve l'accélération et les tensions avec la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur chacun des blocs.

Bloc de 12 kg

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 2 forces sur le bloc de 12 kg.

1) Le poids (P_1) de 117,6 N vers le bas.
2) La force faite par la corde (T_1) vers le haut.



Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_x = -117,6N + T_1$$

2e loi de Newton

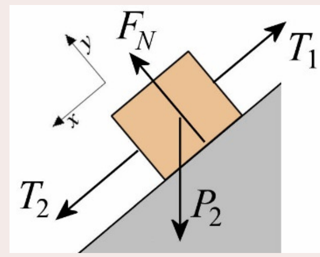
Puisque l'axe des *x* est dans la direction du mouvement ou opposée au mouvement (on ne sait pas si le bloc va monter ou descendre), toute l'accélération est dans la direction des *x*.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad -117,6N + T_1 = 12kg \cdot a$$

Bloc de 10 kg

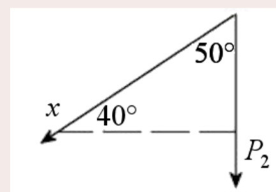


Les forces agissant sur l'objet

Il y a 4 forces sur le bloc de 10 kg.

1) Le poids (P_2) de 98 N vers le bas.
2) La normale faite par la pente (F_N).
3) La force faite par la corde (T_1) vers le haut de la pente.
4) La force faite par la corde (T_2) vers le bas de la pente.

Somme des forces



La plupart des forces sont directement dans le sens d'un axe sauf la gravitation. L'angle entre cette force et l'axe des x est de -50°.

Le tableau des forces pour le bloc de 10 kg est

Forces	***x***	***y***
Poids	98 N·cos(-50°)	98 N·sin(-50°)
Normale	0	F_N
Tension 1	- T_1	0
Tension 2	T_2	0

Les sommes des forces sont alors

$$\sum F_x = 98N \cdot \cos(-50°) - T_1 + T_2$$
$$\sum F_y = 98N \cdot \sin(-50°) + F_N$$

2^e loi de Newton

Puisque l'axe des x est dans la direction du mouvement ou opposée au mouvement, toute l'accélération est dans la direction des x.

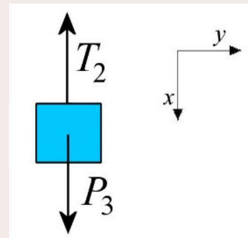
$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors les équations suivantes.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad 98N \cdot \cos(-50°) - T_1 + T_2 = 10kg \cdot a$$
$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad 98N \cdot \sin(-50°) + F_N = 0$$

Bloc de 5 kg

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 2 forces sur le bloc de 5 kg.

1) Le poids (P_3) de 49 N vers le bas.
2) La force faite par la corde (T_2) vers le haut.

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_x = 49N - T_2$$

2e loi de Newton

Puisque l'axe des *x* est dans la direction du mouvement ou opposée au mouvement, toute l'accélération est dans la direction des *x*.

$$a_x = a \qquad\qquad a_y = 0$$

La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad 49N - T_2 = 5kg \cdot a$$

Solution des équations

Pour trouver l'accélération et la tension, on doit donc résoudre le système d'équations suivant.

$$-117,6N + T_1 = 12kg \cdot a$$
$$-T_1 + T_2 + 98N \cdot \cos(-50°) = 10kg \cdot a$$
$$49N - T_2 = 5kg \cdot a$$

(On n'a pas mis l'équation de la 2e loi de Newton en *y* du bloc de 10 kg qui est inutile ici pour trouver l'accélération et les tensions.)

Comme précédemment, on peut résoudre en additionnant les trois équations pour éliminer les tensions.

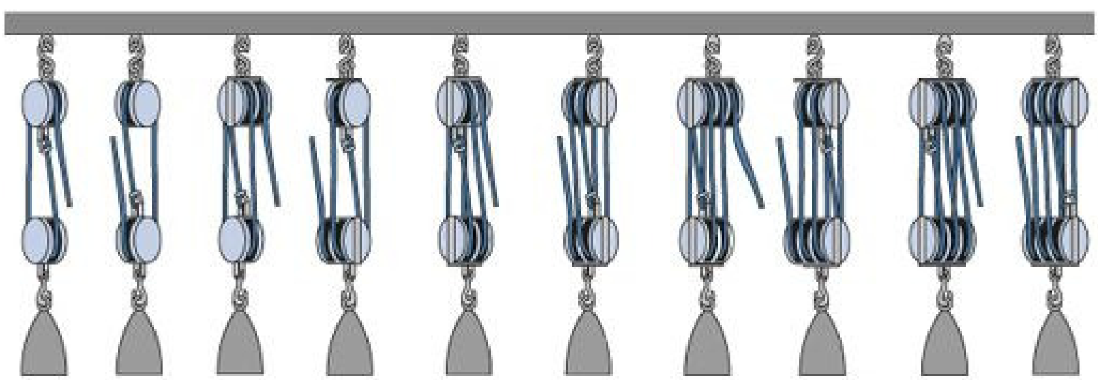
$$\left(-117,6N+T_1\right)+\left(98N\cdot\cos\left(-50°\right)-T_1+T_2\right)+\left(49N-T_2\right)=12kg\cdot a+10kg\cdot a+5kg\cdot a$$
$$-117,6N+98N\cdot\cos\left(50°\right)+49N=\left(12kg+10kg+5kg\right)\cdot a$$
$$-5,607N=27kg\cdot a$$
$$a=-0,2077\tfrac{m}{s^2}$$

Une fois l'accélération obtenue, on peut trouver les tensions.

$$-117,6N+T_1=12kg\cdot a$$
$$-117,6N+T_1=12kg\cdot\left(-0,2077\tfrac{m}{s^2}\right)$$
$$T_1=115,11N$$

$$49N-T_2=5kg\cdot a$$
$$49N-T_2=5kg\cdot\left(-0,2077\tfrac{m}{s^2}\right)$$
$$T_2=50,04N$$

Il est possible que la corde passe plusieurs fois dans la poulie comme dans les poulies de cette figure.

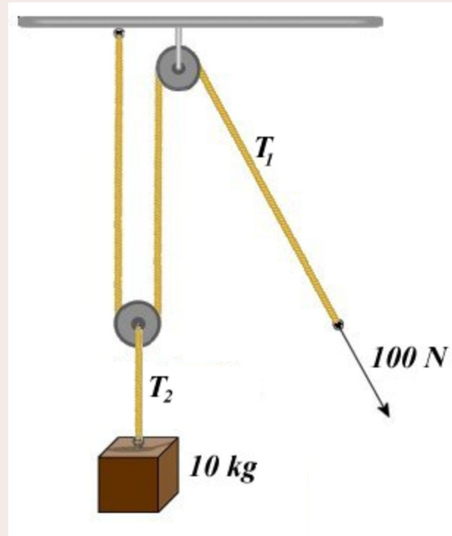


www.justonly.com/blog/?cat=8

Dans ce cas, il faut bien examiner la corde qui passe dans la poulie pour trouver combien de fois la corde tire sur la poulie. Parfois, il faudra aussi faire l'équation des forces s'exerçant sur la poulie pour trouver une tension. Dans ce cas, on négligera la masse de la poulie à moins d'indication contraire. Les exemples suivants illustrent ces deux idées.

Exemple 4.4.12

Quelle est l'accélération de la caisse de 10 kg dans cette figure ?

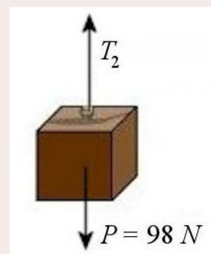


science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/pulley.htm

Pour trouver l'accélération de la caisse de 10 kg, il faut utiliser la 2e loi de Newton en examinant les forces qui s'appliquent sur la caisse de 10 kg.

Caisse de 10 kg

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 2 forces sur la caisse de 10 kg.

1) Le poids (P) de 98 N vers le bas.
2) La force faite par la corde (T_2) vers le haut.

Somme des forces

En utilisant un axe des y dirigé vers le haut, la somme des forces est

$$\sum F_y = -98N + T_2$$

2e loi de Newton

Puisque l'axe des y est dans la direction du mouvement ou dans la direction opposée au mouvement (on ne sait pas si la caisse va monter ou descendre), toute l'accélération est dans la direction des y.

$$a_x = 0 \qquad\qquad a_y = a$$

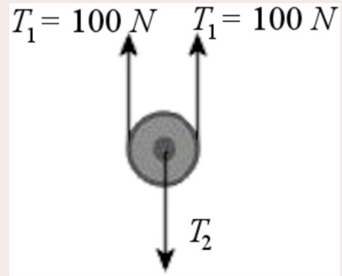
La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad -98N + T_2 = 10kg \cdot a$$

On ne peut pas résoudre sans connaitre la tension T_2. On ne la connait pas, mais la corde ayant cette tension est connectée à une poulie. Cela nous amène donc à examiner les forces sur la poulie.

La poulie

Les forces agissant sur l'objet



Il y a 3 forces sur la poulie.

1) La force faite par la corde (T_1) vers le haut.
2) La force faite par la corde (T_1) vers le haut.
3) La force faite par la corde (T_2) vers le bas.

Notez qu'on va négliger les masses des poulies (jusqu'au chapitre 12). Il n'y a donc pas de poids.

Somme des forces

En utilisant un axe des *y* dirigé vers le haut, la somme des forces est

$$\sum F_y = 100N + 100N - T_2$$

2e loi de Newton

Puisque l'axe des *y* est dans la direction du mouvement ou opposée au mouvement, toute l'accélération est dans la direction des *y*.

$$a_x = 0 \qquad\qquad a_y = a$$

La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_y = ma_y \quad \rightarrow \quad 100N + 100N - T_2 = m_{poulie} a$$

Puisqu'on néglige la masse de la poulie ($m_{poulie} = 0$), on a

$$100N + 100N - T_2 = 0$$

Solution des équations

On peut maintenant trouver T_2.

$$100N + 100N - T_2 = 0$$
$$T_2 = 200N$$

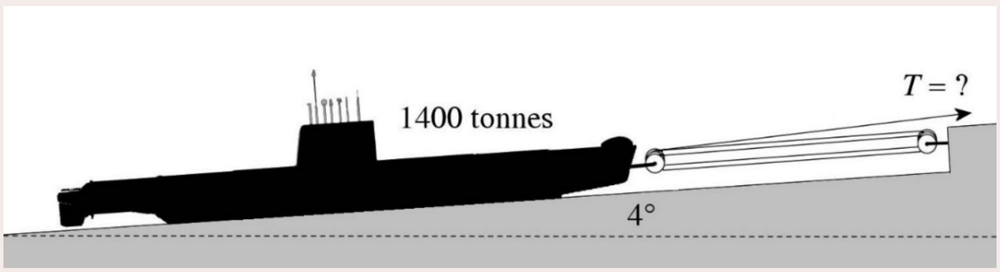
On utilise ensuite cette valeur pour trouver l'accélération.

$$-98N + T_2 = 10kg \cdot a$$
$$-98N + 200N = 10kg \cdot a$$

$$a = 10,2 \tfrac{m}{s^2}$$

Exemple 4.4.13

En 2008, on a amené le sous-marin Onondaga sur la terre ferme pour l'installer le long du quai de Pointe-au-Père à Rimouski. Pour y arriver, on a tiré le sous-marin de 1400 tonnes le long d'une rampe inclinée de 4° à l'aide de poulie. En tout, le câble d'acier tirait 18 fois sur la poulie attachée au sous-marin. Le sous-marin était sur des petits charriots, ce qui limitait la friction entre le sol et le sous-marin de sorte qu'on va la négliger ici. Avec quelle force devait-on tirer sur le câble pour faire monter le sous-marin à vitesse constante ?



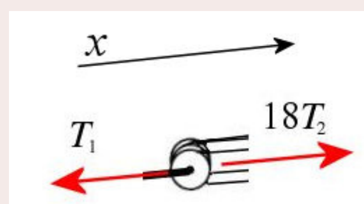
www.thebattleofatlanticmuseum.ca/page3/page3.html
www.cstephenmurray.com/onlinequizes/physics/simplemachines/pulleybasics.htm

Comme la corde qui nous intéresse est reliée à une poulie, on commence par examiner les forces qui s'appliquent sur la poulie.

Poulie

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 19 forces sur la poulie.



1) 18 fois la tension T_2 vers les x positifs.
2) La tension T_1 vers les x négatifs.

(Il n'y a pas de poids puisqu'on néglige la masse de la poulie.)

Somme des forces

La somme des forces est

$$\sum F_x = 18T_2 - T_1$$

2^e^ loi de Newton

Puisque la vitesse est constante, il n'y a pas d'accélération. La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad 18T_2 - T_1 = 0$$

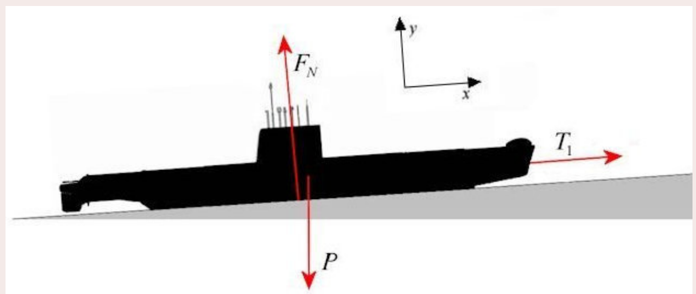
On voit qu'on ne peut pas trouver T_2 sans connaitre T_1. Comme la corde ayant la tension T_1 est fixée au sous-marin, on doit aller examiner les forces sur le sous-marin.

Sous-marin

Les forces agissant sur l'objet

Il y a 3 forces sur le sous-marin.

1) Le poids (mg) vers le bas.
2) La normale (F_N) faite par la pente.
3) La tension (T_1) vers les x positifs.



Somme des forces

Le tableau des forces est

Forces	***x***	***y***
Poids	mg cos(-94°)	mg sin(-94°)
Normale	0	F_N
Tension	T_1	0

La somme des forces en x est donc

$$\sum F_x = mg\cos\left(-94°\right) + T_1$$

(La somme des forces en y ne servira à rien ici.)

2e loi de Newton

Puisque la vitesse est constante, il n'y a pas d'accélération. La deuxième loi de Newton donne alors l'équation suivante.

$$\sum F_x = ma_x \quad \rightarrow \quad mg\cos\left(-94°\right) + T_1 = 0$$

Solution des équations

On peut maintenant trouver la tension T_1.

$$mg\cos(-94°)+T_1=0$$
$$T_1=-mg\cos(-94°)$$
$$T_1=-1\,400\,000kg\cdot 9{,}8\tfrac{N}{kg}\cdot\cos(-94°)$$
$$T_1=957\,058N$$

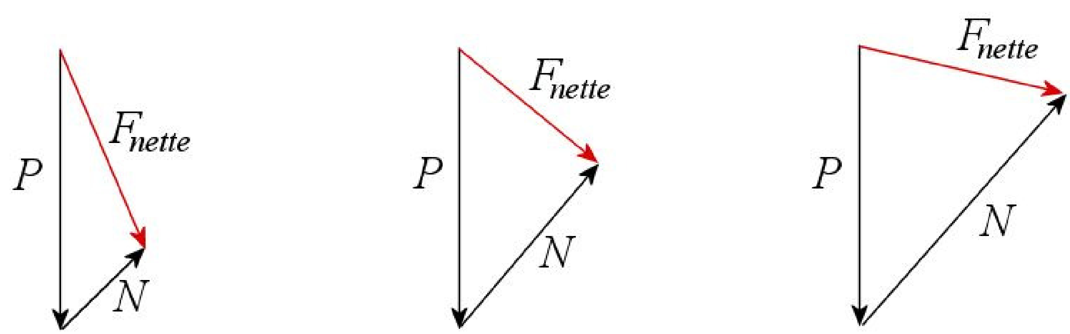
Avec cette valeur, on peut maintenant trouver la tension T_2.

$$-T_1+18T_2=0$$
$$T_2=\frac{T_1}{18}$$
$$T_2=53\,170N$$

4.5 LA DIRECTION DE LA FORCE NETTE

Parfois, on peut avoir de la difficulté à trouver la direction de la force nette (c'est-à-dire la somme des forces) sur un objet à moins de calculer précisément la grandeur de chacune des forces. Supposons par exemple qu'on demande la direction de la force nette sur un skieur sur une pente.

Il n'y a pas beaucoup de force sur ce skieur. Il n'y a que le poids et la normale (si on néglige la friction). On sait que le poids est vers le bas et que la normale est perpendiculaire à la pente. Toutefois, il est difficile de trouver la direction de la force résultante sans connaitre la grandeur de ces forces. En effet, on pourrait obtenir les trois directions suivantes en changeant la grandeur de la normale.



Par contre, la deuxième loi de Newton peut nous aider. Cette loi nous dit que

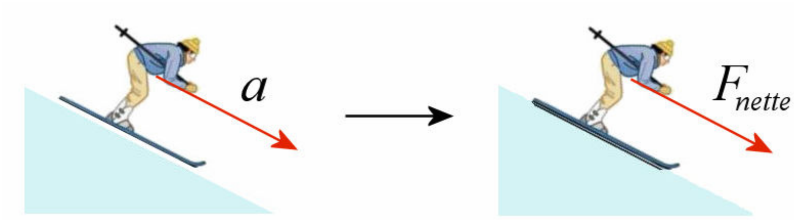
$$\vec{F}_{nette}=m\vec{a}$$

Dans une telle équation vectorielle où m est nécessairement positif, la direction du vecteur F_{nette} est obligatoirement identique à la direction que le vecteur a. On a donc le principe suivant.

Direction de la force nette

La force nette est toujours dans la même direction que l'accélération.

Ça devient alors beaucoup plus facile de trouver la direction de la force nette. De toute évidence, le skieur accélère vers le bas de la pente, ce qui signifie que la direction de la force nette est aussi vers le bas de la pente.



RÉSUMÉ DES ÉQUATIONS

Force de gravitation (F_g) ou Poids (P) (formule valide près de la surface de la Terre)

1) Grandeur de la force

$$P = mg \qquad \text{où } g = 9{,}8\,\tfrac{N}{kg}$$

2) Direction de la force

Vers le bas (centre de la Terre).

3) Point d'application de la force

À partir du centre de masse de l'objet.
(À voir au chapitre sur le centre de masse.
Pour l'instant, prenez un point à peu près au centre de l'objet.)

Normale (N ou F_N)

1) Grandeur de la force

À déterminer avec les lois de Newton.

2) Direction de la force

Répulsion entre les objets, perpendiculaire à la surface de contact.

3) Point d'application de la force

Surface de contact entre les objets.

Tension (T ou F_T)

1) Grandeur de la force

À déterminer avec les lois de Newton.

2) Direction de la force

La corde tire dans le sens de la corde.

3) Point d'application de la force

Endroit où est fixée la corde.

Direction de la force nette

La force nette est toujours dans la même direction que l'accélération.

EXERCICES

4.1 La force de gravitation

1. Quelle est la force gravitationnelle sur une personne de 100 kg dans les situations suivantes ?

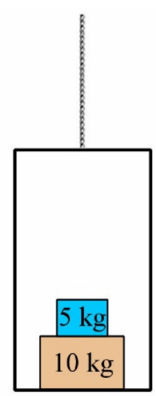
   a) Elle se tient debout sur le sol.
   b) Elle est en chute libre.
   c) Elle est debout sur le sol et elle tient un sac de farine de 20 kg dans ses bras.

4.2 La normale

2. Winona, dont la masse est de 72 kg, est dans un ascenseur.

   a) Quelle est la force normale s'exerçant sur Winona si l'ascenseur monte avec une vitesse constante de 5 m/s ?
   b) Quelle est la force normale s'exerçant sur Winona si l'ascenseur monte avec une vitesse de 5 m/s et qui augmente à un rythme de 2 m/s² ?
   c) Quelle est la force normale s'exerçant sur Winona si l'ascenseur monte avec une vitesse de 5 m/s et qui diminue à un rythme de 3 m/s² ?

3. Deux boites sont posées l'une par-dessus l'autre dans un ascenseur. Quelles sont les normales s'exerçant sur chacun des blocs si l'ascenseur monte à 8 m/s et ralentit au rythme de 1 m/s² ?



4.3 La tension

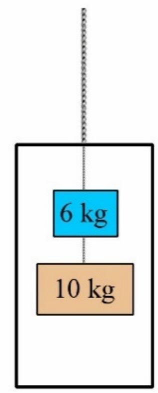
4. Un hélicoptère soulève une pièce de 300 kg servant à la construction d'un dôme.

   a) Quelle est la tension de la corde si l'hélicoptère n'accélère pas ?
   b) Quelle est la tension de la corde si l'hélicoptère a une accélération de 3 m/s² vers le haut ?
   c) Quelle est la tension de la corde si l'hélicoptère a une accélération de 2 m/s² vers le bas ?

www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/a-6480-kg-helicopter-accelerates-upward-at063-m-s2-while-lifting-a1190-kg-frame-at-a-const-q366433

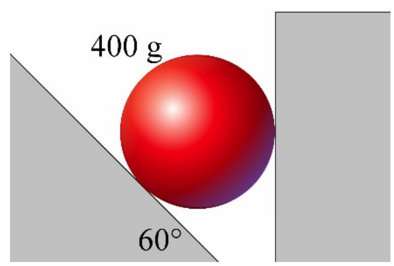
5. Deux boites sont attachées au plafond d'un ascenseur.

   a) Quelles sont les tensions des cordes si l'accélération de l'ascenseur est de 2,4 m/s² vers le bas ?
   b) Quelle est l'accélération maximale que peut avoir l'ascenseur sans que les cordes cassent si ces dernières cassent quand la tension dépasse 200 N ?

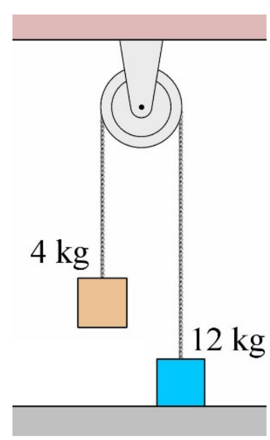


4.4 Applications des lois de Newton

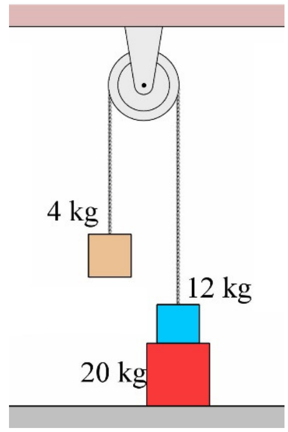
6. Quelles sont les normales s'exerçant sur cette balle de 400 g ?



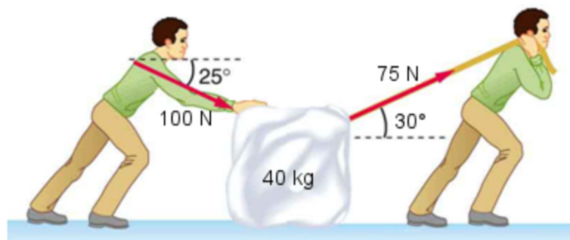
7. Quelle est la normale entre le sol et le bloc de 12 kg dans cette situation ?



8. Quelles sont les normales s'exerçant sur les blocs de 12 kg et de 20 kg dans cette situation ?



9. Gontran (à gauche) et Philémon (à droite) déplacent leur grosse boule de neige en exerçant les forces montrées sur la figure. Il n'y a pas de friction entre la boule de neige et le sol.



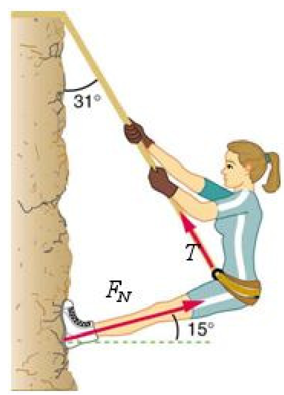
cnx.org/content/m42139/latest/

a) Quelle est l'accélération de la boule de neige ?
b) Quelle est la grandeur de la normale entre la boule de neige et le sol ?

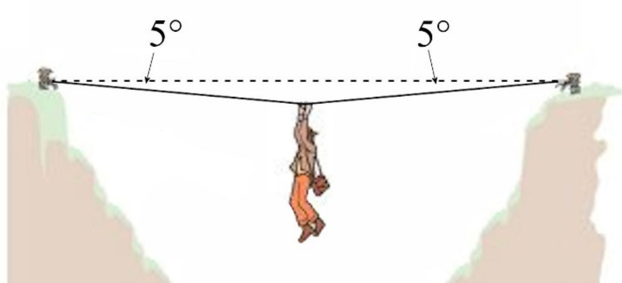
10. Irina, dont la masse est de 60 kg, pratique l'escalade. À un certain moment, elle se retrouve dans la position montrée sur la figure.

a) Quelle est la tension de la corde ?
b) Quelle est la grandeur de la normale s'exerçant sur les pieds d'Irina ?

cnx.org/content/m42139/latest/?collection=col11406/latest

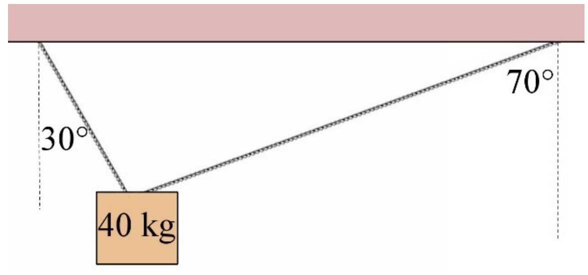


11. Indiana, qui a une masse de 65 kg, est dans la fâcheuse position illustrée sur la figure. Quelle est la tension de la corde ?

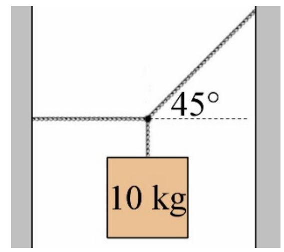


www.bimmerfest.com/forums/showthread.php?p=1903113

12. Un objet est suspendu avec deux cordes telles qu'illustrées sur la figure. Quelles sont les tensions des cordes ?

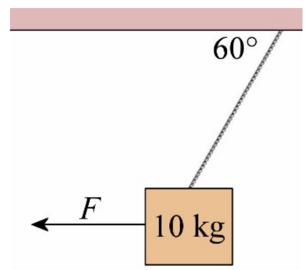


13. Un objet est suspendu comme illustré sur la figure. Quelles sont les tensions des trois cordes ?



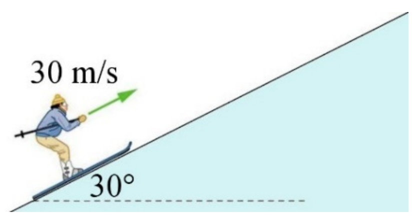
14. Une force F maintient un bloc de 10 kg dans la position d'équilibre montrée sur la figure.

    a) Quelle est la grandeur de la force F ?
    b) Quelle est la tension de la corde ?



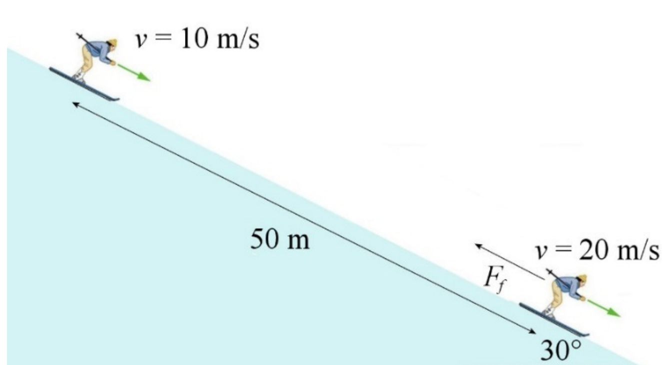
15. Yasmina est en ski. Au bas d'une pente qui monte, elle a une vitesse de 30 m/s. On néglige la friction dans ce problème.

    a) Quelle distance va parcourir Yasmina avant de s'arrêter ?
    b) Combien faudra-t-il de temps pour que Yasmina s'arrête ?



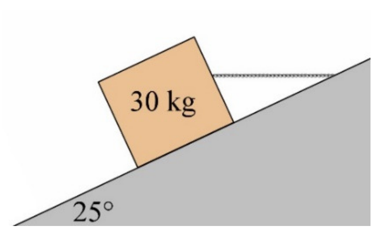
vhcc2.vhcc.edu/ph1fall9/frames_pages/openstax_problems.htm

16. Wolfgang descend une pente de ski. Pendant sa descente, il y a une force de friction constante dans une direction opposée à la vitesse. Selon les indications de la figure, quelle est la grandeur de la force de friction si la masse de Wolfgang est de 70 kg ?



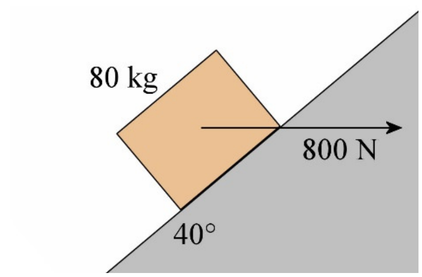
17. Un bloc de 30 kg est maintenu en place sur une surface inclinée de 25° par une corde horizontale.

    a) Quelle est la tension de la corde ?
    b) Quelle est la grandeur de la normale entre la surface et le bloc ?

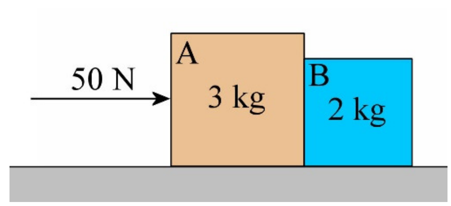


18. On pousse avec une force horizontale de 800 N sur un bloc de 80 kg placé sur une pente inclinée de 40°.

    a) Quelle est l'accélération du bloc ?
    b) Quelle est la grandeur de la normale s'exerçant sur le bloc ?



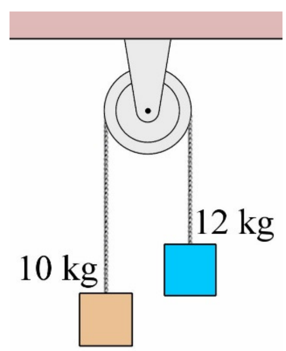
19. On pousse les deux boites de la figure avec une force de 50 N. Il y a une force de friction de 10 N qui s'oppose au mouvement de la boite A et une force de friction de 8 N qui s'oppose aussi au mouvement de la boite B.



    a) Quelle est l'accélération des boites ?
    b) Quelle est la normale entre les deux boites ?

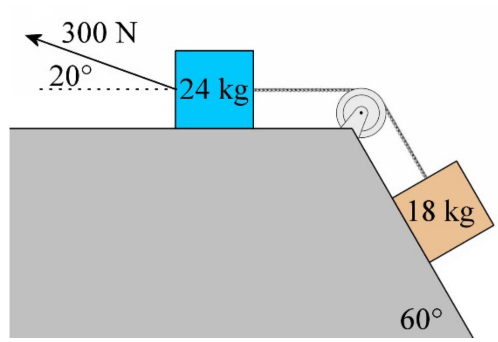
20. Voici deux blocs reliés par une corde passant par une poulie.

    a) Quelle est l'accélération des blocs ?
    b) Quelle est la tension de la corde ?



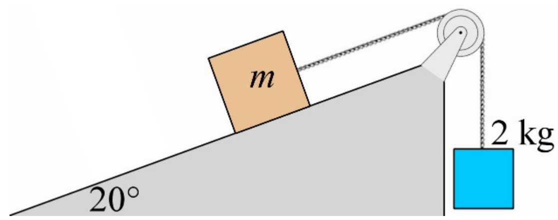
21. Une force de 300 N s'exerce sur un bloc de 24 kg relié à un bloc de 18 kg.

    a) Quelle est la grandeur de l'accélération des blocs ?
    b) Quelle est la tension de la corde ?
    c) Quelle est la grandeur de la normale s'exerçant sur chacun des blocs ?



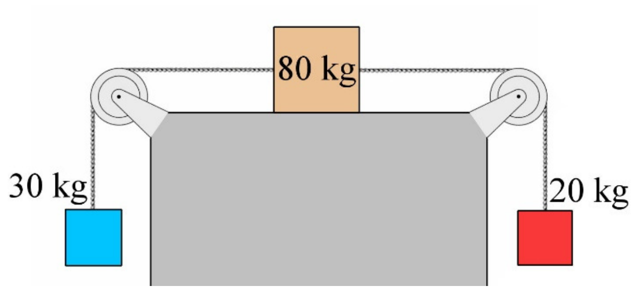
22. Voici deux blocs qui sont reliés par une corde.

a) Quelle est la masse m du bloc sur la pente si le bloc de 2 kg a une accélération de 2 m/s² vers le bas ?
b) Quelle est la masse m du bloc sur la pente si la tension dans la corde est de 25 N ?



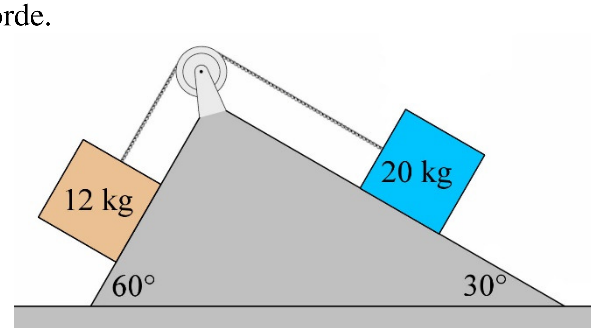
23. Voici trois blocs reliés par des cordes.

a) Quelle est la grandeur de l'accélération des blocs ?
b) Quelles sont les tensions des deux cordes ?

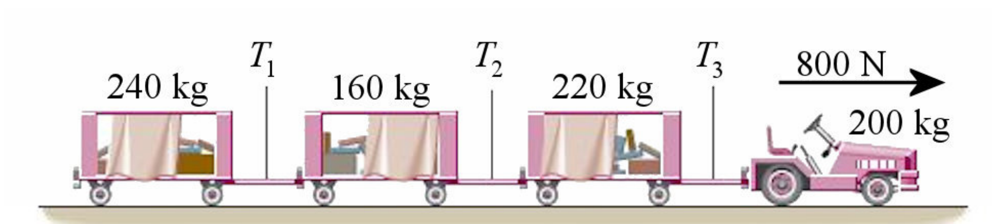


24. Voici deux blocs reliés par une corde.

a) Quelle est l'accélération des blocs ?
b) Quelle est la tension de la corde ?



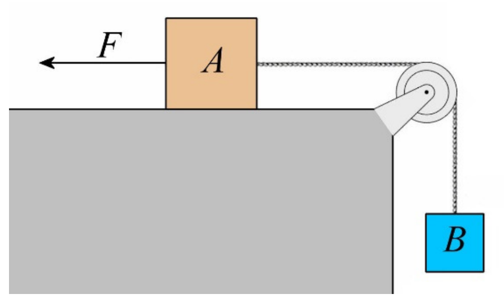
25. Le tracteur de ce transporteur de bagages d'aéroport fait une force de 800 N.



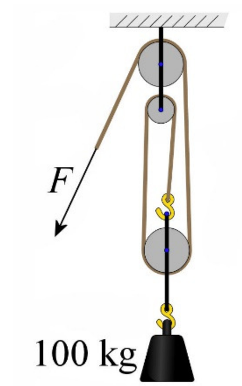
www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/airport-luggage-unloaded-plane-cars-luggage-carrier-drawing-shows-acceleration-carrier-012-q2644085

a) Quelle est l'accélération du transporteur de bagages ?
b) Quelles sont les tensions T_1, T_2 et T_3?

26. Quand on tire sur le bloc A avec une force de F = 100 N, le bloc B a une accélération de 1 m/s² vers le bas. Quand on tire sur le bloc A avec une force de 200 N, le bloc B a une accélération de 2 m/s² vers le haut. Quelles sont les masses des deux blocs ?



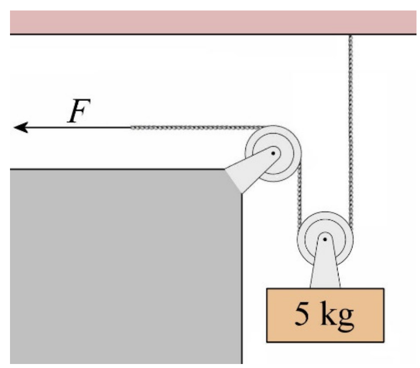
27. Quelle est la tension de cette corde qui maintient cette masse de 100 kg à l'équilibre ?



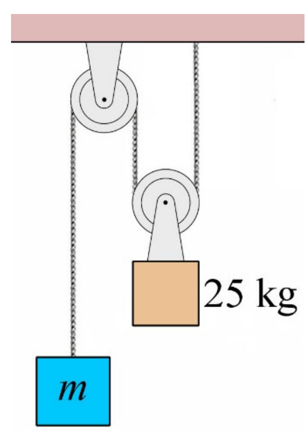
en.wikipedia.org/wiki/Mechanical_advantage_device

28. Dans la situation illustrée sur la figure…

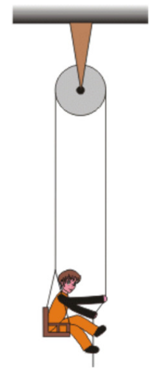
a) avec quelle force doit-on tirer sur la corde pour que la masse soit en équilibre ?
b) quelle est l'accélération du bloc si on tire avec une force de 20 N ?



29. Quelle doit être la masse m pour que ce système soit en équilibre ?

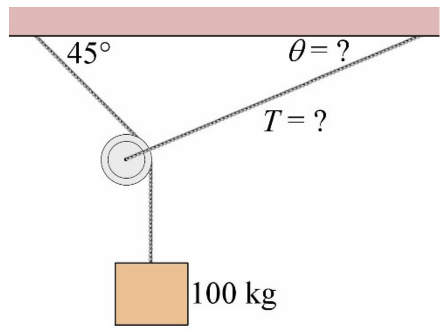


30. Quelle est l'accélération de Roxane, dont la masse est de 40 kg, si elle tire sur la corde avec une force de 250 N ?

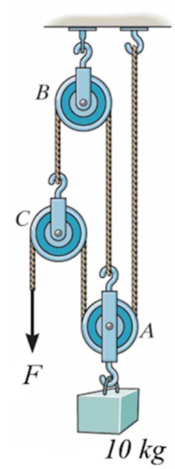


physicstasks.eu/uloha.php?uloha=278

31. Dans la situation montrée sur la figure, quelle est la tension T et l'angle θ ?



32. Avec quelle force doit-on tirer pour maintenir ce système en équilibre ?

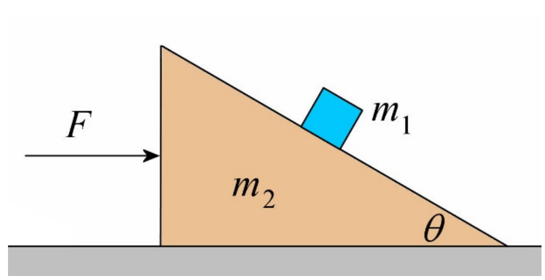


ux.brookdalecc.edu/fac/engtech/mqaissaunee/engi101/jpegs/chapter06/

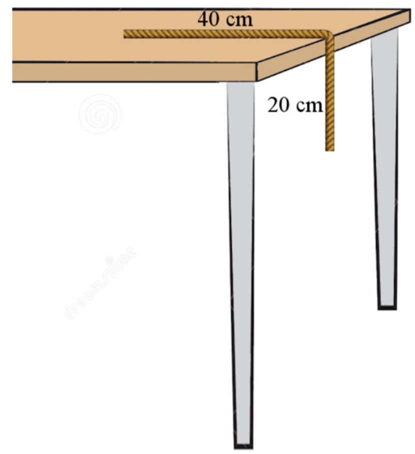
Défis

(Questions plus difficiles que les questions qu'il y aura à l'examen.)

33. Avec quelle force doit-on pousser ce triangle pour que le petit bloc ne glisse pas sur la pente ? (Il n'y a pas de friction.)



34. Dans la situation montrée sur la figure, il n'y a pas de friction entre la table et la corde de 5 kg qui glisse sur la table. Quelle sera la vitesse de la corde quand le bout arrivera au bord de la table ?



www.dreamstime.com/royalty-free-stock-image-simple-drawing-table-isolated-white-background-image34921036

RÉPONSES

4.1 La force gravitationnelle

1. a) 980 N b) 980 N c) 980 N

4.2 La normale

2. a) 705,6 N vers le haut b) 849,6 N vers le haut c) 489,6 N vers le haut
3. boite de 5 kg : normale de 44 N vers le haut faite par la boite de 10 kg
   boite de 10 kg : normale de 44 N vers le bas faite par la boite de 5 kg
   normale de 132 N vers le haut faite par le sol.

4.3 La tension

4. a) 2940 N b) 3840 N c) 2340 N
5. a) T_1 = 118,4 N T_2 = 74 N b) 2,7 m/s²

4.4 Applications des lois de Newton

6. mur vertical : 6,79 N vers la gauche
   surface inclinée : 7,84 N à 30°
7. F_N = 78,4 N vers le haut
8. Bloc de 12 kg : normale de 78,4 N vers le haut faite par la boite de 20 kg
   Bloc de 20 kg : normale de 78,4 N vers le bas faite par la boite de 12 kg et normale de 274,4 N vers le haut faite par le sol
9. a = 3,89 m/s² F_N = 396,8 N
10. T = 590,9 N F_N = 315,0 N
11. 3654 N
12. Corde de droite : 199 N corde de gauche : 374 N

13. Corde attachée au bloc : 98 N corde de gauche : 98 N
    corde de droite : 138,6 N
14. T = 113,2 N F = 56,58 N
15. a) 91,84 m b) 6,122 s
16. 133 N
17. a) 137,1 N b) 324,4 N
18. a) 1,361 m/s² vers le haut de la pente b) 1115 N
19. a) 6,4 m/s² vers la droite b) 20,8 N
20. a) 0,891 m/s² vers le bas pour le bloc de 12 kg, vers le haut pour le bloc de 10 kg
    b) 106,9 N
21. a) 3,075 m/s² vers la gauche pour le bloc de 24 kg b) 208,1 N
    c) Bloc de 24 kg : 132,6 N Bloc de 18 kg : 88,2 N
22. a) 2,915 kg b) 38,36 kg
23. a) 0,7538 m/s² vers la gauche pour le bloc de 80 kg
    b) corde de droite : 211,1 N corde de gauche : 271,4 N
24. a) 0,12 m/s² vers le haut de la pente pour le bloc de 20 kg
    b) 100,4 N
25. a) 0,9756 m/s² vers la droite
    b) T_1 = 234,1 N T_2 = 390,2 N T_3 = 604,9 N
26. m_a = 19,73 kg m_b = 13,61 kg
27. 326,7 N
28. a) 24,5 N b) 1,8 m/s² vers le bas
29. 12,5 kg
30. 2,7 m/s² vers le haut
31. T = 750 N et $\theta = 22{,}5°$
32. 24,5 N

Défis

33. $F = (m_1 + m_2)\, g \tan\theta$
34. 2,286 m/s