4.2 Le moment de force et l'équilibre statique

$$\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin\phi$$

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\sum \tau = 0$$

DREAMSTIME

Une présentation du
département de physique

Collège de
Maisonneuve

équilibre statique : un corps est en équilibre statique lorsqu'il est maintenu immobile par l'ensemble des forces qui agissent sur lui.

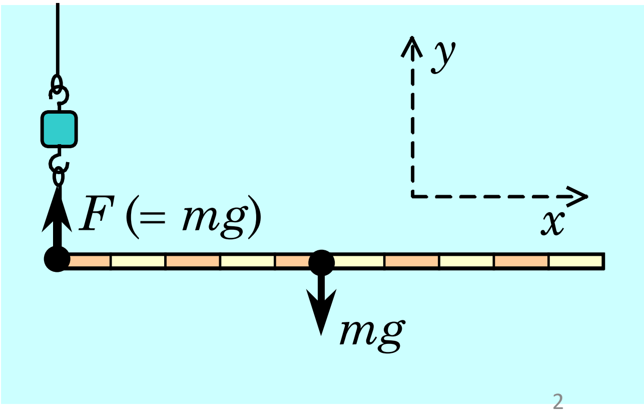
Lorsqu'un corps est en équilibre statique, la somme des forces qui agissent sur lui doit être nulle.

Équilibre de translation (plan *xy*)

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned}$$

Les conditions d'équilibre de translation ne sont pas suffisantes pour assurer qu'un corps demeure immobile, car il peut *pivoter*.

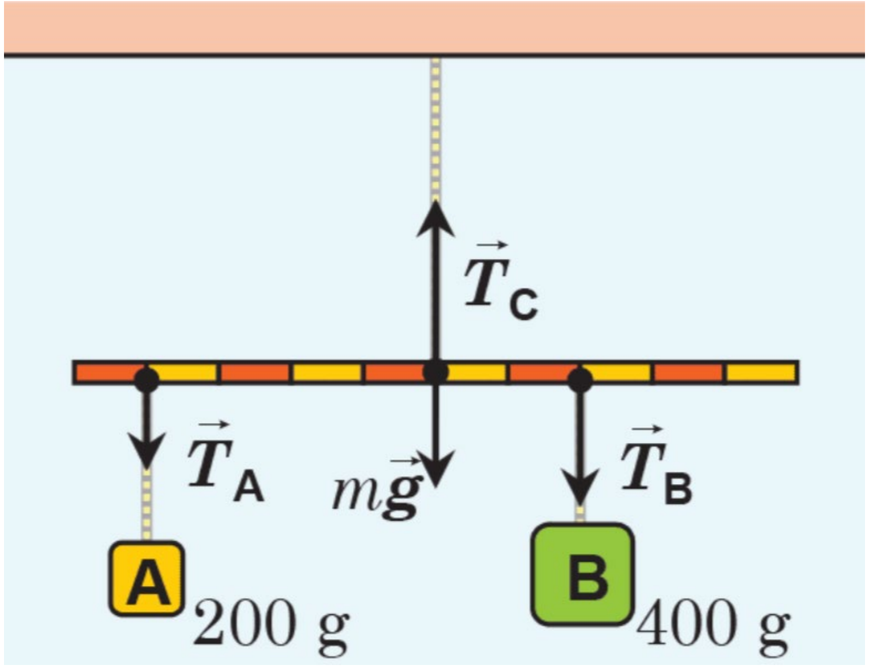
Exemple illustré : aucune force en x, les forces en y s'annulent, mais la tige pivote autour de son extrémité gauche.
La tige n'est pas en équilibre de rotation.



Un expérience concrète qui va nous servir à découvrir la condition d'équilibre de rotation :

On suspend une règle de 1 mètre de longueur dont la masse est égale à m = 100 g par une corde fixée en son milieu, on accroche un bloc **A** de 200 g à 40 cm à gauche du point de suspension central et on désire déterminer à quel endroit il faut accrocher un bloc **B** de 400 g pour que la règle demeure en équilibre statique en position horizontale.

Expérimentalement, on trouve qu'il faut accrocher **B** à 20 cm à droite du point de suspension central.

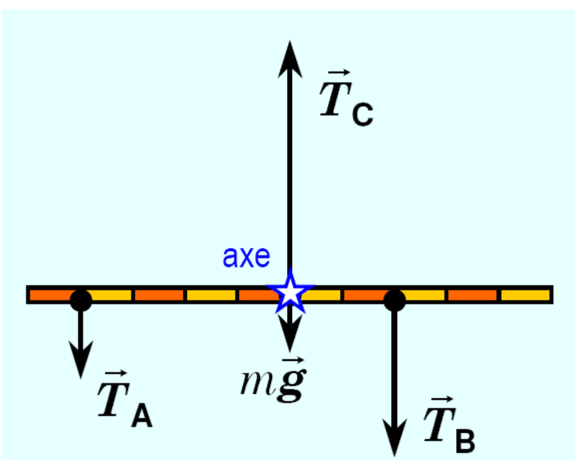


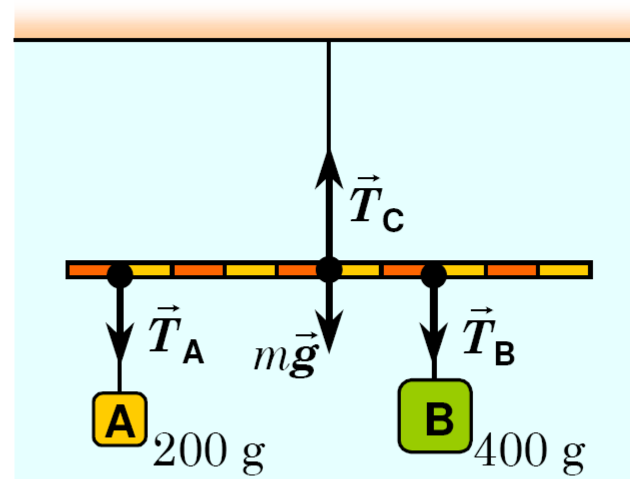
Remarque #1: On place le vecteur poids $\vec{F}_g$ au centre de masse de l'objet. Le point d'application des forces a de l'importance quand on étudie l'équilibre de rotation.

Remarque #2: Les poids des blocs n'agissent pas directement sur la règle: la règle subit l'effet de chacun des blocs par l'entremise de la tension dans la corde qui le supporte.

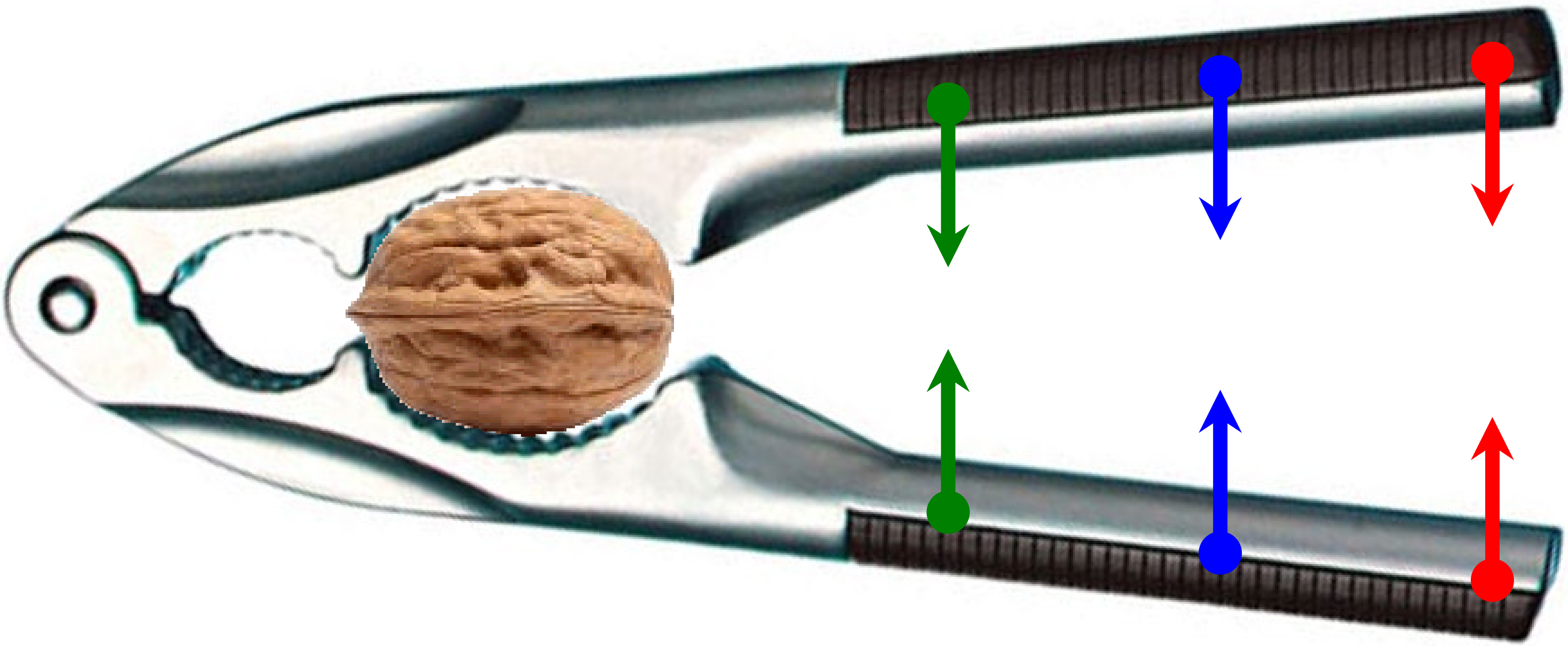
$$T_{\mathbf{A}} = m_{\mathbf{A}} g = (0{,}2\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 1{,}96\ \text{N}$$

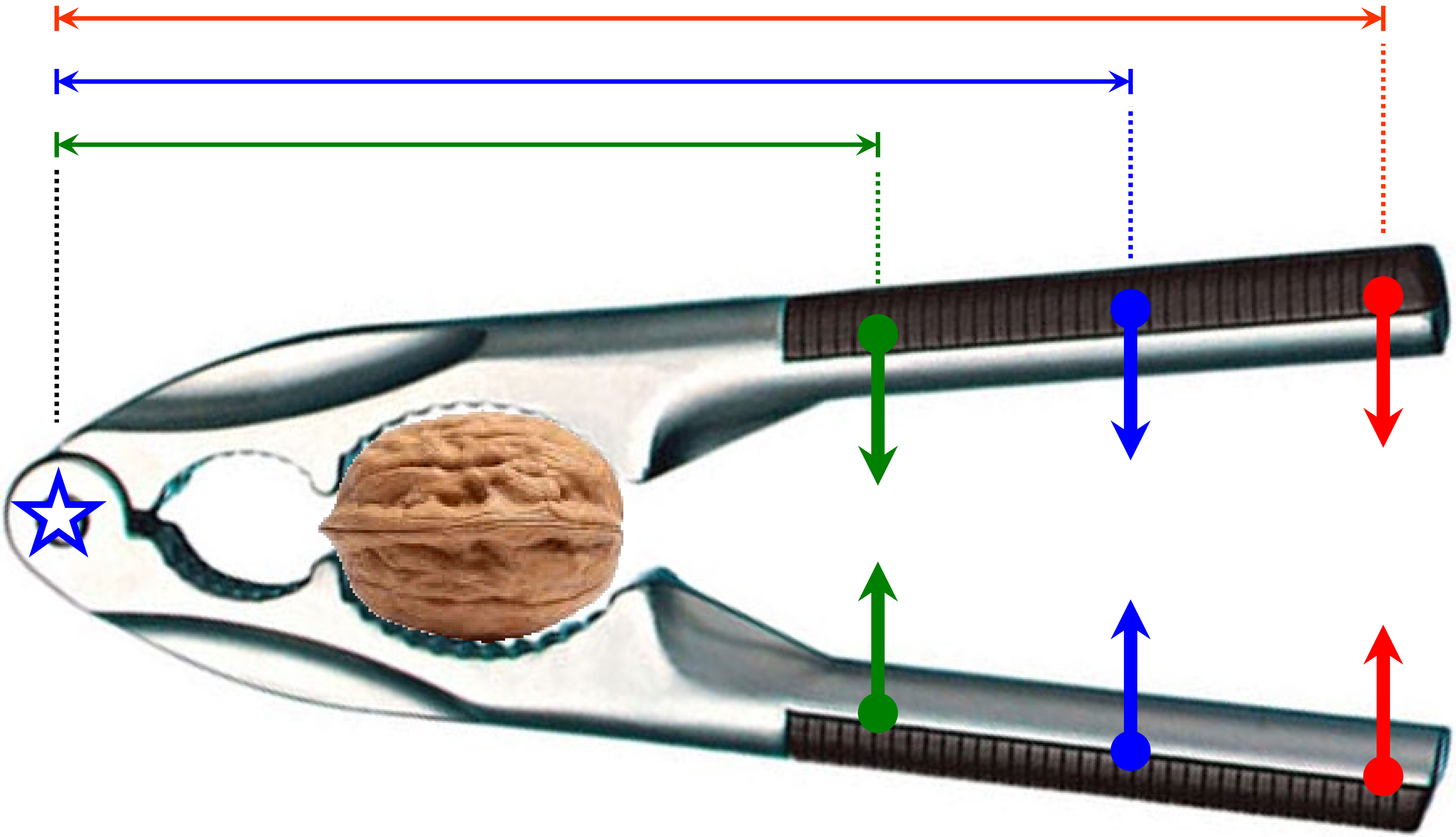
$$T_{\mathbf{B}} = m_{\mathbf{B}} g = (0{,}4\ \text{kg})(9{,}8\ \text{N/kg}) = 3{,}92\ \text{N}$$





Pour laquelle des 3 situations sera-t-il
le plus facile de briser une noix ?





$$\tau \propto r$$

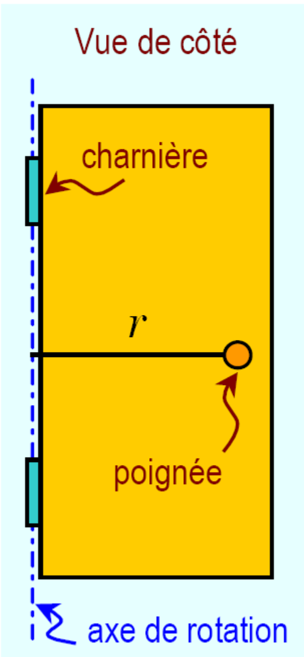
moment de force : (symbole : τ, la lettre grecque tau) paramètre qui exprime l'efficacité d'une force à induire ou à modifier le mouvement de rotation d'un corps autour d'un axe donné ; ses unités correspondent à celles d'une force multipliée par une distance ; dans le SI, il s'exprime en N·m (newtons *fois* mètre).

$$\tau \propto r \quad \textbf{(i)}$$

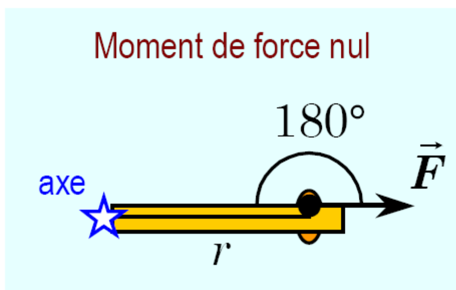
ISTOCKPHOTO

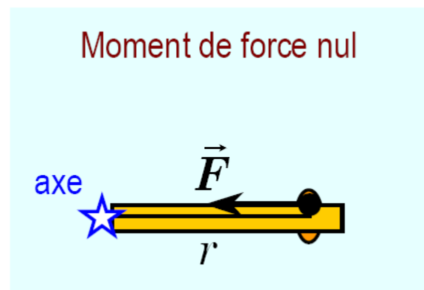
DREAMSTIME

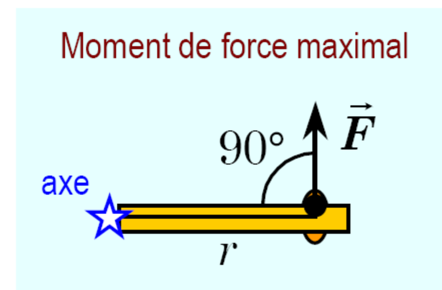
Exemple pour illustrer l'effet de l'orientation de la force sur le moment de force :

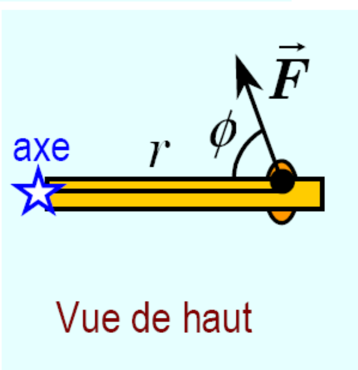


Comme le moment de force est proportionnel à la distance entre le point d'application et l'axe de rotation, on place de préférence les poignées de porte du côté opposé aux gonds.









$$\tau \propto F \sin\phi \qquad \tau \propto F_{\perp} \quad \textbf{(ii)}$$

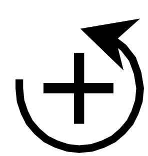
Le moment de force est un vecteur. Toutefois, dans le contexte de cette section, nous allons nous limiter à étudier des situations où l'**axe de rotation est perpendiculaire au plan des schémas** : la rotation ne peut s'effectuer que dans le sens horaire ou dans le sens anti-horaire. Par conséquent, il suffit de donner un signe (+ ou –) au moment de force.

anti-horaire : sens de rotation dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

horaire : sens de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre.

Par convention, on considère (habituellement) qu'***un moment de force qui a tendance à faire tourner un objet dans le sens anti-horaire est positif.***

Sur un schéma, on représente cette convention de signe par le symbole.



$$\left.\begin{array}{ll} \tau \propto r & \textbf{(i)} \\ \tau \propto F_{\perp} \quad \textbf{(ii)} & \tau \propto F \sin\phi \end{array}\right\} \quad \boxed{\tau = \pm r F_{\perp} = \pm r F \sin(\phi)}$$

Moment de force

$$0° \leq \theta \leq 180° \;\Rightarrow\; rF\sin\theta \geq 0$$

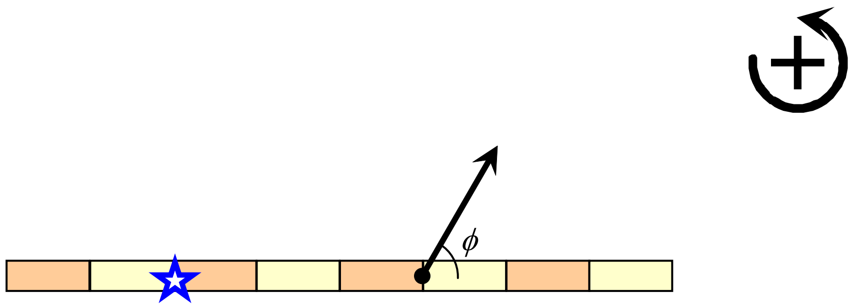
Le symbole $\pm$ permet d'ajuster le signe pour respecter la convention de signe.

Dans le SI, le moment de force s'exprime en N·m : il s'agit de la même combinaison d'unités que pour l'énergie. Toutefois, l'apellation « joule » est réservée exclusivement à l'énergie : lorsqu'on exprime le moment de force dans le SI, on doit laisser les unités sous la forme N·m.

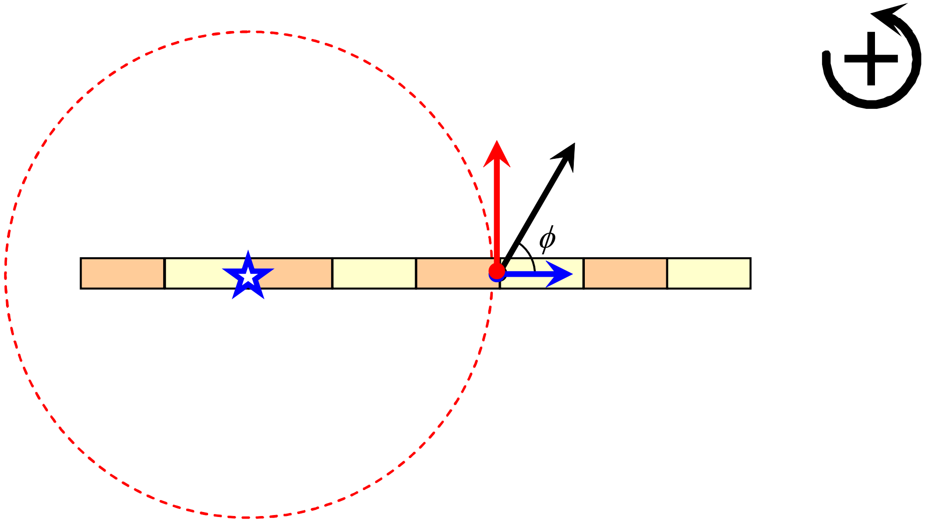
Équilibre de rotation

$$\sum \tau = 0$$

$$\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin(\phi)$$

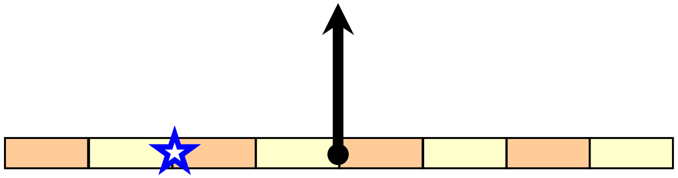


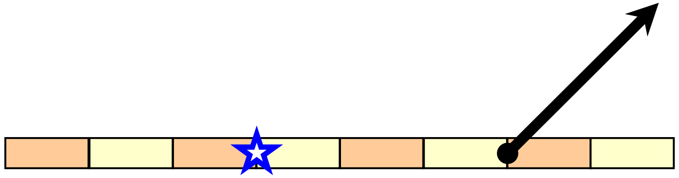
$$\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin(\phi)$$

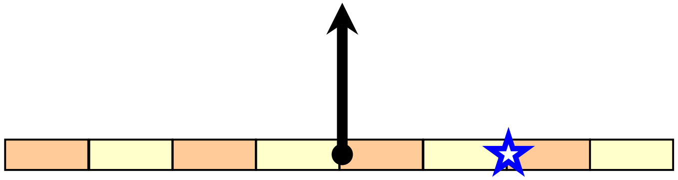


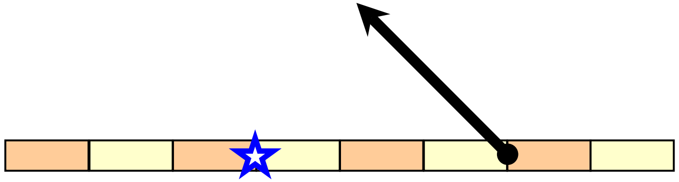
$$\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin(\phi)$$

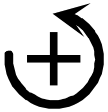
Quel est le signe du moment de force τ dans les situations suivantes :





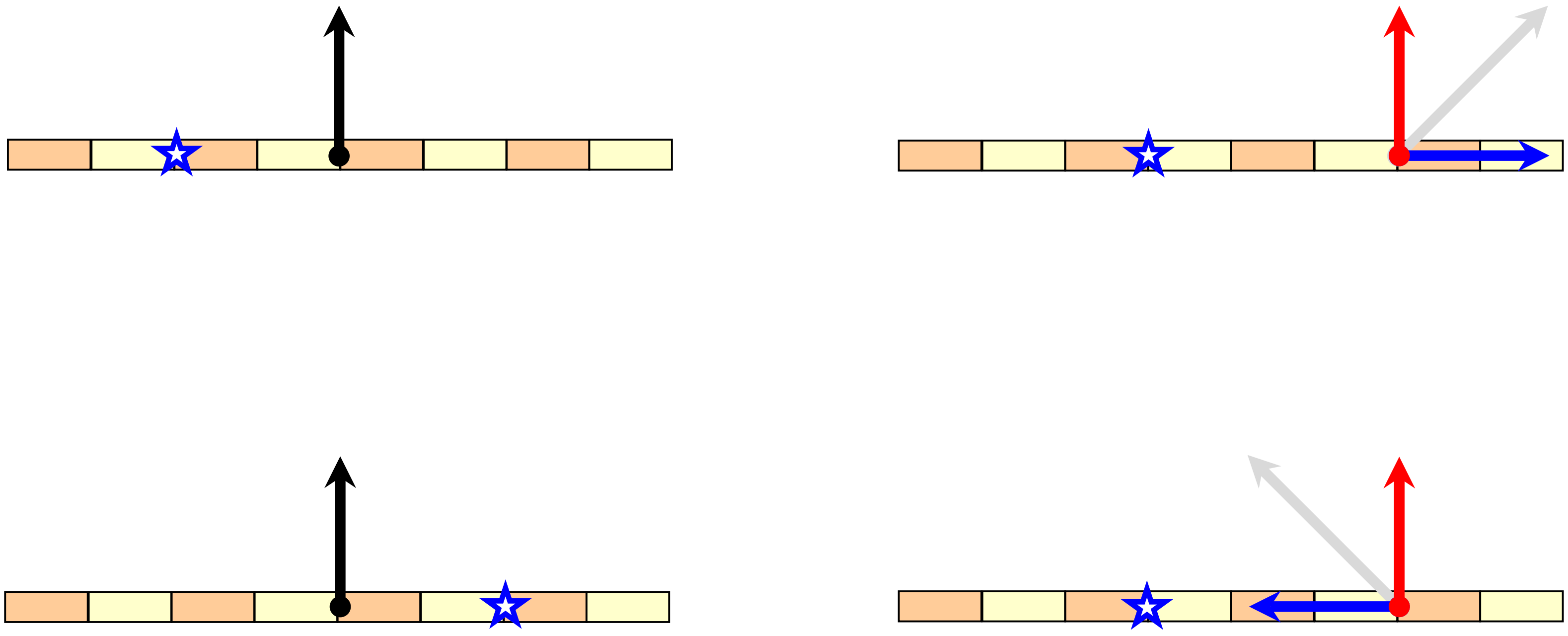


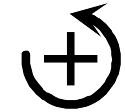




$$\boxed{\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin(\phi)}$$

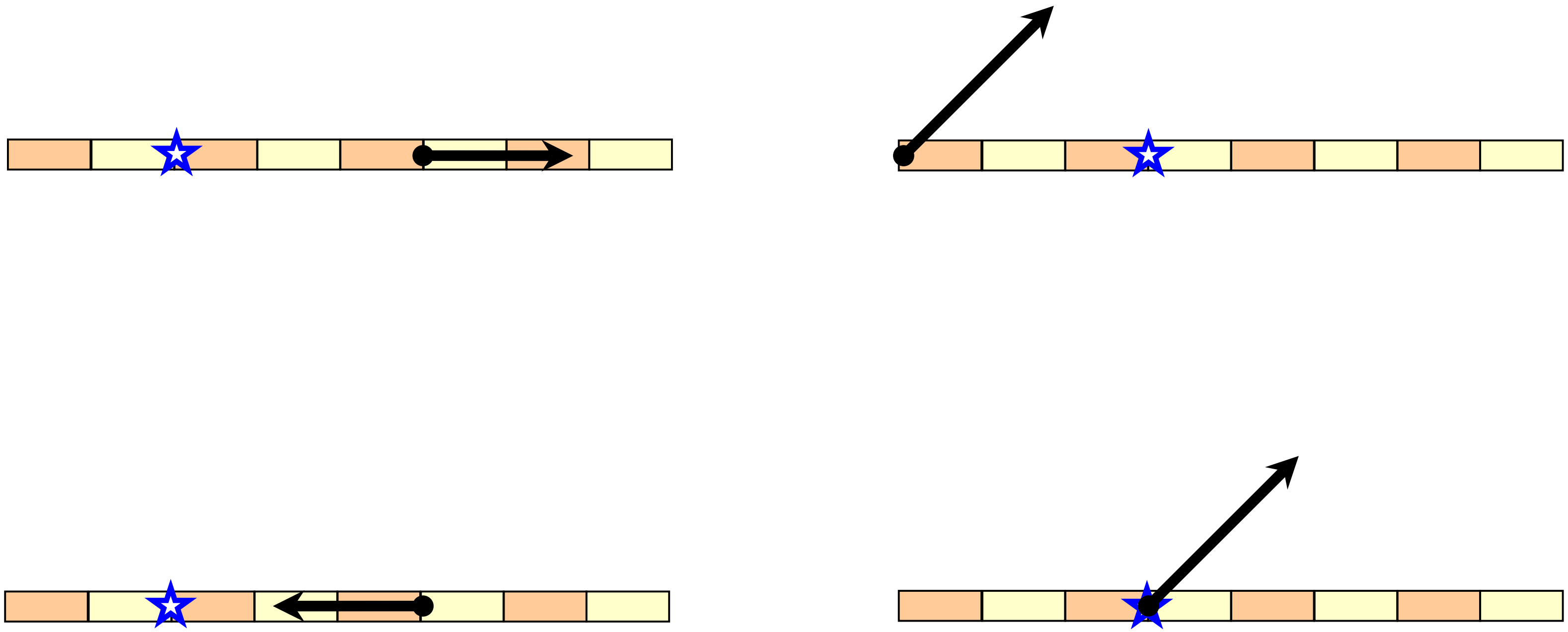
Quel est le signe du moment de force τ dans les situations suivantes :

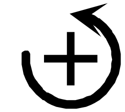




$$\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin(\phi)$$

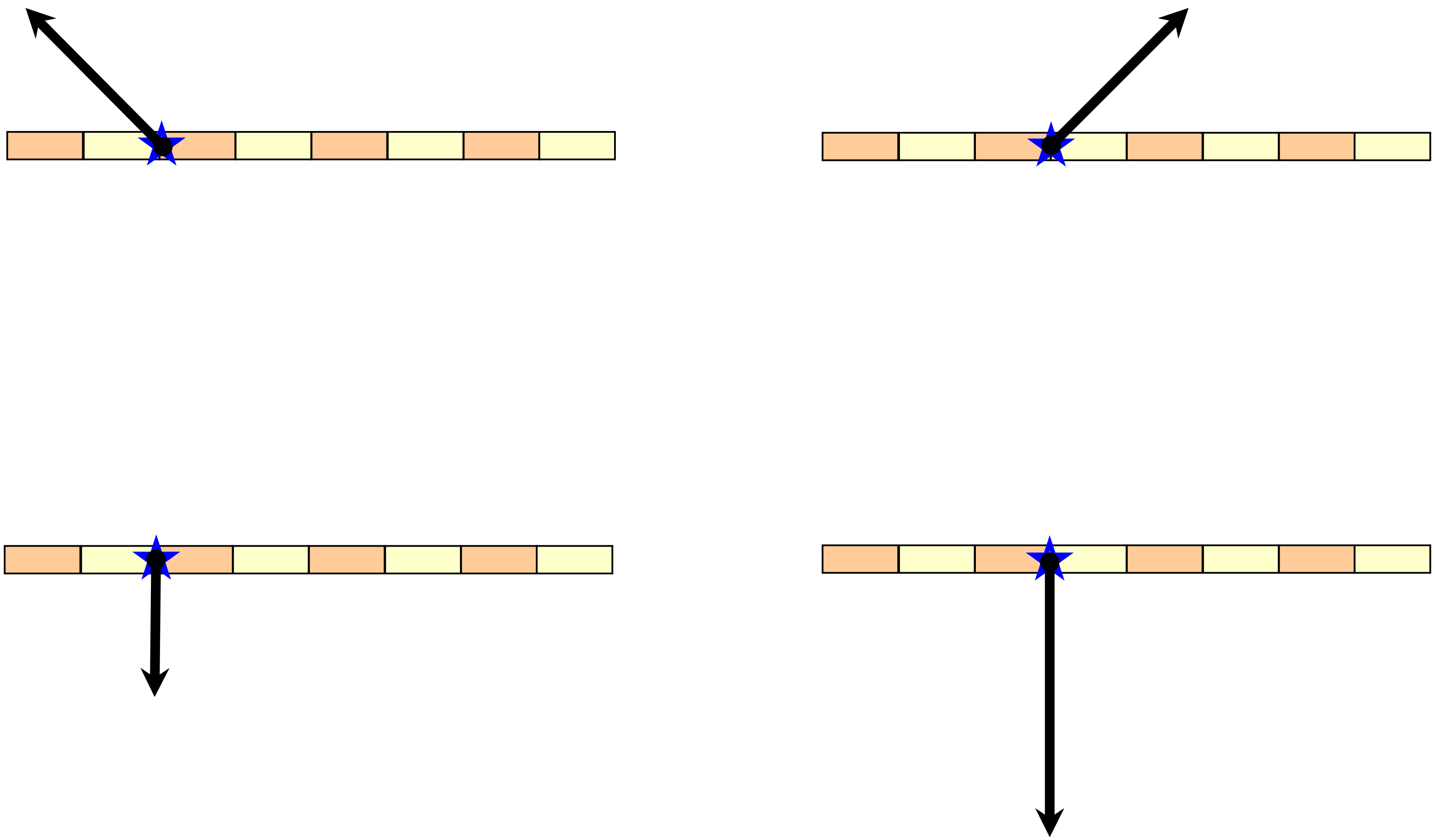
Quel est le signe du moment de force τ dans les situations suivantes :



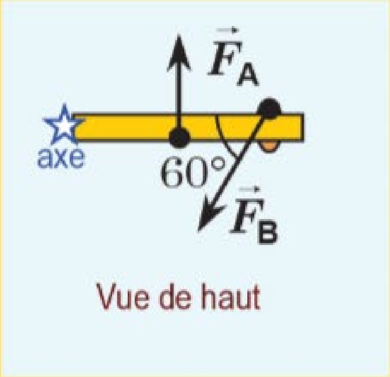


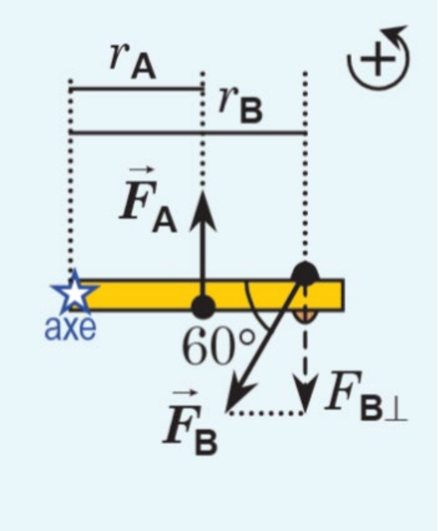
$$\boxed{\tau = \pm rF_{\perp} = \pm rF\sin(\phi)}$$

Quel est le signe du moment de force τ dans les situations suivantes :

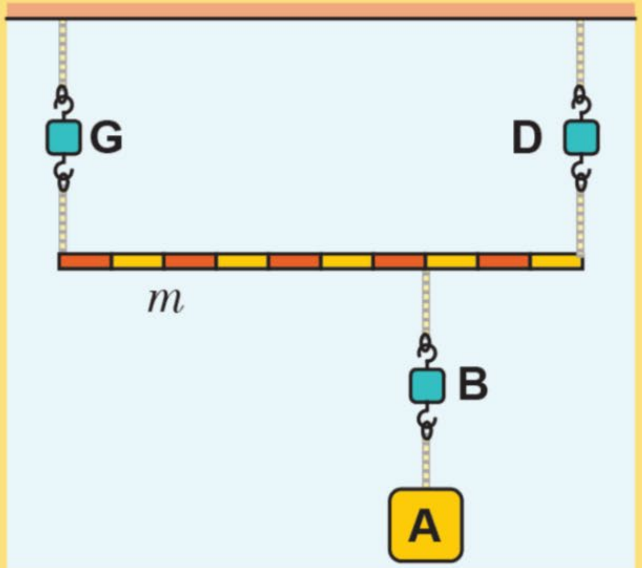


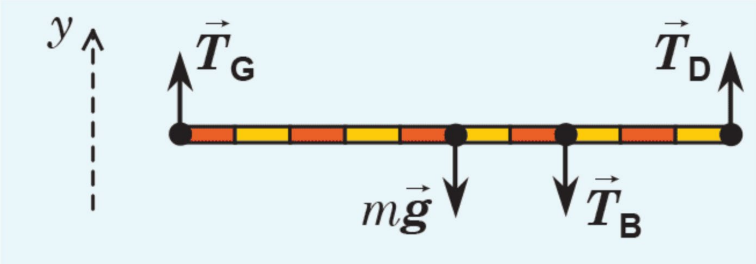
Situation 1 : ***Ouvre la porte !*** Béatrice essaie d'ouvrir la porte de la chambre d'Albert en poussant sur la poignée avec une force horizontale $F_B = 30$ N faisant un angle de 60° avec le plan de la porte (schéma ci-contre). De l'autre côté de la porte, Albert empêche la porte de bouger en poussant horizontalement sur le centre de la porte avec une force F_A perpendiculaire au plan de la porte. La porte mesure 90 cm de largeur et la poignée est à 75 cm des charnières. On désire calculer F_A.



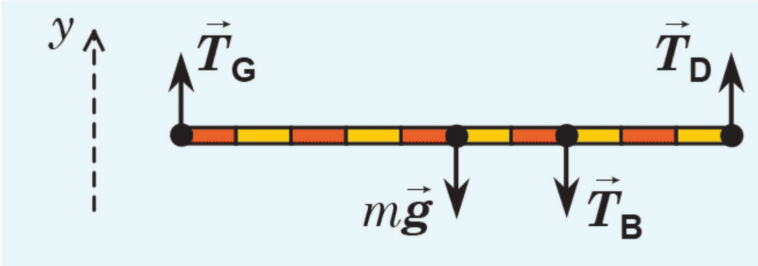


Situation 2 : ***Une règle en équilibre.*** Une règle en bois de 1 mètre, dont la masse est $m = 100$ g, est suspendue à ses deux extrémités (schéma ci-contre). À 30 cm de l'extrémité de droite, on accroche un bloc **A** dont la masse est de 400 g. On désire déterminer ce qu'indiquent les trois dynamomètres : **G** (gauche), **D** (droite) et **B** (bloc). (Les masses des dynamomètres et des cordes sont négligeables.)



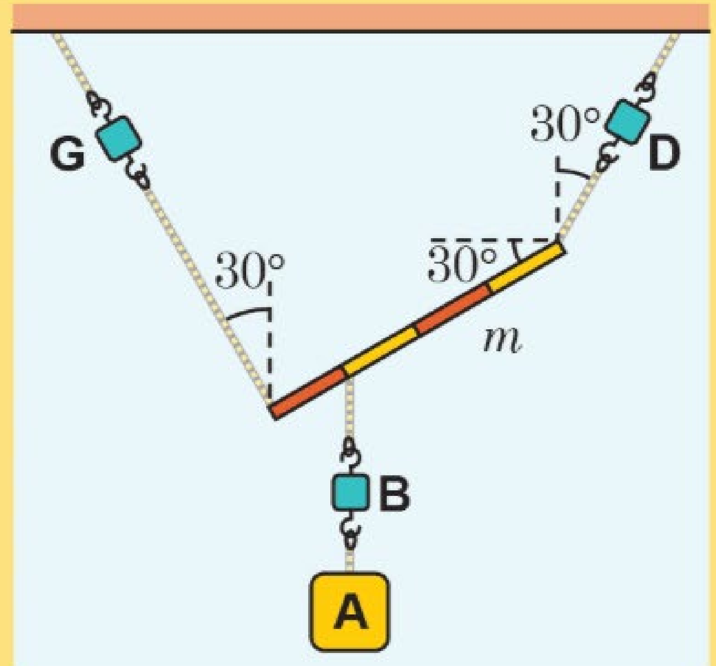


Situation 2 : *Une règle en équilibre.*

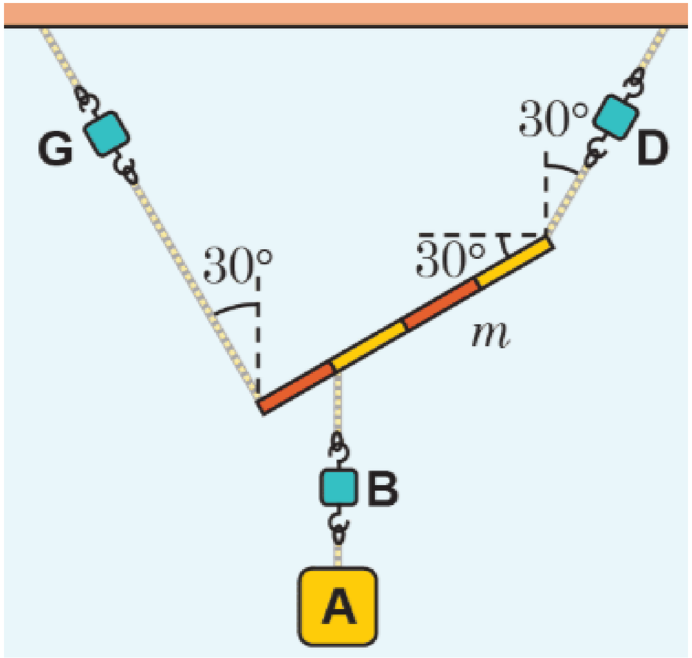


Situation 3 : ***Une règle en équilibre, prise 2.*** On désire reprendre l'analyse de la **situation 2** en plaçant l'axe de rotation à l'extrémité gauche de la tige.

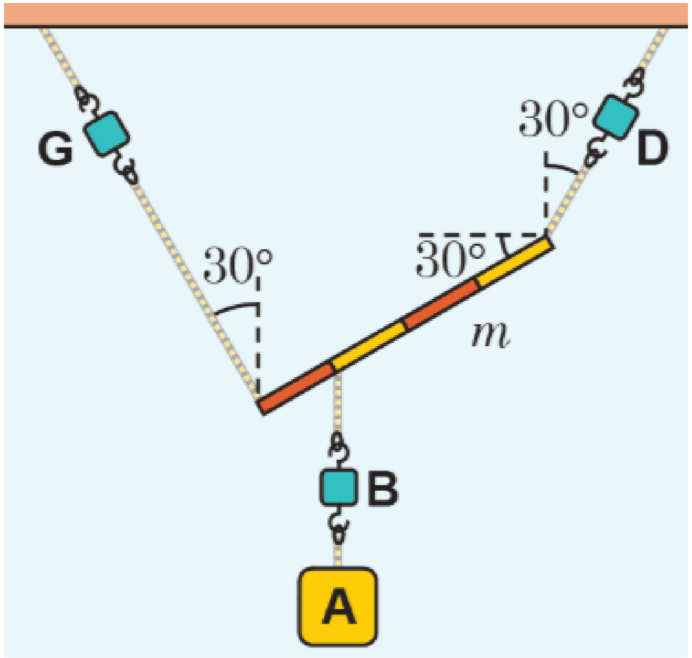
Situation 4: ***Un problème d'équilibre statique à trois inconnues.*** Une règle de longueur L, dont la masse est de 100 g, est inclinée à 30° par rapport à l'horizontale (schéma ci-contre) ; elle est suspendue au plafond par deux cordes inclinées à 30° par rapport à la verticale. Un bloc **A** est suspendu à mi-chemin entre le centre de la règle et l'extrémité gauche. On désire déterminer la masse du bloc **A**. (Les dynamomètres et les cordes ont des masses négligeables.)



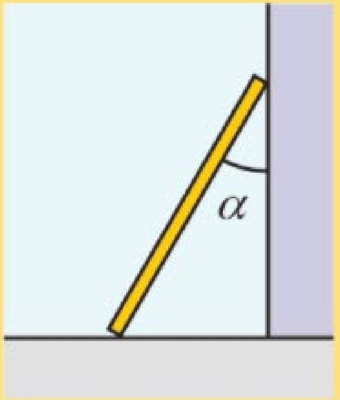
Situation 4 : ***Un problème d'équilibre statique à trois inconnues.***



Situation 4 : ***Un problème d'équilibre statique à trois inconnues.***

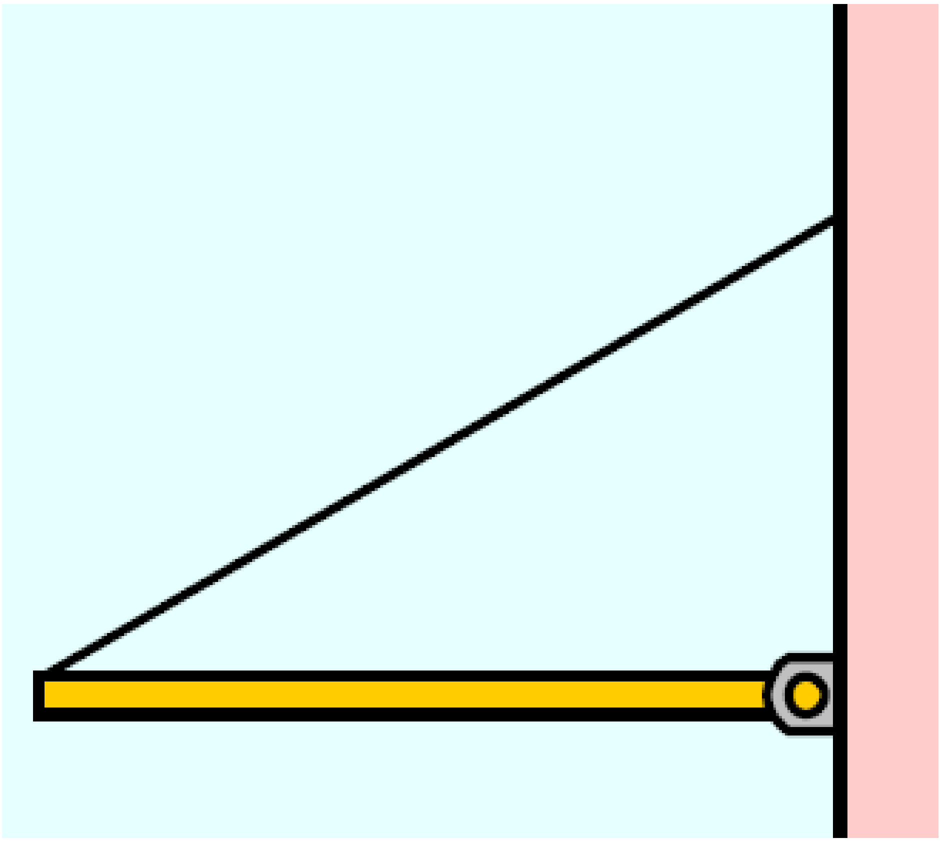


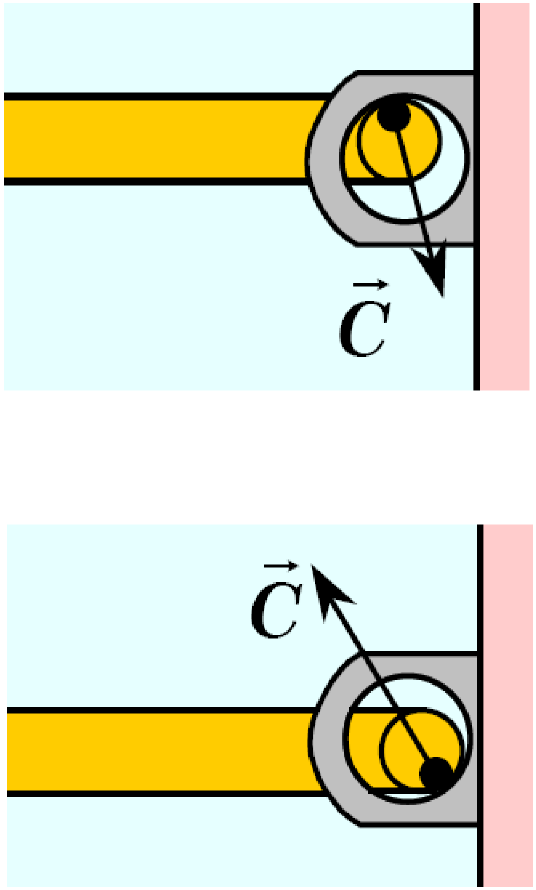
Situation 5 : ***Une règle appuyée contre un mur.*** Une règle de longueur L et de masse m est appuyée contre un mur (schéma ci-contre). Le frottement entre le mur et la règle est négligeable ; en revanche, il y a un coefficient de frottement statique μ_s entre le sol et la règle. On désire déterminer l'angle α *maximal* que peut faire la règle par rapport à la verticale pour demeurer en équilibre.



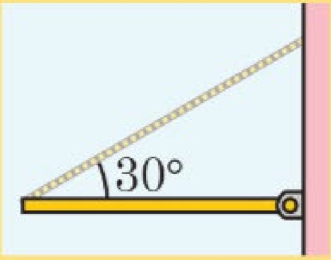
Situation 5 : *Une règle appuyée contre un mur.*

La force exercée par une charnière





Situation 6 : ***Une poutre fixée au mur par une charnière.*** Considérons une poutre de 10 kg horizontale ; à son extrémité droite, elle est fixée à un mur par une charnière ; à son extrémité gauche, elle est soutenue par une corde faisant un angle de 30° avec l'horizontale (schéma ci-contre). On désire déterminer les modules de la force exercée par la charnière et de la tension dans la corde.



Situation 6 : *Une poutre fixée au mur par une charnière.*