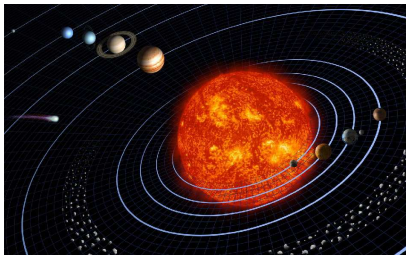
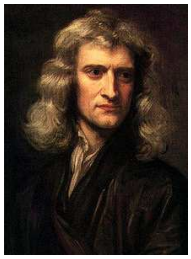
Cours préparatoires de physique

Août 2012

L. Dreesen





LA DYNAMIQUE, LES LOIS DE NEWTON

Août 2012

L. Dreesen

Table des matières

- Introduction
- Force
- La première loi de Newton
- La troisième loi de Newton
- La deuxième loi de Newton
- Force de gravitation
- Forces de frottement
- Problèmes

Introduction

Introduction

- **Cinématique : branche de la physique qui**
  - Décrit le mouvement
  - Définit les notions nécessaires et développe les relations entre elles sans se préoccuper de la cause du mouvement.

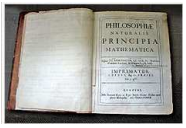
- **Questions ?**
  - Comment mettre un objet en mouvement ?
  - Comment arrêté un objet qui se déplace ?
  - Comment presser une balle en caoutchouc dans la main ?
  - …

- **Réponse :** action d'une **FORCE**

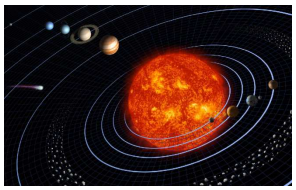
Introduction

- Concept introduit par Sir Isaac Newton (1642-1727)

- **Principia Mathematica Philosophiae** (1687)
  - Lois du mouvement (trois lois de la mécanique = 3 lois de Newton)
  - Expression de la gravitation universelle = attraction entre deux corps



- **Application** : mouvement des planètes



Introduction

- **Lois de Newton** = fondements de la mécanique (classique). Lois d'application dans la vie de tous les jours.

- Lois à modifier si
  - Phénomènes à l'échelle atomique (10^{-10} m) =>
  - Vitesse des corps proche de celle de la lumière ($3\ 10^{8}$ ms^{-1}) =>

- Lois parfaitement appliquées pour décrire des phénomènes relatifs à
  - L'astronomie
  - La biomécanique
  - La géologie
  - L'ingénierie

Introduction

- **Dynamique :**
  - Etudie des forces
  - Actions des forces sur le mouvement

- **Qu'est ce qu'une force ?**
  - Non directement observable
  - On ne perçoit que les effets (ex. : …)

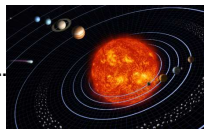
- **Définition ?**
  - Agent de changement (déformation par ex.)
  - Dynamique : agent qui modifie l'état de mouvement

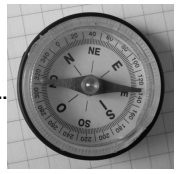
Force

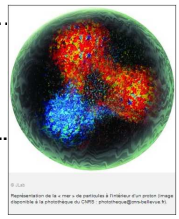
Août 2012 *L. Dreesen*

Notion de force

- **4 forces fondamentales :**
  - Gravitation .....
  - Électromagnétique.....
  - Interactions (nucléaires) faibles.....
  - Interactions (nucléaires) fortes.....







Notion de force

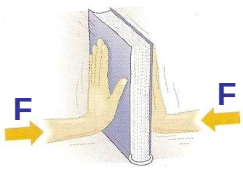
- **2 types de force :**
  - Contact : interaction entre 2 objets (ex. contraction musculaire - os, forces de frottement)
  - Non contact (force d'attraction de la terre, champ magnétique, champ électrostatique).

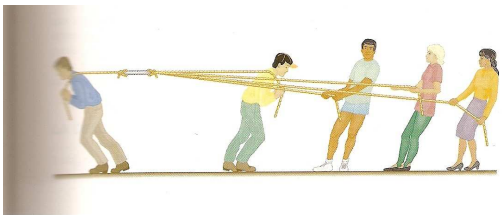
Notion de force

- Force : caractérisée par une grandeur, une direction (ligne d'action) et un sens (et un point d'application)

  $\Rightarrow$ Force = VECTEUR . **Notations :** **F** ou $\vec{F}$ (*Tab*)

- Force résultante (force totale) sur un objet = somme vectorielle des forces agissant sur cet objet (*Tab*)

- 

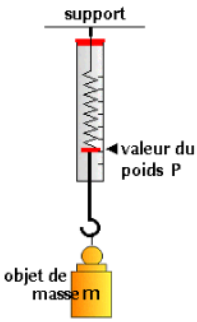


Forces égales mais opposées **1 seule force est ressentie**

Notion de force

- Unité : Newton (N)
- Mesurer une force - Dynamomètre

= Ressort dont on mesure l'élongation. Plus le ressort s'étire et plus la force agissant dessus est grande



Première loi de Newton (principe d'inertie)

Première loi de Newton

Tout objet conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme en absence de force résultante agissant sur lui

Interprétation :
Si la résultante des forces agissant sur un objet est nulle :

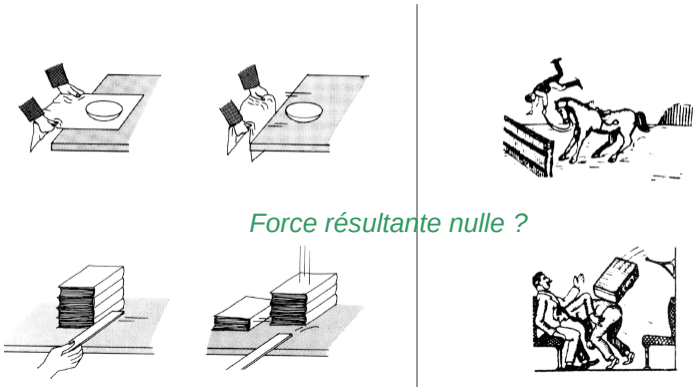
1. Un objet au repos reste au repos
2. Un objet en mouvement continue à se mouvoir à vitesse constante

Première loi de Newton

- Illustration (+ expériences : verre d'eau + foulard ; voiture + boîte)

Corps au repos

Corps en MRU



Force résultante nulle ?

Première loi de Newton

- Applicable pour mesures par certains observateurs !

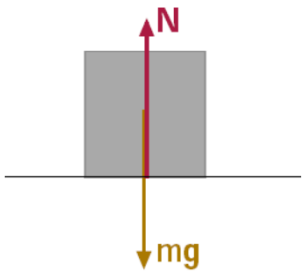
- Enfant et carrousel :
  - 1) Enfant dans carrousel : Objets au sol (pas de force) se déplacent suivant des trajectoires complexes => Loi 1 non applicable
  - 2) Enfant hors du carrousel voit les mêmes objets au repos ou en MRU => Loi 1 applicable
  - **Enfant dans carrousel soumis à une accélération et la première loi de Newton telle qu'énoncée ne s'applique pas aux observateurs en accélération !**

- On définira un **référentiel d'inertie** comme étant un référentiel (système de référence) dans lequel la 1ère loi de Newton est applicable
  - Un système de coordonnée qui se déplace en MRU par rapport à un référentiel d'inertie sera aussi un référentiel d'inertie

Equilibre

- **Conséquence de la première loi de Newton :**
  - **objet en équilibre** → $\Sigma_i F_i = 0$
  - condition **nécessaire** mais **non suffisante**

- **Illustration :** La force normale **N** : Bloc de masse m au repos sur surface horizontale est soumis à son poids m**g** → il doit exister au moins une autre force afin que la résultante des forces soit nulle → force de contact appelée la force normale (**N**).

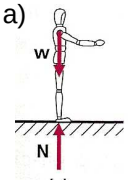


Equilibre

- Exemples

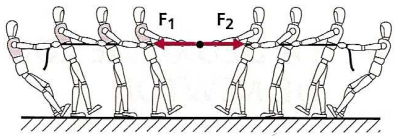
$F_1 = - F_2$ => nœud immobile

a)

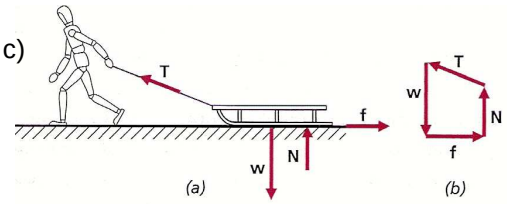


$N = - W$ => corps immobile

b)

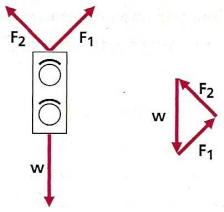


c)



$\Sigma F_i = 0$ => reste en MRU

d)



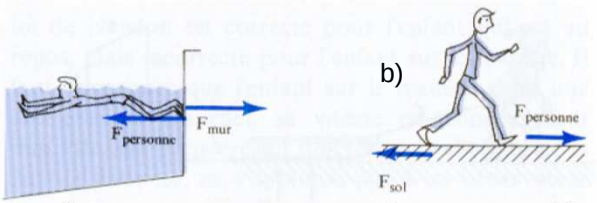
$\Sigma F_i = 0$ => équilibre

Troisième loi de Newton

Troisième loi de Newton

- Mise en situation

a) b)



- Newton : si une personne exerce une force sur un objet, l'objet, en réaction exerce une force sur la personne, force qui est égale en grandeur mais de direction opposée.

- = Forces d'action et réaction
  - Forces d'action : jambes sur bord, pied sur sol
  - Forces de réaction : bord sur corps, sol sur corps
- Démonstration : ballon de baudruche ; voiture fusée

Troisième loi de Newton

Si un objet exerce une force **F** *sur un second objet, le second exerce sur le premier une force égale en grandeur, de même direction mais de sens opposé,* **-F**

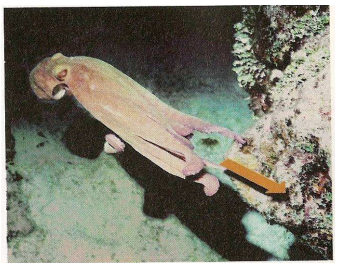
Principe d'action-réaction

Les forces d'action et de réaction s'exercent sur des objets différents
→ Leurs effets ne s'annulent pas
Le mvt résulte uniquement des forces agissant sur l'objet

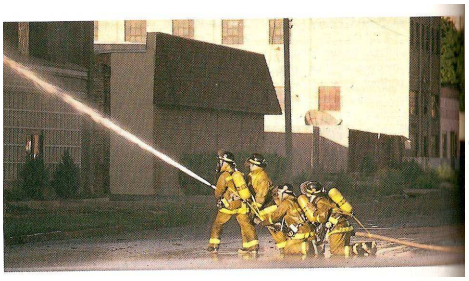
Troisième loi de Newton

- Illustration

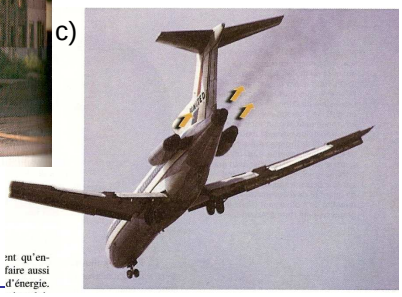
b)



a)



c)

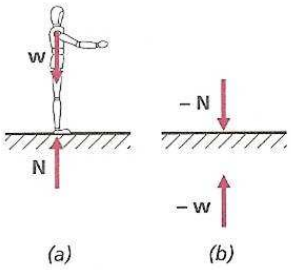


- Vidéos : ventilateur, auto-fusée,…

Troisième loi de Newton

- <u>Remarque :</u> Il existe des situations pour lesquelles des forces égales et opposées interviennent, bien qu'il ne s'agisse pas des forces d'action-réaction au sens de la troisième loi de Newton

- <u>Illustration :</u>



Corps au repos
=> **W** + **N** = 0

- **W** et **N** ne sont pas des forces d'action-réaction
  - Réaction de W ?
  - Réaction de N ?

Deuxième loi de Newton

Août 2012 *L. Dreesen*

Deuxième loi de Newton

- *Quand une force résultante s'exerce sur un objet, celui-ci est soumis à une accélération qui a même direction que la force :*

$$F = m\,a$$ *(Tab)*

- m = **masse d'inertie** de l'objet
- Propriété **intrinsèque** : mesure la quantité de matière (même valeur sur terre et lune)
- **Unité :** [N] = [kg m s^{-2}]

Vrai dans un référentiel d'inertie uniquement !

Deuxième loi de Newton

- ***Rem. : La même force appliquée à des objets différents (ex. action-réaction) produira une accélération différente :***

$$\mathbf{F} = m\,\mathbf{a} \rightarrow \mathbf{a} = \mathbf{F} / m$$

- m = masse d'inertie → mesure **l'inertie** au mouvement

- <u>Exemple :</u> Personne qui saute d'une falaise : subit la force gravitationnelle → $a = -g = F/m$

  En réaction : la terre est attirée vers la personne mais

  $a = F/M_{terre}$ => peu (pas) d'effet

Les trois lois de Newton en résumé

1. Si $\Sigma\, \mathbf{F}_i = 0$ → particule en M.R.U. ou au repos y reste
2. $\Sigma\, \mathbf{F}_i = m\,\mathbf{a}$ (équation de Newton)
3. Principe d'action-réaction

Ces lois s'appliquent uniquement dans un référentiel d'inertie.

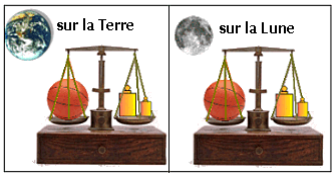
Quelques exemples de forces

Août 2012 *L. Dreesen*

Poids et masse

- **Le poids (vecteur) :**
  - **w** ≡ la force gravitationnelle s'exerçant sur un objet (*vecteur*, [N])

- **La masse *gravitationnelle* (scalaire) :**
  - Par définition : m ≡ w/g (*scalaire*, [kg]) = unité de base
  - **g : accélération gravitationnelle**
  - **La dépendance en g implique une dépendance à l'attraction terrestre → 2 corps de même masse ont des poids différents sur la terre ou la lune car g est différent !**

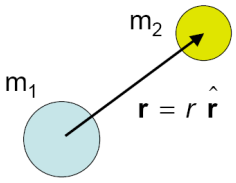


- **Mais un ressort (dynanomètre) aurait des élongations différentes**

Les forces de gravitation

o **Loi de la gravitation universelle (Newton) : tous les objets dans l'univers s'attirent** *(Tab)*

$$\mathbf{F}_{21} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$



Si objets ponctuels

$$G = 6.67\times10^{-11}\ \frac{\mathrm{Nm^2}}{\mathrm{kg^2}}$$

Loi fondamentale de la nature

Associée aux 3 lois précédentes, Newton a pu modéliser les mouvements des planètes et de la lune !

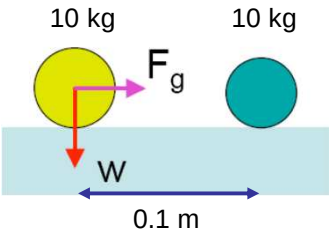
La force est :

- toujours attractive
- proportionnelle au produit des masses
- inversement proportionnelle au carré de la distance

Les forces de gravitation

o **Attraction gravitationnelle entre les corps** *(Tab)*

- Les centres de deux sphères de 10 kg sont distantes de 0,1 m.
  1. Que vaut l'attraction gravitationnelle
  2. Que vaut le rapport entre cette attraction et le poids de chacune des sphères.



$$F_g = G\frac{mm'}{r^2} = 6{,}67\times10^{-11}\frac{100}{0{,}01} = 6{,}67\times10^{-7}\mathrm{N}$$

Si objets ponctuels

$$w = mg = 10\times9{,}81 = 98{,}1\ \mathrm{N}$$

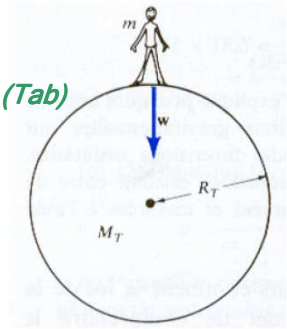
$$\frac{F_g}{w} = 6{,}81\times10^{-9} \rightarrow \text{négligeable}$$

- Nous ne remarquons pas les attractions gravitationnelles entre objets de dimensions "**ordinaires**".

Le poids

- **Poids d'un objet**
  = Force gravitationnelle qui agit sur lui

(Tab)



➔ $w = G\dfrac{m M_T}{R_T^2} = m G \dfrac{M_T}{R_T^2}$

Si objets ponctuels

m est la masse gravitationnelle

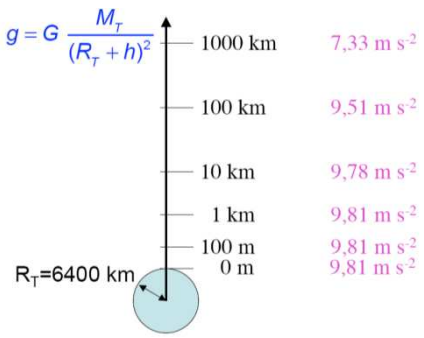
= masse d'inertie ➔ **F** = m **a** = m **g**

➔ $g = G\dfrac{M_T}{R_T^2} = 6.67\times10^{-11}\,\dfrac{\mathrm{N\,m^2}}{\mathrm{kg^2}}\,\dfrac{(6{,}0\times10^{24}\,\mathrm{kg})}{(6400\,\mathrm{km})^2}$

➔ $g \sim 9{,}81\ \mathrm{m\,s^{-2}}$ (à la surface de la terre)

Accélération de la pesanteur

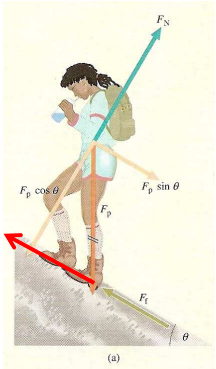
- Par définition, g dépend de la masse de la planète (M_T) et de la distance au centre (R_T)
- → $g_{lune} << g_{terre}$
- → $g_{altitude} < g_{mer}$

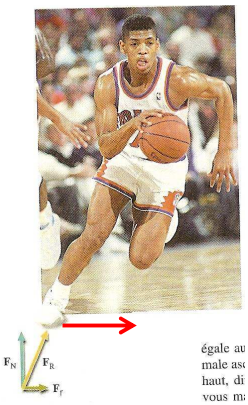


Pas à l'échelle !

Le frottement

- **Force de frottement : Force qui agit toujours pour s'opposer au mouvement d'un objet qui glisse sur un autre**





Le frottement

- **Origine** :
  - Adhérence mécanique provenant de la *rugosité* des surfaces

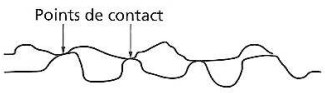


Figure 3.17 Vue microscopique de deux surfaces en contact.

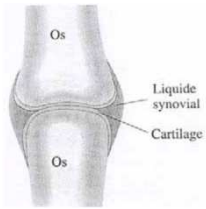
  - Liaisons de faible énergie entre les atomes (*forces de cohésion*)

Le frottement

- **Solutions** :

- Les roulements qui rendent le glissement des surfaces plus aisée.

- Les fluides où les frottements sont faibles comparés aux frottements solide-solide (Articulations : *fluide synovial*)



- Coussins d'air (aéroglisseurs)

Le frottement : types

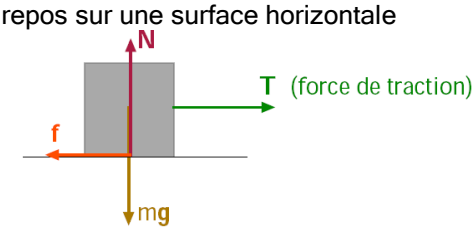
- **Suivant état (nature) des corps en contact**
- **Solide - solide** : permet de marcher, rouler, tenir un livre
- **Solide - liquide** : réduction de la vitesse du sang, rend balles peu efficaces sous eau
- **Solide - gaz** : rends possible la chute libre, ralentissement des avions et des autos (à 110 km/h 70% du carburant est consacré à vaincre les forces de l'air)
- **Gaz - liquide** : ralentissement des gouttes de pluie
- **Liquide - liquide** : viscosité => ralentissement du sang

Le frottement : types

- **Suivant état (nature) de mouvement des corps**
- **Corps au repos** ⇨ frottement statique
  Exemples : bloc au repos sur plan incliné,
- **Corps en mouvement** ⇨ frottement cinétique
  Exemples : bloc en mouvement sur plan incliné, air sur voiture en mouvement, etc.

Le frottement : frottement statique

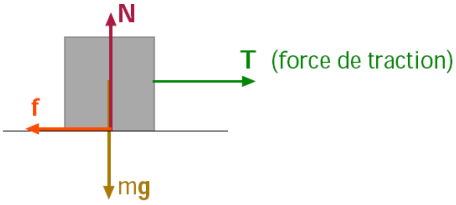
- Soit un bloc au repos sur une surface horizontale *(Tab)*



- Force de traction **T** et bloc au repos : $\sum \text{Forces exercées sur le bloc} = 0$
  Selon la verticale : **N** = - m **g**
  Selon l'horizontale : **f** = $\mathbf{f_s}$ = - **T**, mais
- il existe une valeur maximale de f_s : $f_s(\max) = \mu_s N$ scalaires
- μ_s est appelé le *coefficient de frottement statique*,
  il dépend de la nature des deux surfaces en contact
- $\mu_s < 1$ (presque toujours)

Le frottement : frottement cinétique

- Que se passe t'il si la force de traction met le bloc en mouvement ?



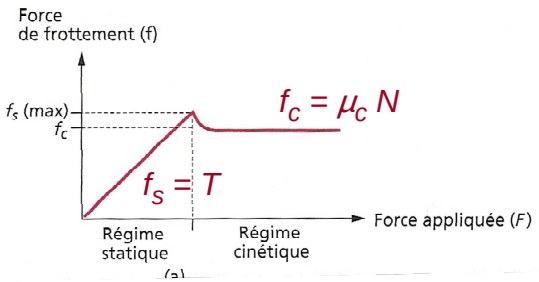
- Force de traction **T** et bloc en mouvement :
  N = - m **g**

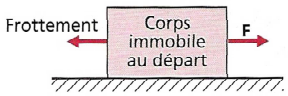
$$f = f_c = \mu_c N$$

- μ_c est appelé le *coefficient de frottement cinétique*,
- Il dépend de la nature des deux surfaces en contact, mais est pratiquement indépendant de la vitesse de glissement relative entre les 2 corps en contact.

Les frottements statique et cinétique : propriétés

- Les forces de frottement sont toujours proportionnelles à la force normale N (liée au poids)
- $f_c < f_s \Rightarrow \mu_c < \mu_s$
- Représentation graphique *(Tab)*





Les frottements statique et cinétique

- **Quelques valeurs de μ_c et μ_s :**
- Dépendent de la nature de l'objet qui glisse
- Dépendant de la nature de la surface sur laquelle l'objet glisse

TABLEAU 5.3 Coefficients de frottement

Matériaux	μ_s	μ_c
Acier sur glace	0,1	0,05
Acier sur acier - sec	0,6	0,4
Acier sur acier - graissé	0,1	0,05
Corde sur bois	0,5	0,3
Téflon sur acier	0,04	0,04
Chaussure sur glace	0,1	0,05
Bottes de montagne sur rocher	1,0	0,8
Semelles de cuir sur tapis	0,6	0,5
Semelles de cuir sur bois	0,3	0,2
Semelles de caoutchouc sur bois	0,9	0,7
Pneus de voiture sur béton sec	1,0	0,7-0,8
Pneus de voiture sur béton mouillé	0,7	0,5
Pneus de voiture sur béton verglacé	0,3	0,02
Caoutchouc sur asphalte	0,60	0,40
Téflon sur téflon	0,04	0,04
Bois sur bois	0,5	0,3
Glace sur glace	0,05-0,15	0,02
Verre sur verre	0,9	0,4

* La première colonne donne la valeur approchée du coefficient de frottement statique. La seconde colonne donne la valeur du coefficient de frottement cinétique qui sera discuté dans la suite.

Questions pour réfléchir

- Lorsqu'une voiture percute un camion , la décélération de la voiture est beaucoup plus grande que celle du camion. Pourquoi ?
- Que vaut la somme des forces qui agissent sur une voiture en mouvement circulaire uniforme ?
- A partir du principe d'inertie, expliquer le rôle des ceintures de sécurité ?
- Pourquoi les fusées continuent-elles leur mouvement alors que les moteurs sont coupés ?
- Supposons que vous soyez transporté sur une planète dont la masse est 4 fois plus grande que la masse de la Terre et le diamètre double. Que devient votre poids ? Et votre masse ?

Problèmes

Août 2012 *L. Dreesen*

Comment résoudre un problème de dynamique ?

1. Pour chaque objet : schéma précis avec forces agissant sur cet objet
2. Choix du système d'axes (orthonormés)
3. Appliquer la seconde loi de newton $\Sigma \mathbf{F}_i = m\,\mathbf{a}$ à chaque objet séparément

   Application aux composantes

   $\Sigma \mathbf{F}_{ix} = m\,\mathbf{a}_x$

   $\Sigma \mathbf{F}_{iy} = m\,\mathbf{a}_x$

   $\Sigma \mathbf{F}_{iz} = m\,\mathbf{a}_x$
3. Résoudre de manière symbolique puis substituer les valeurs numériques
4. Associer les unités aux valeurs numériques pour vérifier que la réponse finale possède bien les dimensions adéquates
5. S'interroger sur le sens physique du résultat. La réponse est t'elle plausible ? Signe correct ? Ordre de grandeur valable ?

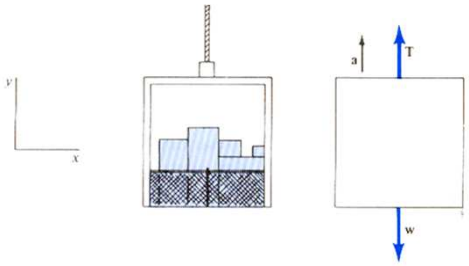
Problème 1 : tension dans un câble

Que vaut la tension dans le cable ?

$$\sum \mathbf{F} = m.\,\mathbf{a}$$

$$T - \underbrace{w}_{mg} = m.a_y$$

$$T = m\left(g + a_y\right)$$



$$a_y > 0 \longrightarrow T > w$$

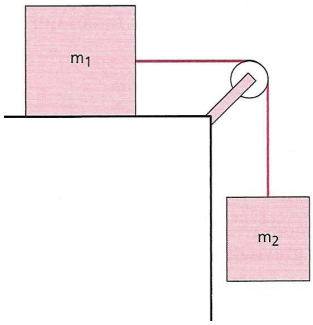
$$a_y < 0 \longrightarrow T < w$$

$$a_y = -g \longrightarrow T = 0$$

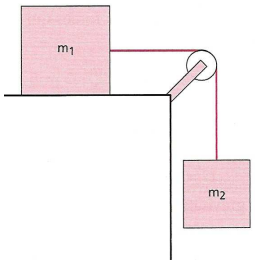
Problème 2 : les blocs et la poulie

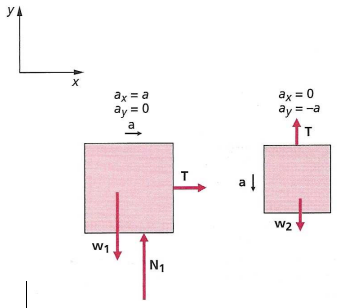
- Un bloc de masse m_1 de 20 kg est libre de se mouvoir le long d'une surface horizontale. Une corde qui passe par la gorge d'une poulie le relie à un second bloc de masse m_2 de 10 kg. Ce bloc est en suspension verticale. Supposons que la corde et la poulie ont des masses négligeables et qu'il n'y a pas de frottement. Déterminer

1. les forces qui s'exercent sur les blocs ;
2. leurs accélérations.



Problème 2 : les blocs et la poulie





bloc 1 : selon y $\rightarrow$ $N_1 = w_1 = m_1 g$

selon x $\rightarrow$ $T = m_1 a$

bloc 2 : selon y $\rightarrow$ $T - \underbrace{w_2}_{m_2 g} = -m_2 a$

$m_1 a - m_2 g = -m_2 a \quad \rightarrow \quad a = \dfrac{m_2}{m_1 + m_2} g$

$T = m_1 a \quad \rightarrow \quad T = \dfrac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$