Diapos réalisées par Jérôme Kasparian

Dynamique

Décrire la cause des mouvements :
les forces

Kane chapitres 3, 4 ; Hecht chapitres 5 – 7

Répétitoire de cet après-midi

Lieux

- Auditoires Muller et Franceschetti
- Salle S1-S2

- Répartissez-vous
- Asseyez-vous, nous venons vers vous
- Venez échelonnés
- Travaillez ensemble, nous vous répondrons ensemble

Exercice

On s’intéresse à une pierre de curling. On néglige les frottements sur la glace. Si on ne la touche pas :

A. Si la pierre est immobile, elle restera immobile
B. Si la pierre est en mouvement, elle va s’arrêter
C. Si la pierre est en mouvement, elle va continuer tout droit

La pierre est en mouvement.

Je vais devoir faire un effort :

D. Pour l’arrêter
E. Pour l’accélérer
F. Pour la dévier

Première loi de Newton

Si on n'y touche pas :

- Un objet immobile reste immobile
- Un objet en mouvement continue « sur son élan »
  Vitesse constante : même direction, même norme = Accélération nulle

Pas d'action = pas d'accélération

2ème loi de Newton – Notion de force

Une action mécanique sur un objet lui impose une accélération
= un changement de vitesse (**direction** et/ou **norme**)

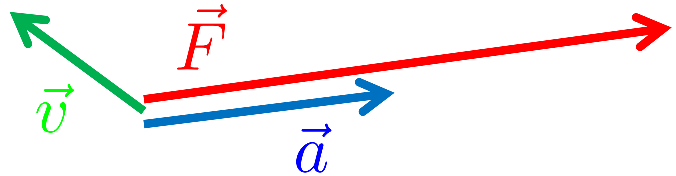
On nomme cette action une ***force.*** Unité : Newton (N) = kg.m.s^{-2}

Le vecteur accélération est proportionnel au vecteur force :

- de même direction et même sens
- proportionnelle en norme

Coefficient de proportionnalité positif : la *masse m [kg]*.

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



L'effet (accélération) est proportionnel à la cause (force)

m caractérise la quantité de matière à accélérer

m : inertie de l'objet = sa résistance à la mise en mouvement

Exercice

Une force est nécessaire pour :

A. Mettre un objet en mouvement
B. Maintenir le mouvement d'un objet
C. Dévier le mouvement d'un objet
D. Freiner un objet

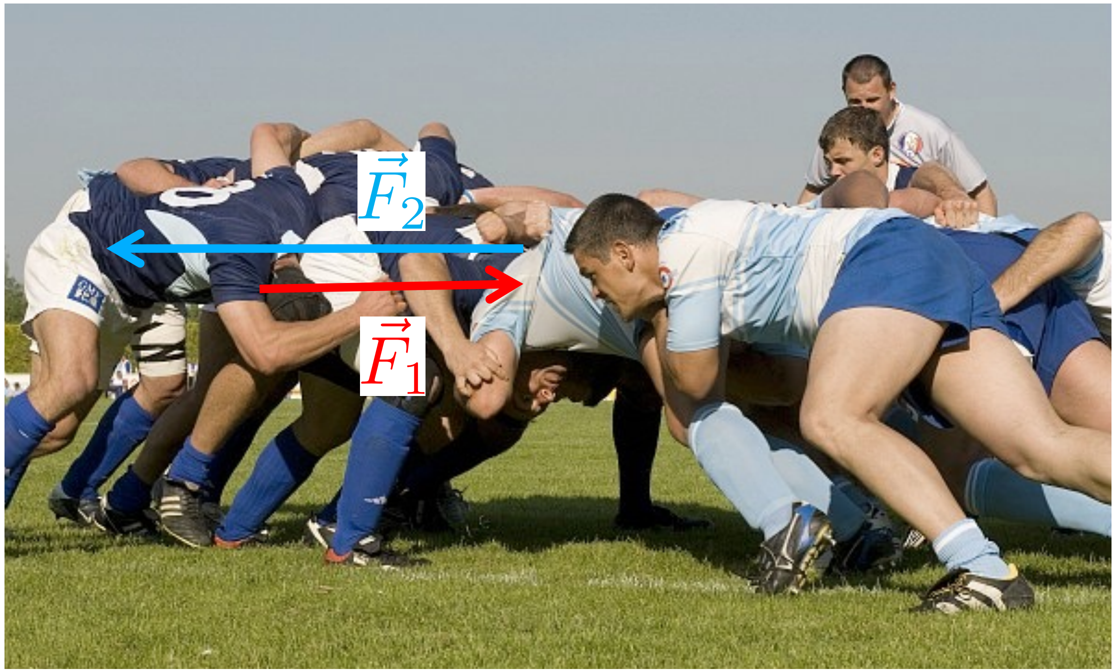
Plusieurs forces

Les effets de plusieurs forces exercées *sur un objet* s'ajoutent :

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

Somme vectorielle !

Cas particulier : 1ère loi de Newton $\sum \vec{F} = \vec{0} \implies \vec{a} = \vec{0}$



Le rugbyman reste immobile

Il se met en mouvement si

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

Exercice

Une cycliste exerce un effort constant (= une force constante) pour maintenir une vitesse constante.

A. L'accélération est nulle
B. L'accélération est constante
C. La force exercée par la cycliste est nulle
D. La somme des forces exercées sur le vélo est nulle
E. La force exercée par la cycliste compense le frottement
F. Il faut une force pour maintenir le mouvement du vélo
G. La $1^{ère}$ loi de Newton est vérifiée dans cette situation
H. La $2^{ème}$ loi de Newton est vérifiée dans cette situation

Exercice

Exercice

Que va-t-il se passer quand on brûle la ficelle ?

A. Le chariot de gauche va partir plus vite que le droit

B. Le chariot de gauche va partir moins vite que le droit

C. Les deux chariots vont partir à la même vitesse

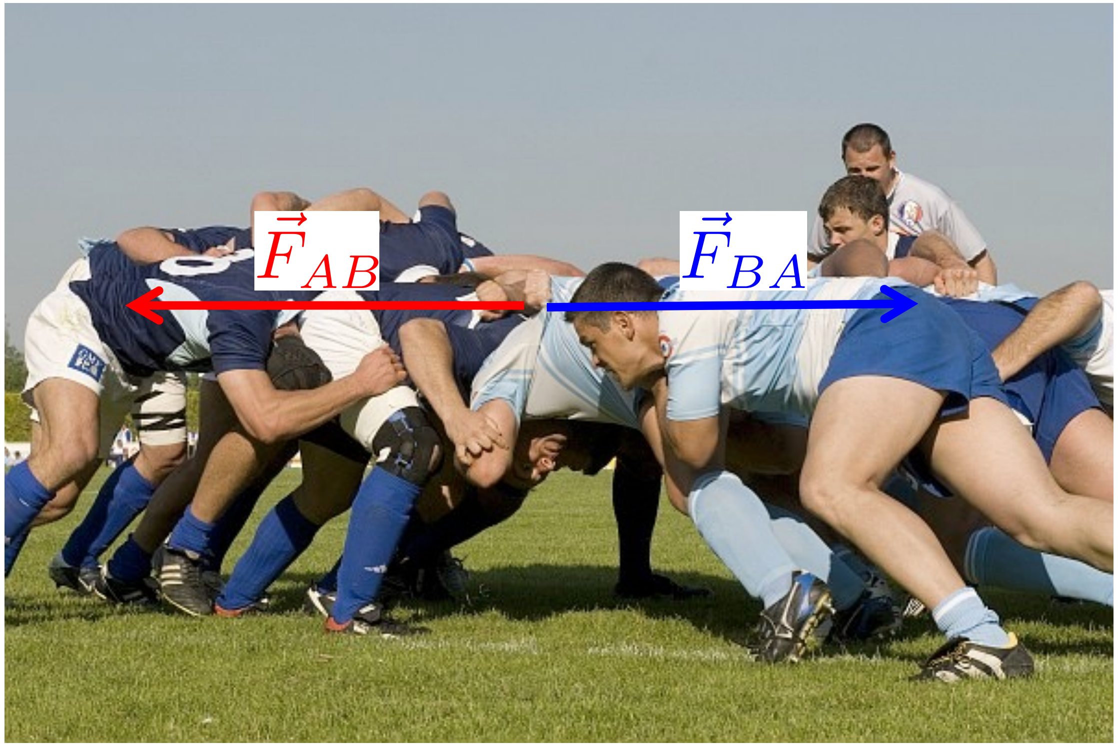
$3^{ème}$ loi de Newton : action et réaction

En chaque point, si un objet A exerce une force $\mathbf{F}_{BA}$ sur un objet B, alors B exerce une force opposée $\mathbf{F}_{AB}$ sur A

$$\boxed{\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}}$$

Attention au sens d'écriture ! $\mathbf{F}_{AB}$: exercée *sur* A *par* B

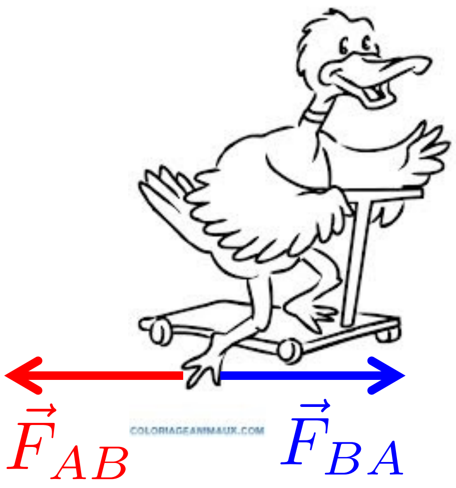
Équipe A

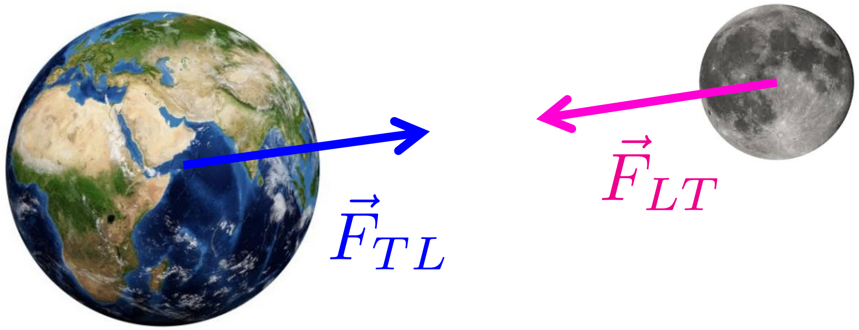


Équipe B

3ème loi de Newton : action et réaction

$3^{ème}$ loi de Newton : action et réaction





Le pied exerce une force sur le sol, vers l'arrière. C'est cette force qui projette des graviers vers l'arrière.
En retour, le sol exerce une force vers l'avant sur le pied… et met en mouvement la trottinette.

La Lune subit la force de gravitation exercée par la Terre, et en réaction la Terre subit la force de gravitation exercée par la Lune (marées).

Transmission des forces

1

1$^{\text{ère}}$ loi de Newton à chaque *objet*,
3$^{\text{ème}}$ loi de Newton à chaque *point d'attache*

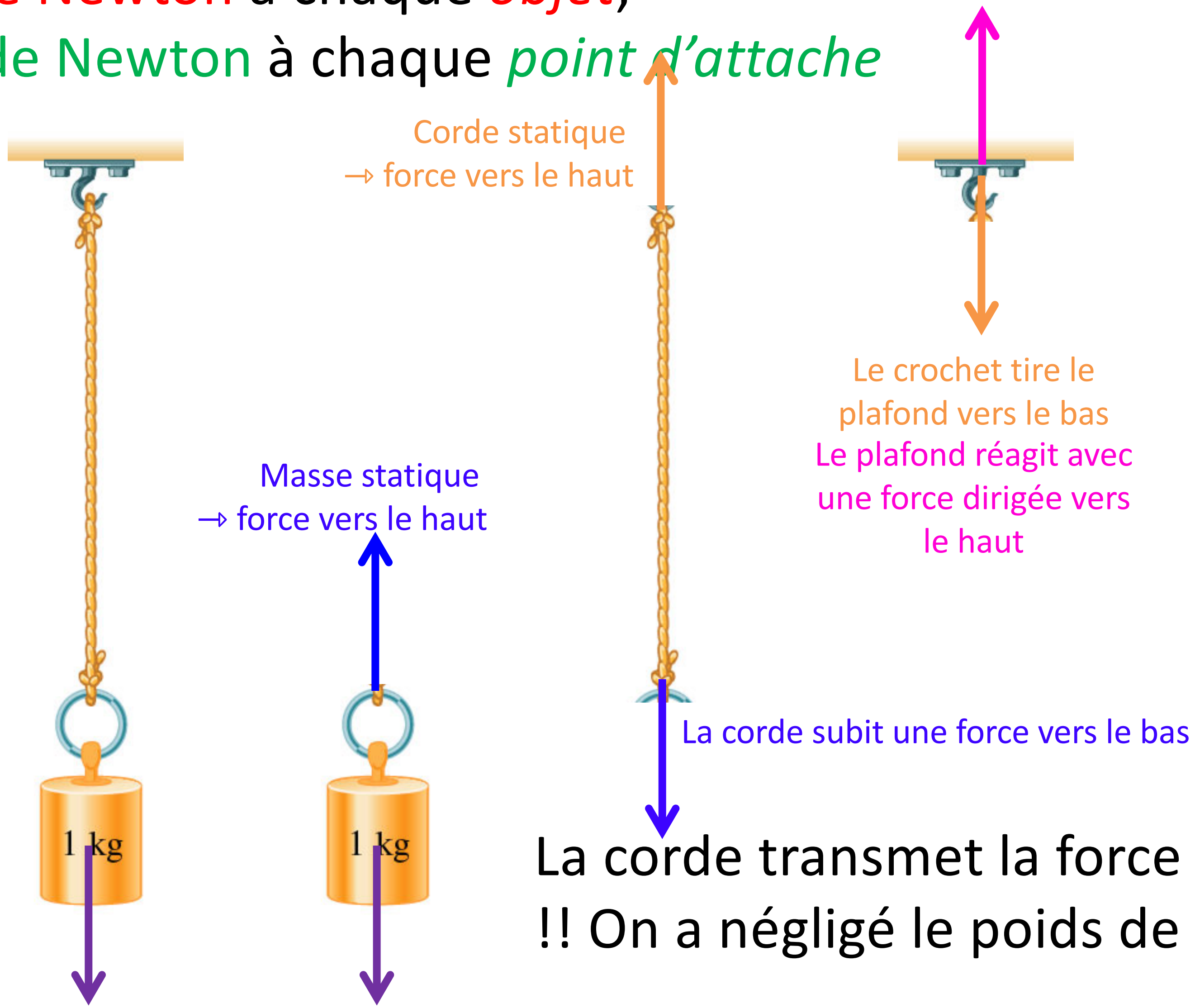
$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

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

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

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

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



etc :
le plafond,
le mur,
le sol…

La corde transmet la force (*tension*)
!! On a négligé le poids de la corde !

Exercice

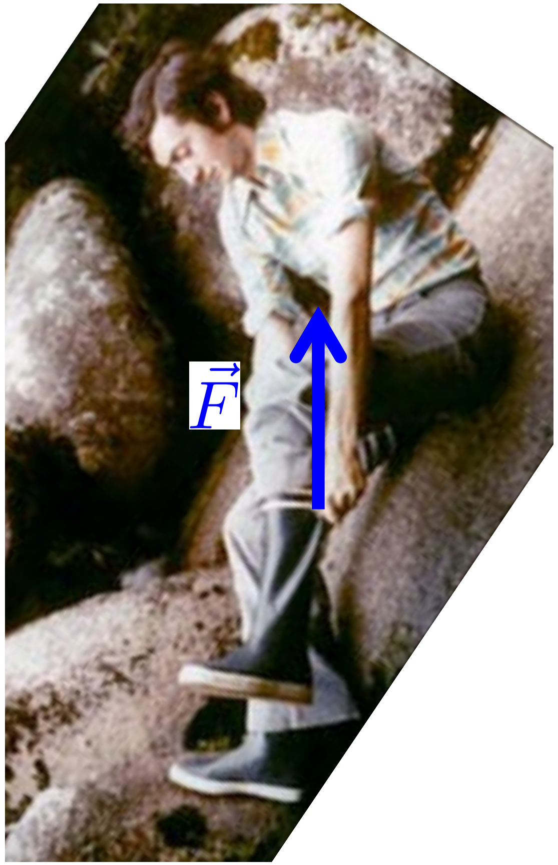
Cyrano de Bergerac affirme qu'il est monté sur la lune en tirant sur ses bottes :

Il a exercé une force vers le haut, qui l'a fait monter.

Vous pouvez faire de même sans superpouvoir, c'est à dire en respectant les lois de la physique :

A. Vrai

B. Faux



Forces extérieures, forces internes

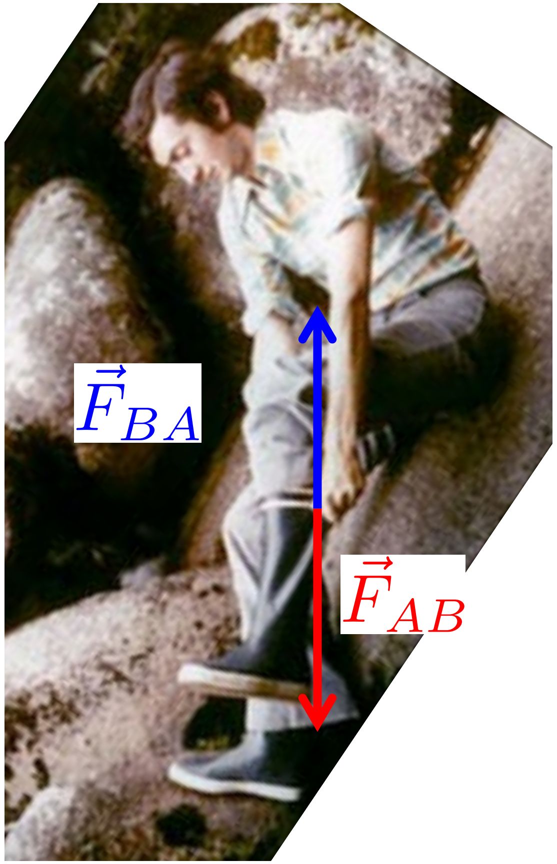
Peut-on comme Cyrano de Bergerac monter sur la lune en tirant sur ses bottes ?

On exerce une force vers le haut, ça devrait marcher…

Mais (3ème loi de Newton), la botte exerce une force vers le bas, de même norme.

Donc, l'ensemble de Cyrano + sa botte subit une force totale $\vec{F}_{AB} + \vec{F}_{BA} = \vec{0}$

Donc (1ère loi de Newton), *les forces internes n'ont pas d'effet* sur le mouvement de l'ensemble

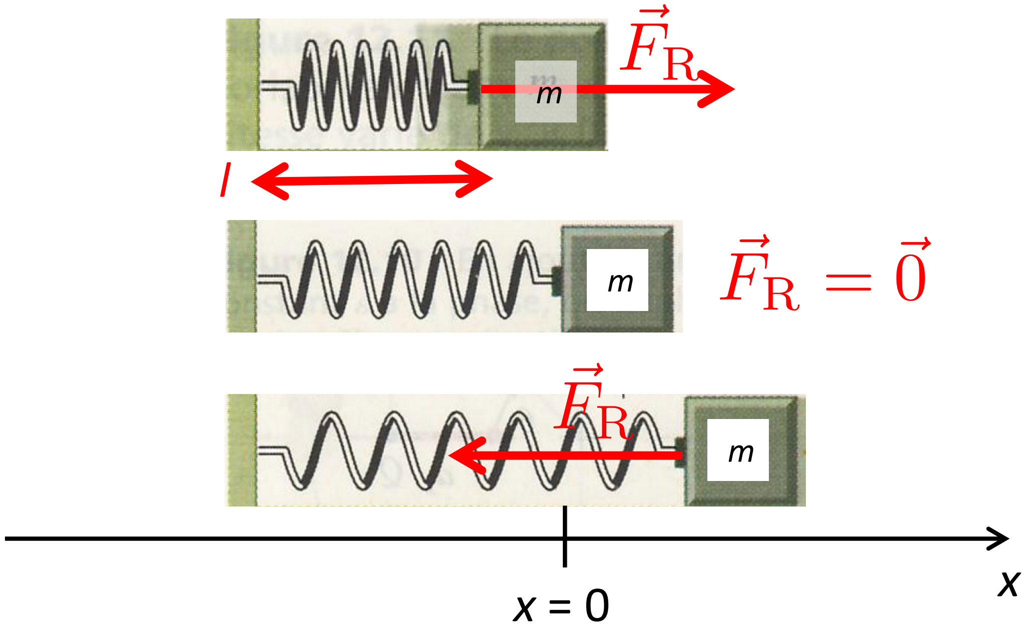


Ressort : force élastique

Le ressort s'oppose à sa déformation en exerçant une *force de rappel*

- qui tend à le ramener à sa position d'équilibre : même direction et sens opposé à la déformation
- de norme proportionnelle à sa déformation $x = l - l_0$

k est la *raideur* du ressort [N/m]



$$\vec{F}_\mathrm{R} = -k\vec{x}$$

Mouvement harmonique

2ème loi de Newton, appliquée à l'objet accroché au ressort

$$F_{\mathrm{R}} = -kx = ma = mx''$$

x : *déformation* du ressort par rapport à la position au repos

$x(t) = A \cos(\omega\, t + \phi)$: oscillation

- amplitude *A*,
- *pulsation* (ou *fréquence angulaire*, par analogie avec le mouvement circulaire) ω

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

- phase ϕ, fixée par la position initiale

Applications : vibrations, mécanismes de régulation, ondes… À suivre !

Cf exercice d'approfondissement

Fréquence et période

$\cos(\alpha + 2\pi) = \cos(\alpha)$: le mouvement du ressort se répète chaque fois que $\omega\, t$ augmente de 2π

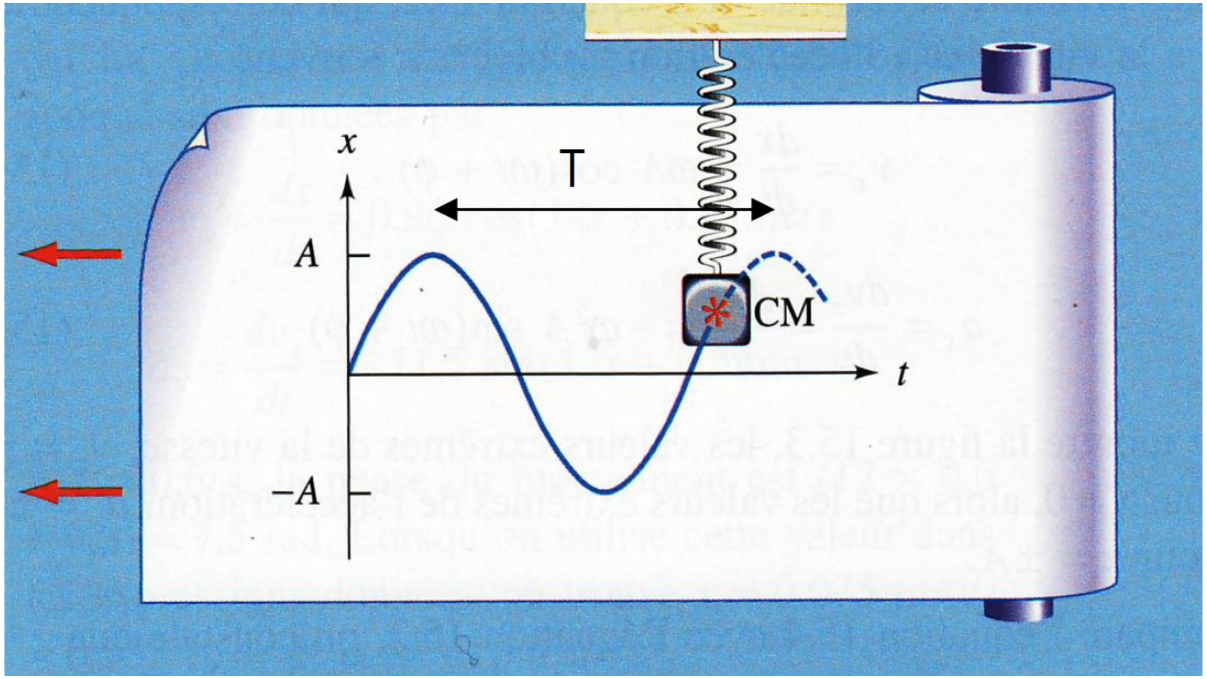
Comme pour une rotation, pour tout mouvement périodique, on définit :

- la période T : temps qu'il faut pour revenir à l'état initial : $\omega T = 2\,\pi$ donc $T = 2\,\pi\,/\,\omega$
- la fréquence f : nombre d'oscillations par unité de temps

  $f = \omega\,/\,2\,\pi = 1/T$,
  c'est à dire $\omega = 2\,\pi\,f$

ω : en radians·s^{-1} ou s^{-1}

Cf rotations !



Exercice

Exercice

Je prends une masse plus lourde :

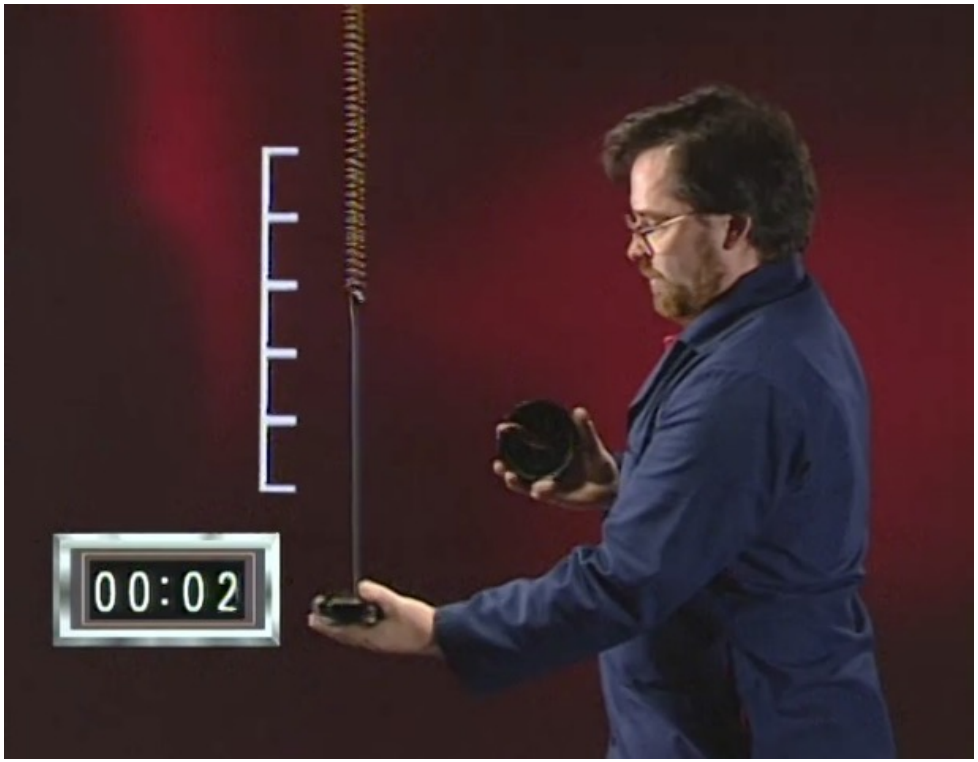
A. La fréquence d’oscillation est plus grande

B. La fréquence d’oscillation est plus faible

Je prends un ressort plus raide

C. L’oscillation est plus rapide

D. L’oscillation est plus lente



Mouvement harmonique

Loi de la gravitation

Deux objets de masses *m* et *M* sont attirés l'un vers l'autre par une force appelée *force gravitationnelle*, notée F_g.

- Orientée sur l'axe qui relie les deux masses
- Force attractive : dirigée vers l'autre masse

- de module : $\boxed{F_g = \frac{GM}{R^2} m}$

G = 6,67 x 10^{-11} N m^2 kg^{-2} est la *constante de gravitation*

On calcule comme si toute la masse de l'objet était concentrée en son centre

Loi de la gravitation : sur Terre

- Masse de la Terre : $M = M_T$ = 5,98 x 10^{24} kg,
- Rayon terrestre : R_T = 6,37 x 10^6 m
- G = 6,67 x 10^{-11} N m^2 kg^{-2}

On définit la pesanteur terrestre g

$$\boxed{g = \frac{GM_T}{R_T^2} = 9,83\ N/kg = 9,83\ m/s^2}$$

À la surface de la Terre (= à une distance R_T de son centre), on a donc $F_g = m\ g = P$. C'est la définition du *poids*.

Si l'on s'éloigne, R augmente, donc g diminue. Exemples

- Pointe Dufour : h = 4'634 m, $R = R_T + h$ = 6,374 x 10^6 m, g_{Dufour} = 9,81 N/kg
- h = 1'000 km, $R = R_T + h$ = 7,37 x 10^6 m, g_{1000km} = 7,3 N/kg

Exercice

Les sportifs vont s’entraîner en altitude parce que les performances sont meilleures grâce à une gravité plus faible.

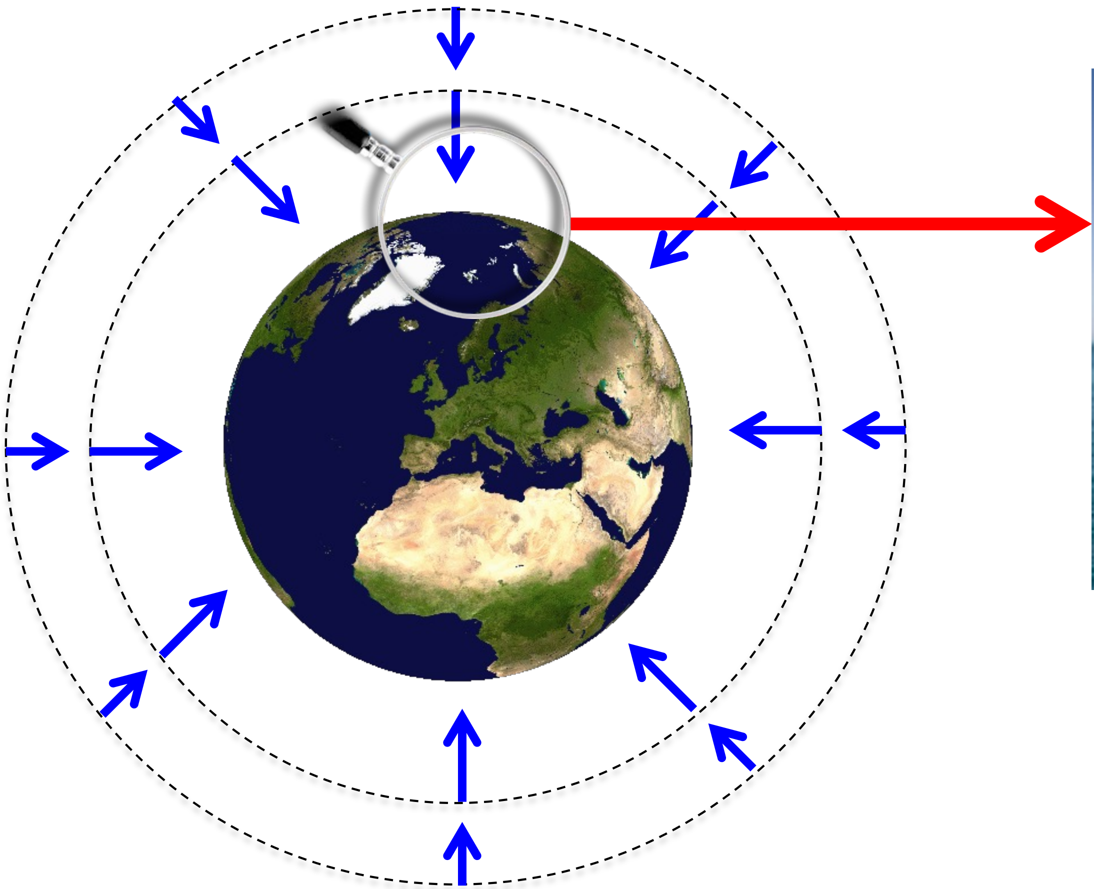
A. Vrai
B. Faux

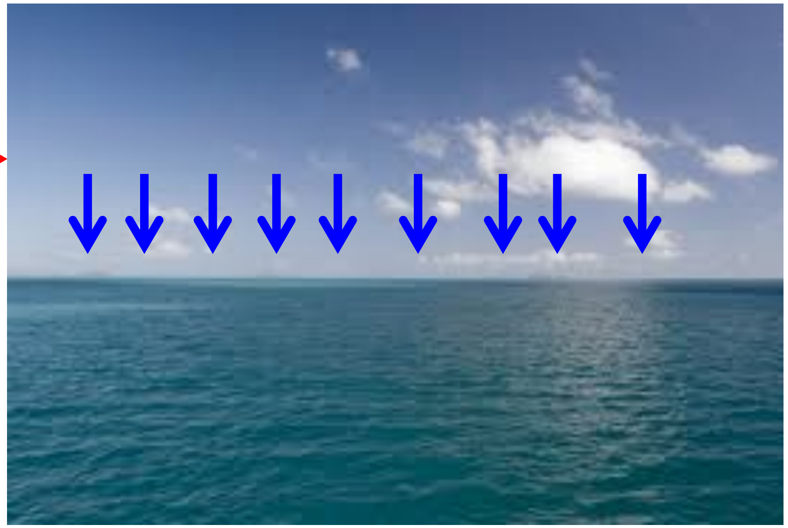
Champ de gravitation

Champ : un vecteur défini en tout point

En chaque point, le poids pointe vers le centre de la Terre

À chaque altitude, son module est constant



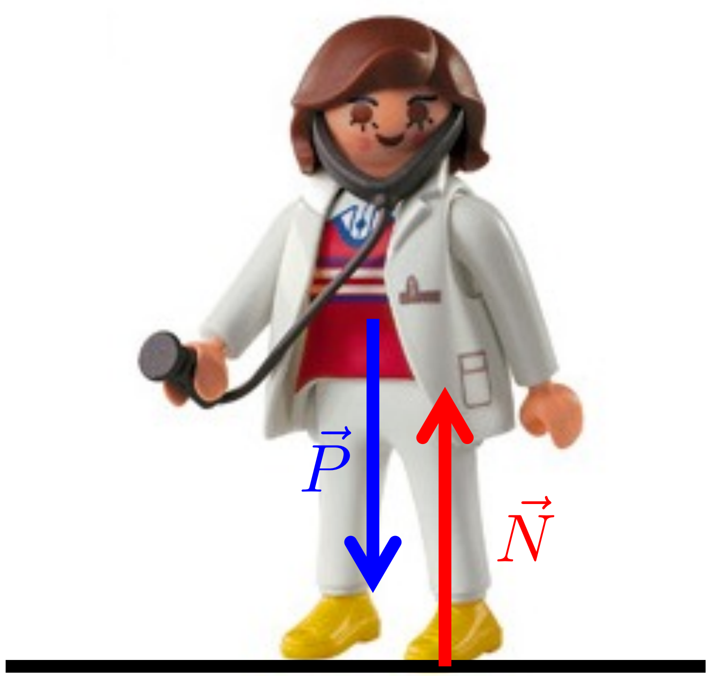


Localement :
courbure négligeable
⇒ champ *uniforme*

Force normale

1ère loi de Newton : Au repos,

$$\sum \vec{F} = \color{blue}{\vec{P}} \color{black}{+} \color{red}{\vec{N}} \color{black}{= \vec{0}}$$



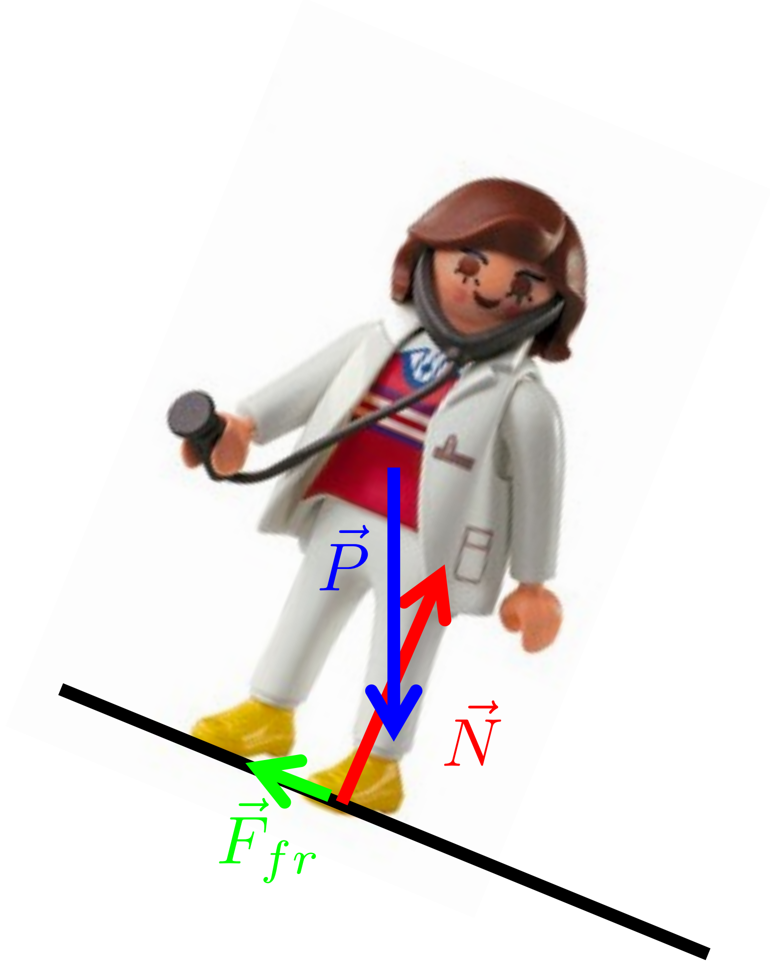
$\vec{N}$: réaction du support, perpendiculaire (= *normale*) à sa surface.

Nous *percevons* notre poids via la force normale

Frottement statique

On incline le support : jusqu'à un certain angle, le personnage ne bouge pas.

1ère loi de Newton : $\sum \vec{F} = \vec{0}$



Il faut une force de frottement, $\vec{F}_{\text{fr}}$ parallèle au support :

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \implies \vec{F}_{\text{fr}} + \vec{P} + \vec{N} = \vec{0}$$

$$\vec{F}_{\text{fr}} = -\vec{P} - \vec{N}$$

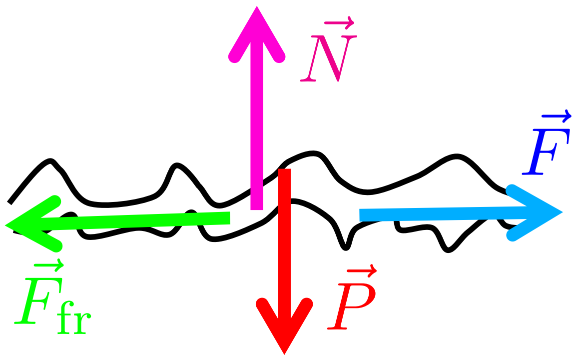
La force de frottement statique *s'ajuste* pour contrebalancer les autres forces…

Origine des forces de frottement

Attraction entre atomes des deux surfaces

Frottement proportionnel à la force normale

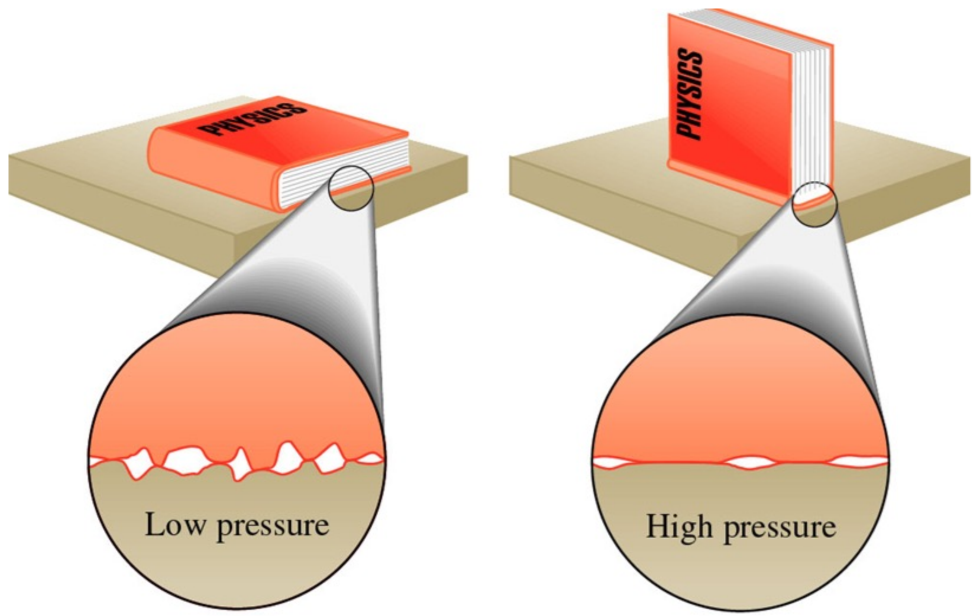
Frottement statique : $F_{fr} \leq F_s^{max} = \mu_s N$



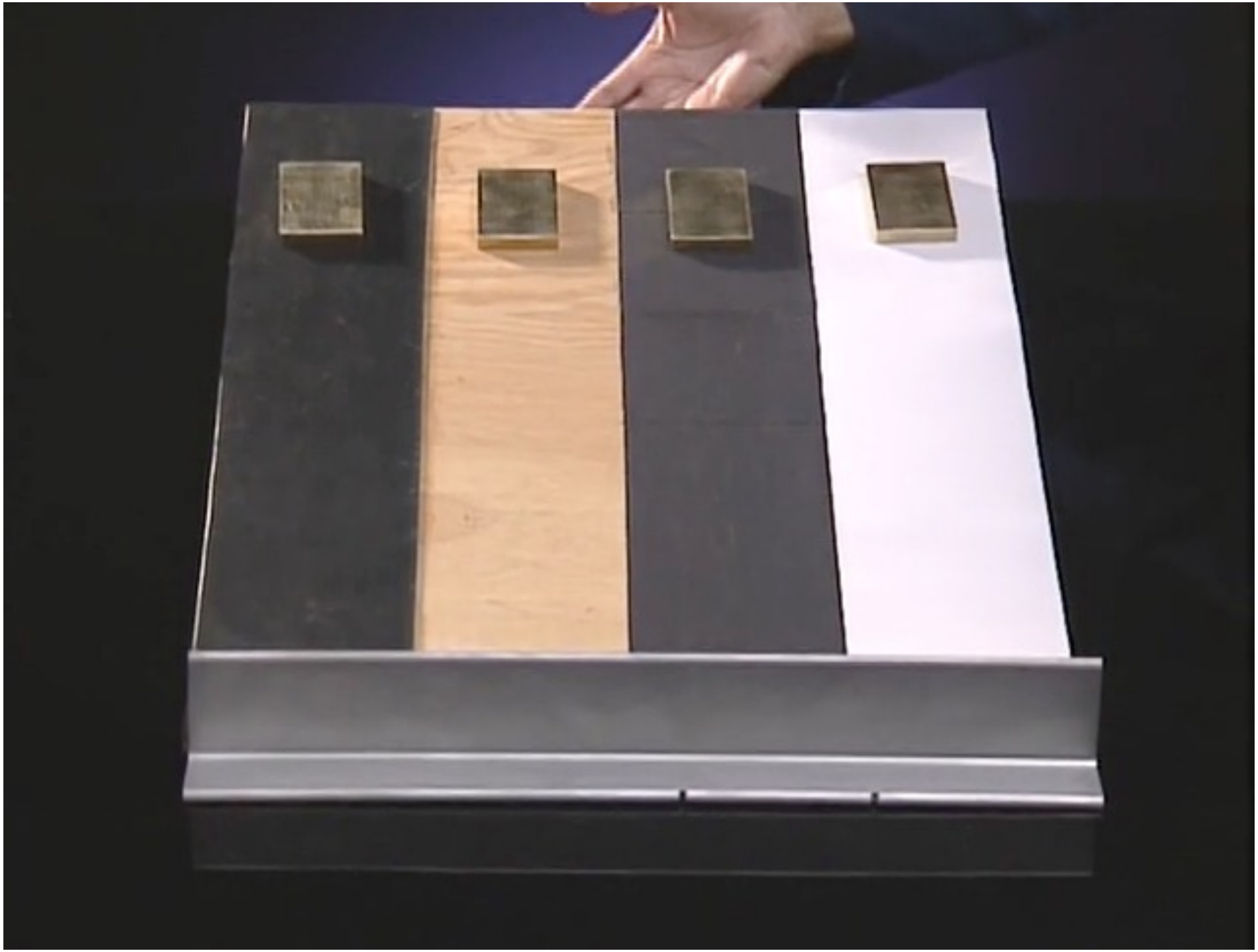
μ caractérise la surface : rugosité, liaisons chimiques…

Augmenter μ :

- Nature chimique en surface
  ex : Sécher le sol, ramasser les peaux de banane…
- Rugosité
  ex : rainurage, crampons…



Limite du frottement statique

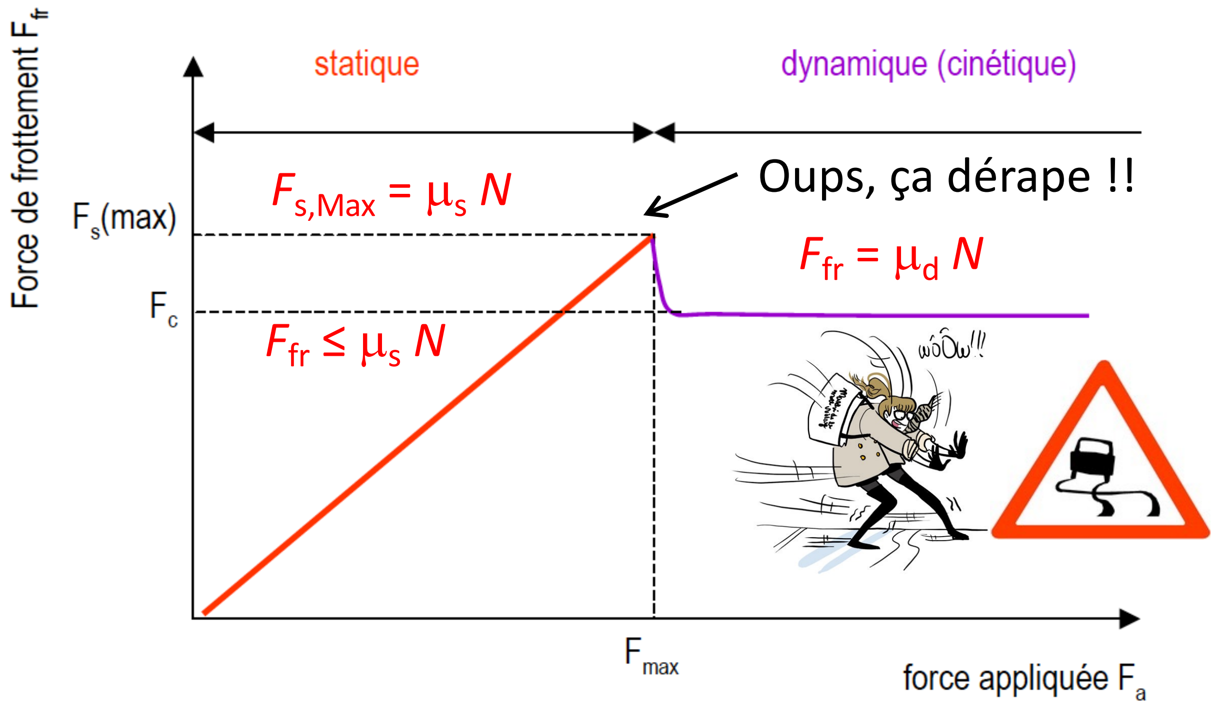


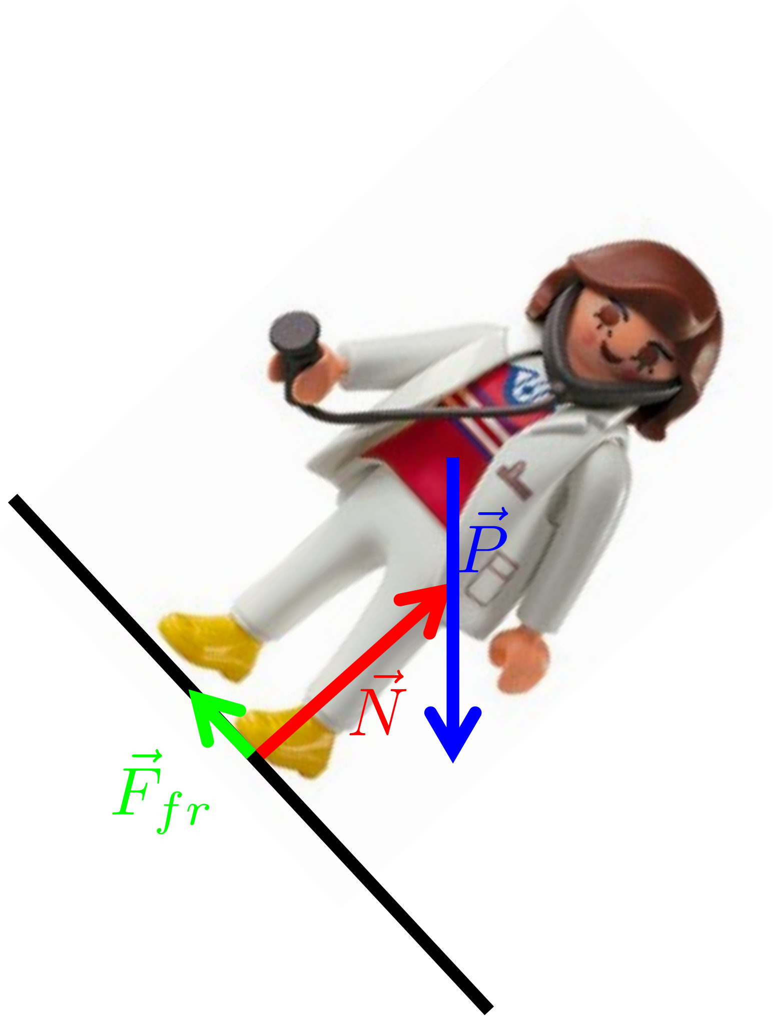
Frottement dynamique

La force de frottement statique s'ajuste pour contrebalancer les autres forces, jusqu'à ce que… ça glisse !

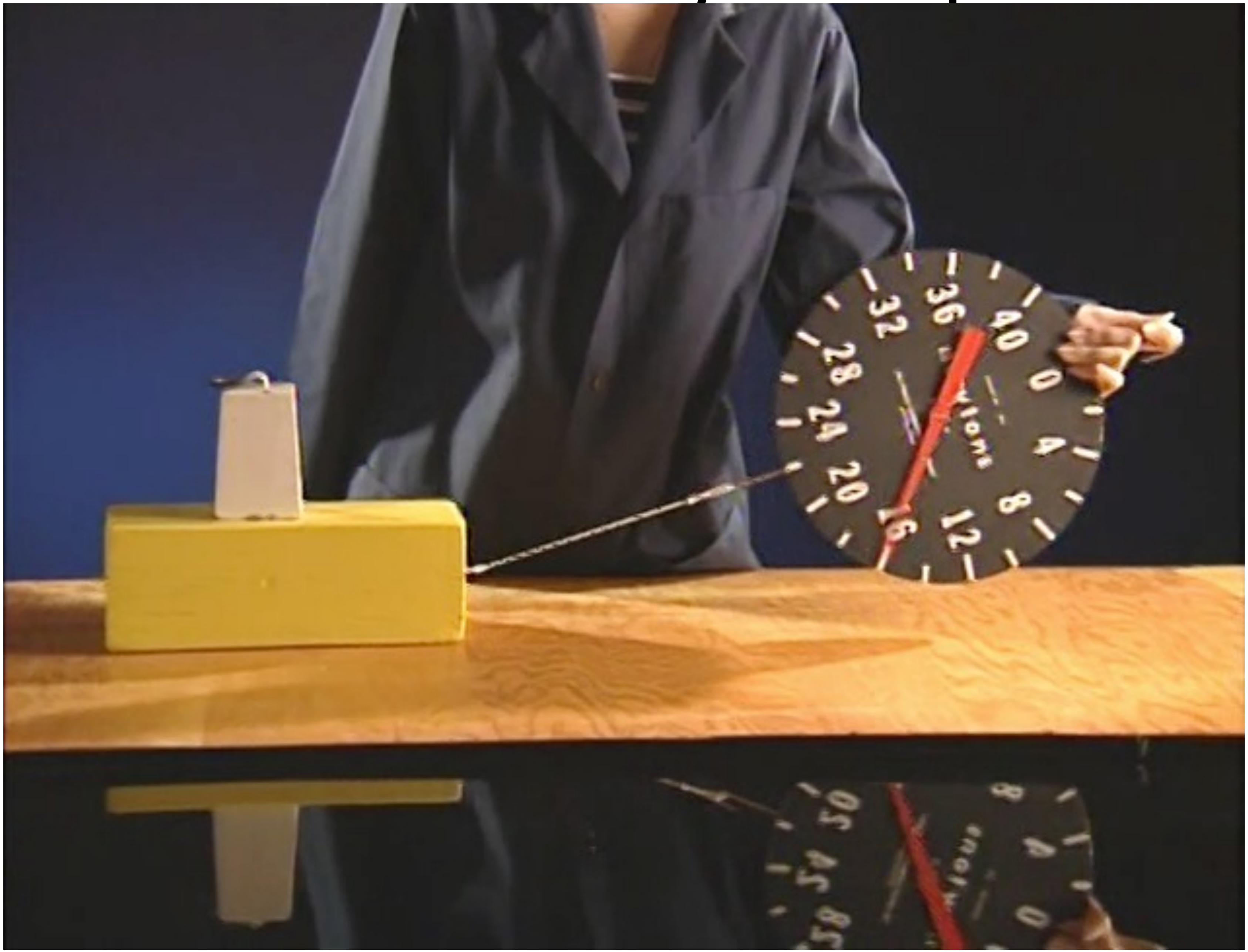
$$\sum \vec{F} \neq \vec{0}$$

F_{fr} a atteint une valeur maximale F_s^{max}, et ne peut plus compenser les autres forces

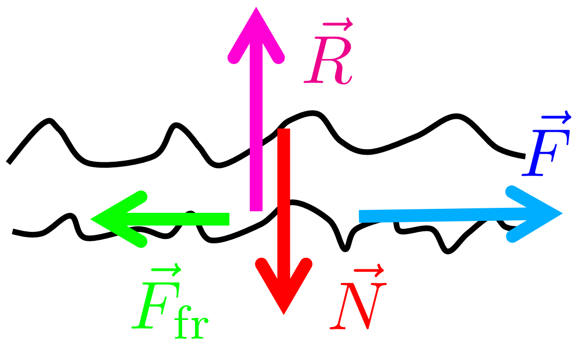




Frottement dynamique



Frottement dynamique



Surfaces « décrochées » : plus éloignées, liaisons détachées… → moins de lien

Frottement dynamique (ou cinématique)

$$F_{fr} = \mu_d N$$

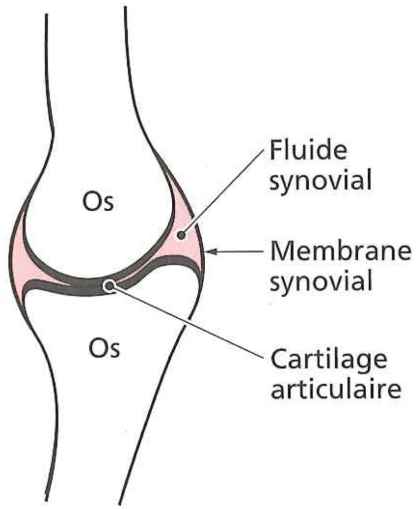
μ caractérise la surface (rugosité, liens…)

Réduire μ :

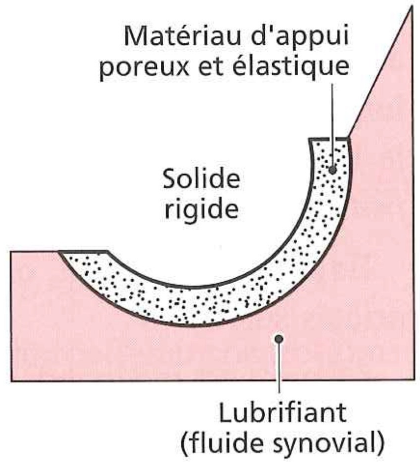
- Lubrifier
- Surface lisse

Exemple : articulation :

cartilage + liquide synovial



(a)



(b)

Exercice

Je pédale sur mon vélo. La force de frottement de la roue arrière sur le sol est dirigée :

A. Vers l’avant

B. Vers l’arrière

Je freine. La force de frottement des
roues sur le sol est dirigé :

C. Vers l’avant

D. Vers l’arrière

Le frottement est utile

Adhérence = frottement statique

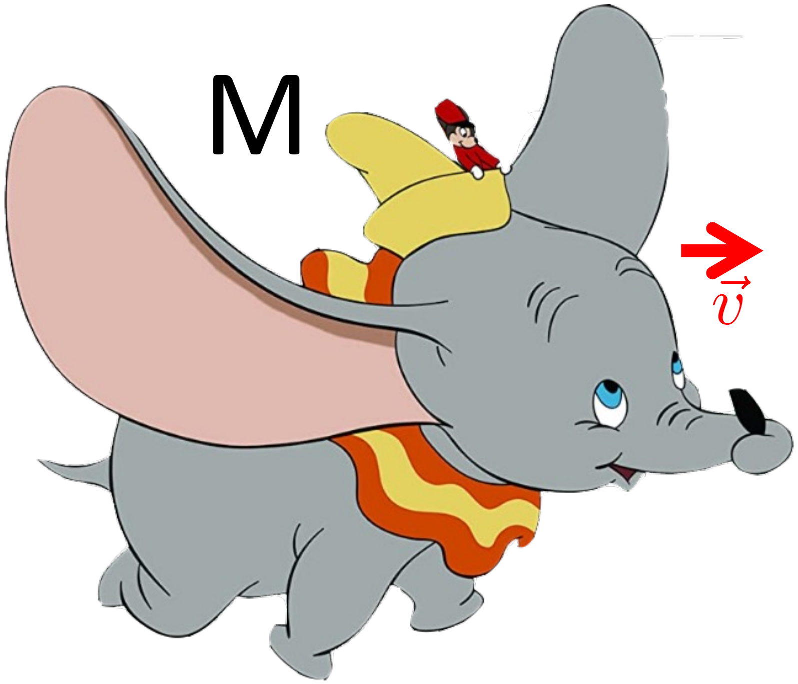
Le pied, la roue poussent le sol vers l'arrière

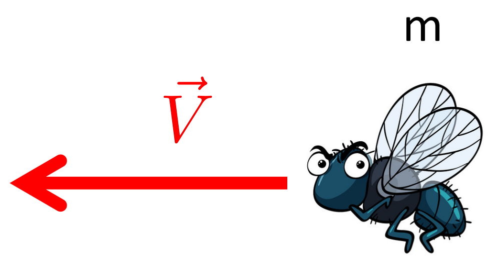
En réaction (3ème loi de Newton), le frottement statique « pousse » le scout ou le vélo vers l'avant

$\vec{F}_{\text{pied}\to\text{sol}}$ $\vec{F}_{\text{sol}\to\text{pied}}$

$\vec{F}_{\text{roue}\to\text{sol}}$ $\vec{F}_{\text{sol}\to\text{roue}}$

Exercice





Éléphant volant, *v* petit, *M* grand

Mouche : *V* grand, *m* petit

La mouche se coince dans les rides de l'éléphant

Qui va reculer sous le choc ?

A. La mouche
B. Dumbo l'éléphant
C. Aucun des deux
D. On ne peut pas dire

Quantité de mouvement

L'éléphant a quelque chose en plus que la mouche !

On définit la quantité de mouvement *p* [kg m / s]

$$\boxed{\vec{p} = m\vec{v}}$$

Les quantités de mouvement des parties du système s'additionnent :

$$\vec{p}_{\mathrm{total}} = \sum_i m_i \vec{v}_i$$

2ème loi de Newton : $\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}m\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$

Attention : seulement les forces extérieures au système !!

Si pas de force extérieure (*système isolé*) : p_{total} est conservé

Retour à l'éléphant

Avant le choc : $p_{\text{total}} = p_{\text{éléphant}} + p_{\text{mouche}} = M\,v + m\,V = M\,|v| - m\,|V|$

(on a projeté sur l'axe horizontal orienté vers la droite)

Après le choc, mouche accrochée à l'éléphant :

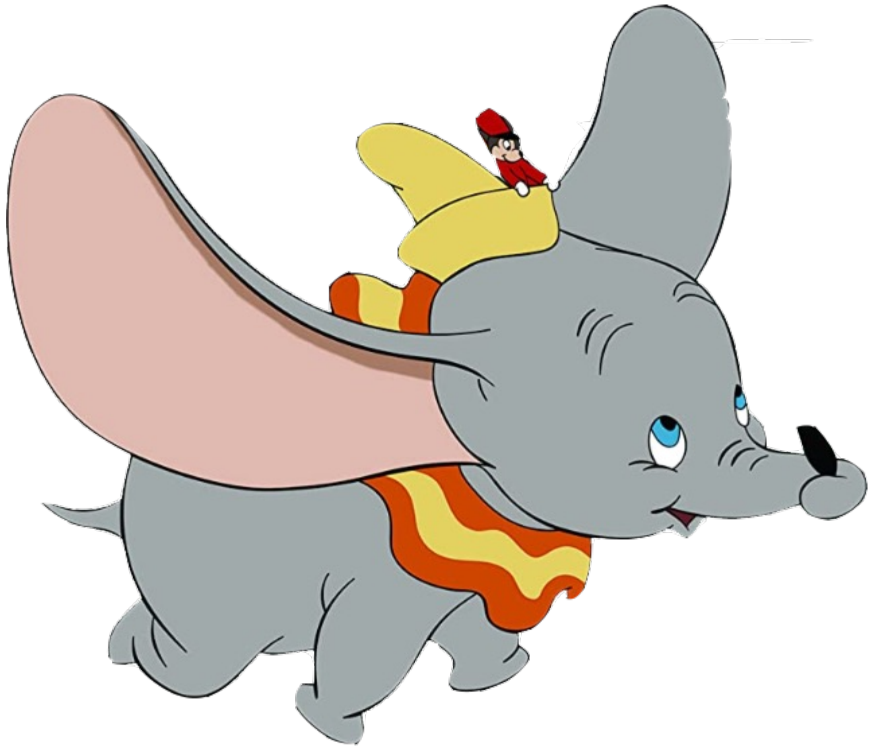
$p_{\text{total}} = (m + M)\,v_{\text{globale}}$

Pas de force extérieure sur l'axe horizontal : p_{total} est conservé

$M\,|v| - m\,|V| = (m + M)\,v_{\text{globale}}$

$$v_{\text{globale}} = \frac{M|v| - m|V|}{m + M}$$

si $M\,|v| > m\,|V|$: la mouche recule



2ème loi de Newton et quantité de mouvement

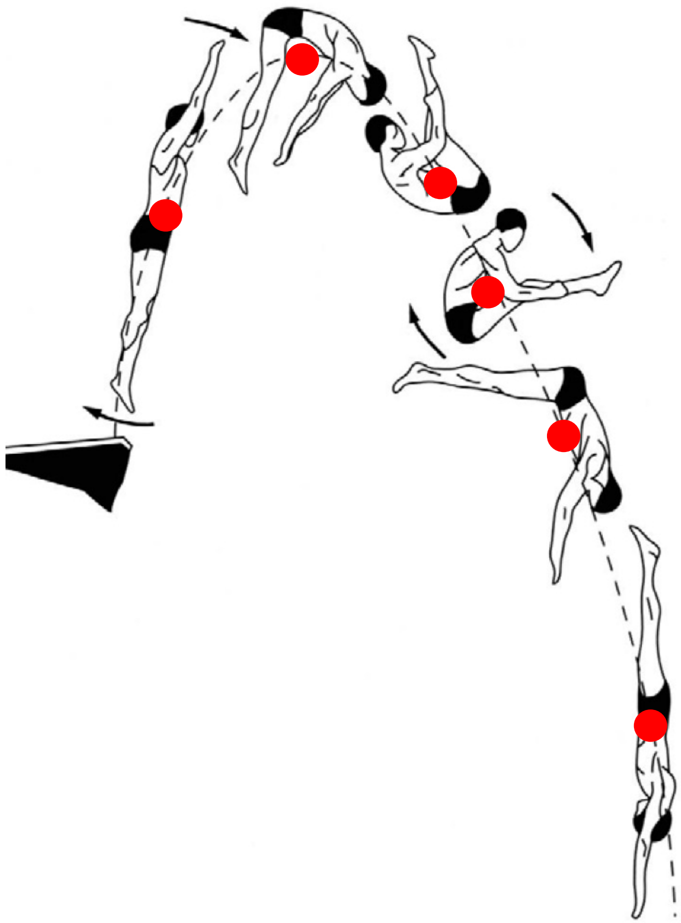
Objet non ponctuel

Centre de masse

Jusqu'ici, on a implicitement supposé que les objets sont ponctuels, et on ne s'est pas préoccupé de savoir où le poids s'applique.

Seul un point du plongeur a une trajectoire parabolique : son *centre de masse*, ou centre de gravité.

De plus, le plongeur a un mouvement de rotation autour de son centre de masse.

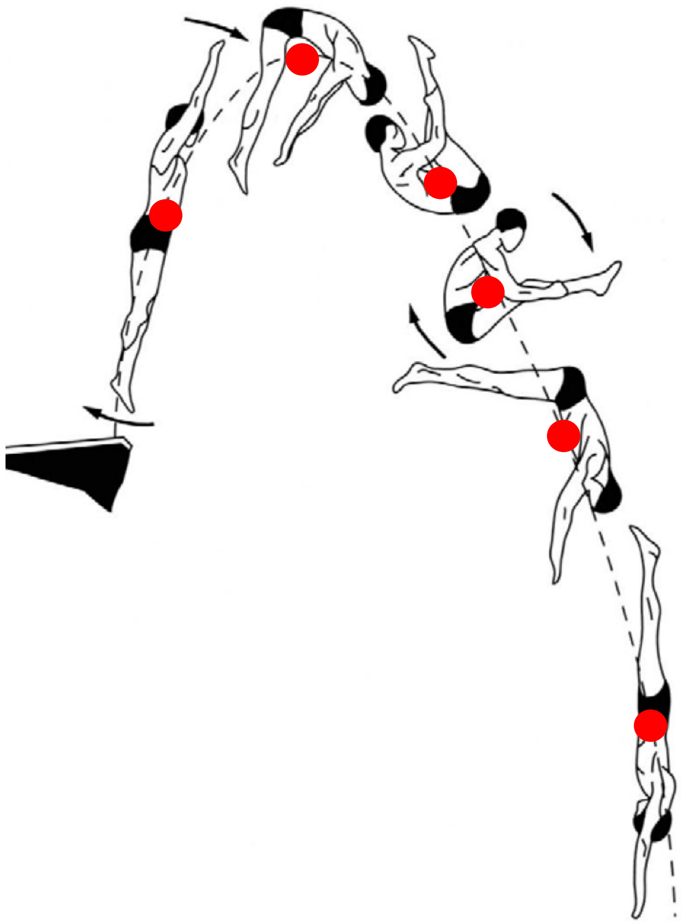


Centre de masse

Généralisation :

Tout mouvement peut se décomposer en :

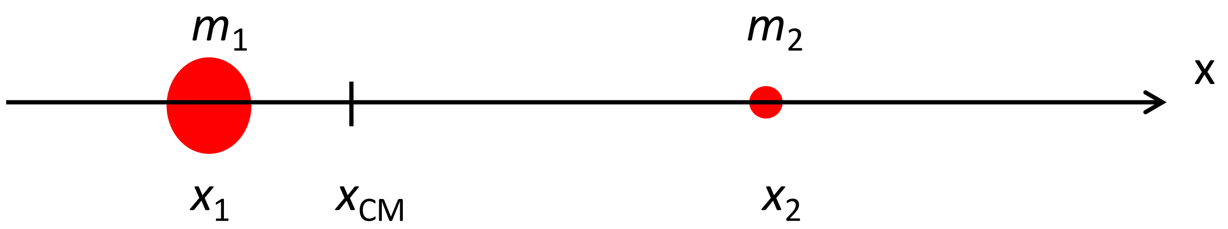
- *un mouvement de translation* d'une masse ponctuelle située au centre de masse
- *un mouvement de rotation* autour du centre de masse (à suivre)



Détermination du centre de masse

2 corps, une dimension :

$$x_{CM} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2}$$



Plus près de la masse la plus lourde.

C'est une « position moyenne » de la masse de l'objet

Centre de masse de *n* corps

On généralise : *n* corps, 3 dimensions :

$\vec{s}$: vecteur position

Pour un corps de volume *V* et de masse *M* :

$$\boxed{\vec{s}_{\mathrm{CM}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{s}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}}$$

C'est une « position moyenne » de la masse de l'objet

Pour une distribution continue :

$$\vec{s}_{\mathrm{CM}} = \frac{\int_V m(v)\vec{s}(v)dv}{\int_V m(v)dv} = \frac{\int_V m(v)\vec{s}(v)dv}{M}$$

Exercice : funambule

Exercice

Le clown est stable sur la corde parce que :

A. Son centre de masse est au-dessus de la corde
B. Son centre de masse est sous la corde
C. Un mécanisme de stabilisation l’aide à aller droit, comme un funambule
D. Il est lancé en équilibre et en l’absence de force latérale il est stable

Exercice : funambule