

FORCES (ET **FROTTEMENT**)

PGC-02

LE FROTTEMENT

L'expérience quotidienne montre qu'en l'absence de force motrice, tout objet en mouvement fini par s'arrêter, en violation apparente de la première loi de Newton.

La deuxième loi nous dit qu'il faut une force pour décélérer le mouvement : c'est la force de frottement.

Il y a deux formes principales de frottements :

- le frottement **cinétique** qui s'oppose à un mouvement déjà établi.
- le frottement **statique** qui empêche un mouvement de démarrer.

L'origine du frottement est l'interaction électromagnétique des atomes qui forment les solides, les liquides et les gaz.

LE FROTTEMENT

STATIQUE ET CINÉTIQUE

$$F_f^{\max} = \mu_s F_N$$

$$F_f = \mu_c F_N$$

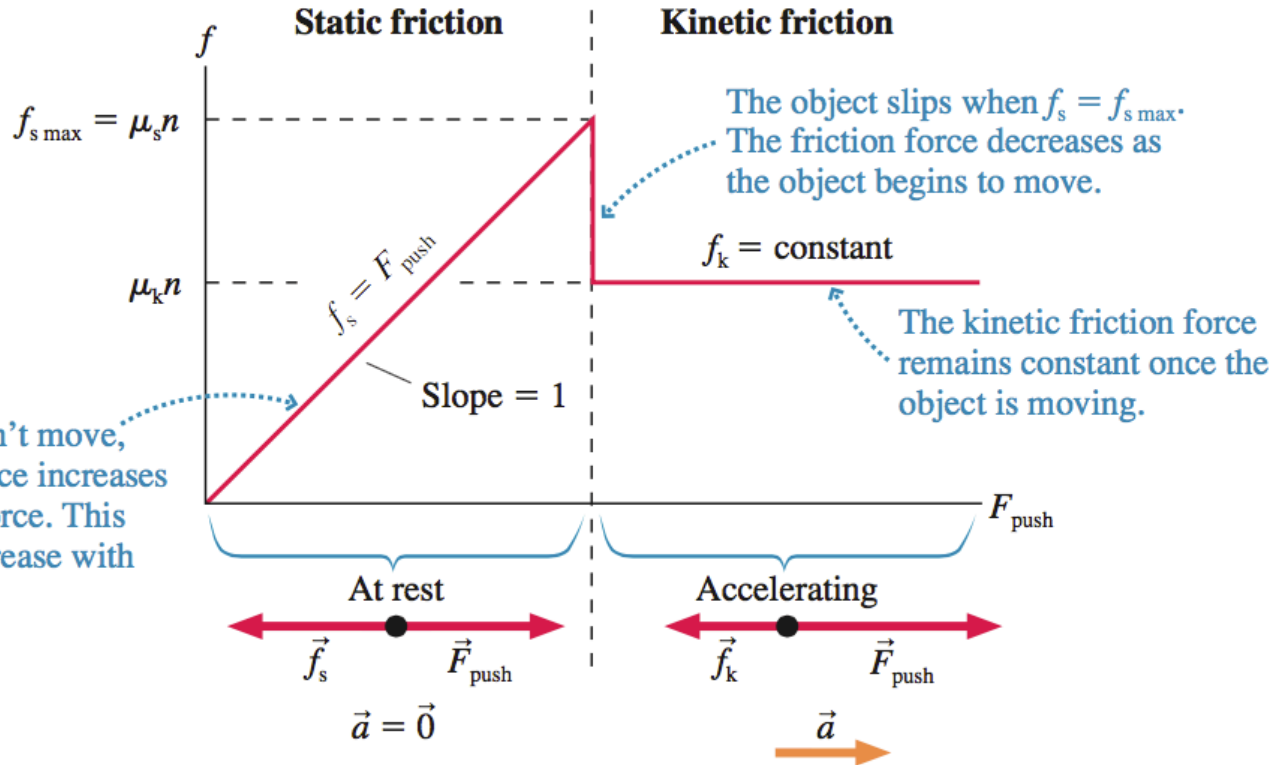
| Matériaux | μ_s | μ_c |
|--------------------------------|---------|---------|
| Acier sur glace | 0.1 | 0.05 |
| Acier sur acier, sec | 0.6 | 0.4 |
| Acier sur acier, lubrifié | 0.1 | 0.05 |
| Bois sur bois | 0.5 | 0.3 |
| Téflon sur acier | 0.04 | 0.04 |
| Chaussures sur glace | 0.1 | 0.05 |
| Bottes de montagne sur rocher | 1.0 | 0.8 |
| Pneus de voiture sur béton sec | 1.0 | 0.7 |
| Caoutchouc sur asphalte | 0.6 | 0.4 |

COEFFICIENTS DE FROTTEMENT

Pour le même objet, le coefficient de frottement cinétique par rapport au coefficient de frottement statique :

- (a) est plus faible ;
- (b) est plus grand ;
- (c) cela dépend de la vitesse de l'objet;
- (d) aucune de ces réponses.

FROTTEMENT ET MOUVEMENT

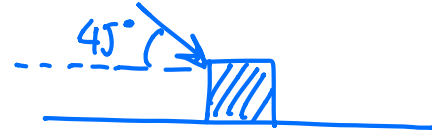


At first the object doesn't move, so the static friction force increases to match the pushing force. This causes the graph to increase with a slope of 1.

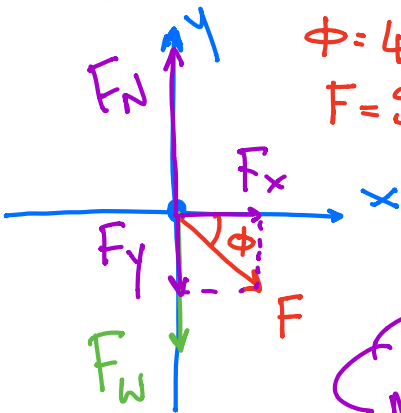
The object slips when $f_s = f_{s \text{ max}}$. The friction force decreases as the object begins to move.

The kinetic friction force remains constant once the object is moving.

BLOC SUR TABLE



Un bloc de bois de 18 kg se trouve sur une table. Une poussée de 90 N est appliquée obliquement, avec un angle de 45° vers le bas par rapport à la surface de la table. Calculez la vitesse du bloc après 10 secondes. On suppose qu'il n'y a pas de frottement et qu'initialement le bloc est au repos. $g = 10 \text{ m/s}^2$



$$\phi = 45^\circ$$

$$F = 90 \text{ N}$$

$$F_w = 180 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_N - F_y - F_w = 0 \Rightarrow F_N = F_y + F_w$$

$$\sum F_x = F_x = ma \Rightarrow a = \frac{F_x}{m}$$

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = at \Rightarrow v = \frac{F_x}{m} \cdot t$$

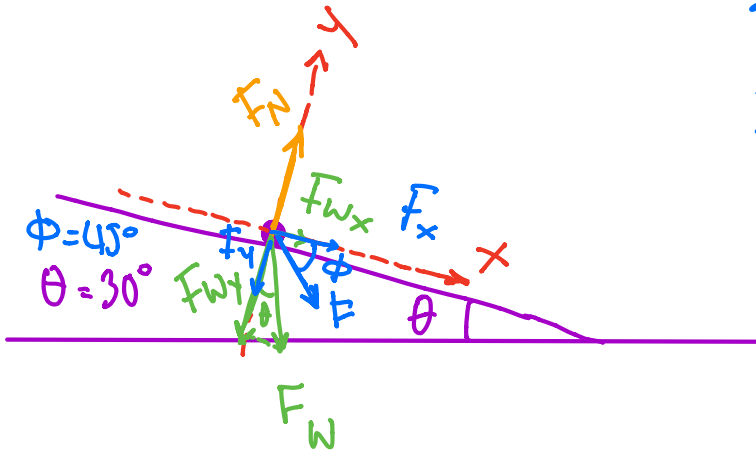
MRUA

BLOC SUR TABLE

On va maintenant incliner la table d'un angle de 30° . Comment la situation change-t-elle?

$$\sum F_y = F_N - F_y - F_{wy} = 0$$

$$\sum F_x = F_x + F_{wx} = ma$$



BLOC SUR TABLE

Pour la suite on va considérer une table réelle, i.e. avec un coefficient de frottement statique de 0.5 et cinétique de 0.3. Comment la situation change-t-elle?

$$\sum F_y = F_N - F_{W_y} - F_y \Rightarrow F_N = F_{W_y} + F_y$$

$$\sum F_x = F_x + F_{W_x} - F_f$$

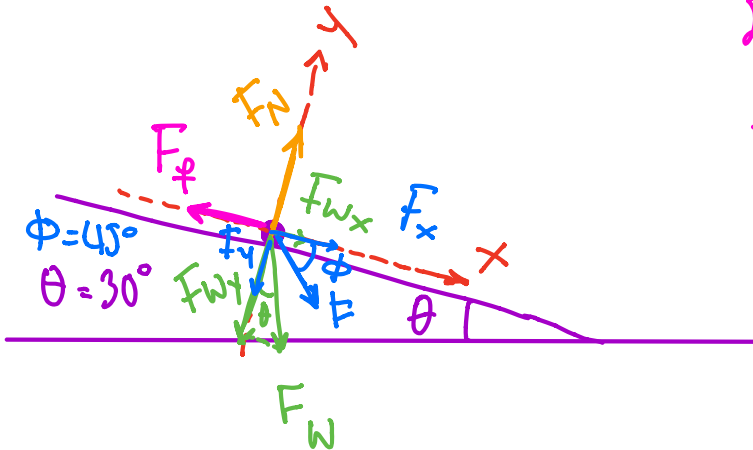
$$F_f^{\max} = \mu_s F_N \quad F_f^c = \mu_c F_N$$

$$F_f^{\max} ? F_x + F_{W_x}$$

$$< \rightsquigarrow F_f = F_f^c$$

$$\Rightarrow \sum F_x = F_x + F_{W_x} - F_f^c = ma$$

$$> \rightsquigarrow \text{statique, } a=0$$



RESUMÉ

- 3 Lois de Newton

1) Inertie

$$\Sigma \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} = \text{constante}$$

2) $\vec{F} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\vec{a}$

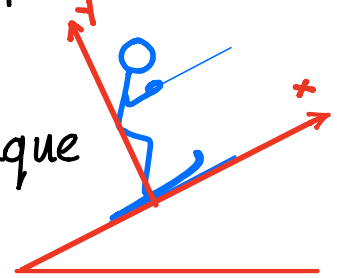
3) Action - Réaction

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

- Diagramme du corps isolé

- Plans inclinés et choix d'un référentiel approprié.

- 2ème loi Newton s'applique dans chaque direction de l'espace.



- Frottement Statique $F_f = \mu_s F_N$

Frottement cinétique $F_f = \mu_c F_N$

$$\mu_s > \mu_c$$

- $\Sigma \vec{F} = 0$: situation statique
condition d'équilibre

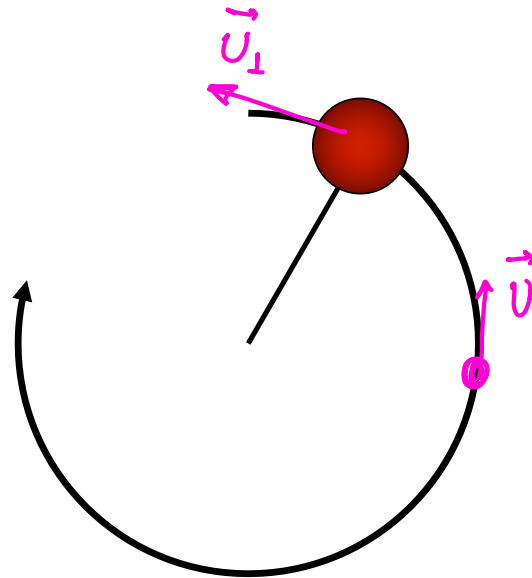
LE MOUVEMENT CURVILIGNE



PGC-03

MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

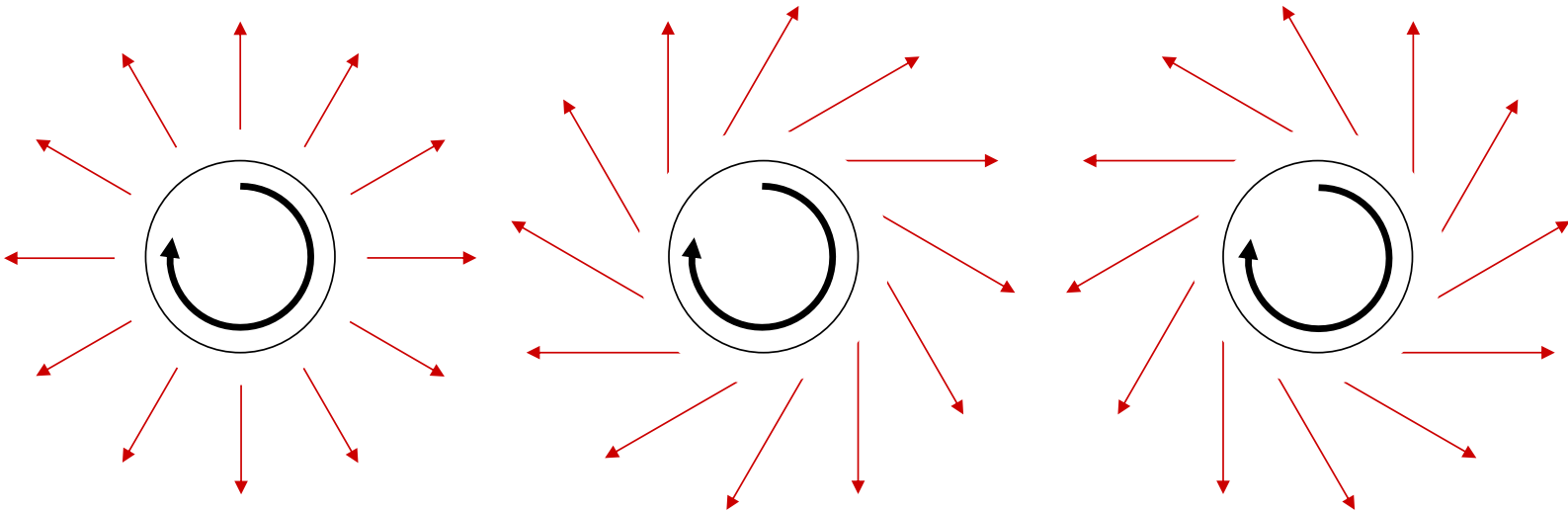
Quelle accélération subit un corps en mouvement circulaire uniforme ?



$\Delta\vec{v} \neq 0$
 \Leftrightarrow il y aura
forcement une
accélération!

MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

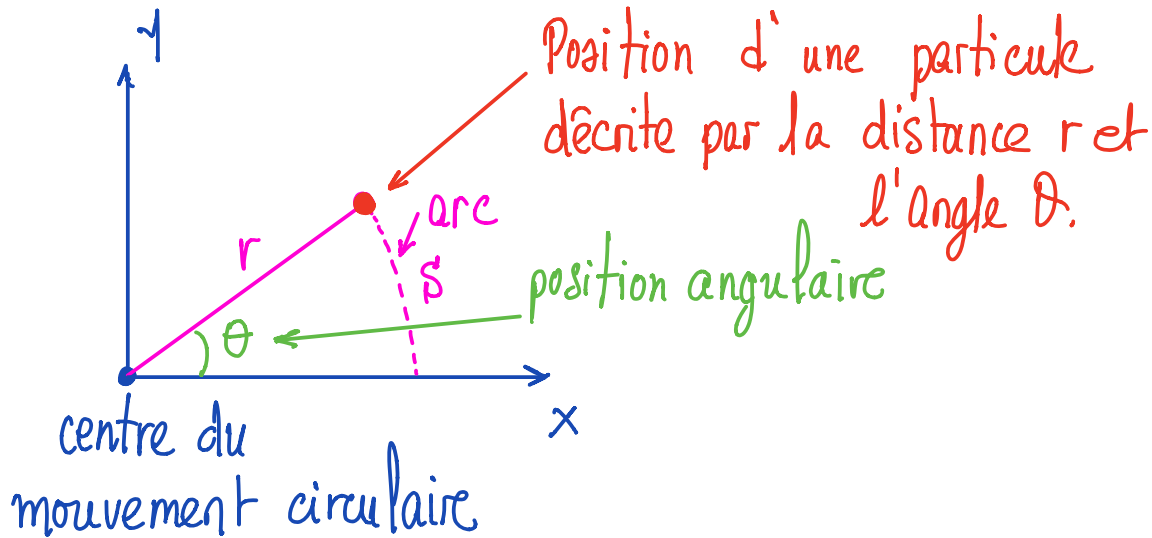
Quelle accélération subit un corps en mouvement circulaire uniforme ?



MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

$$\theta = \frac{s}{r} \quad (\text{radian})$$

$$\theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \quad (\text{rad})$$

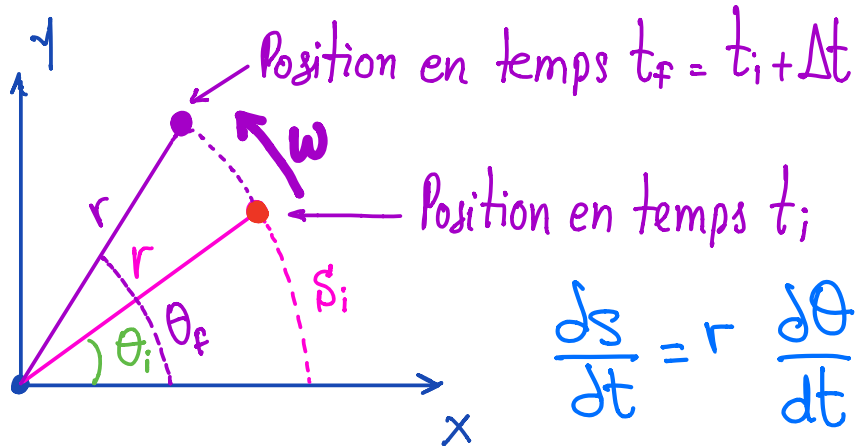


MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

$$\theta = \frac{s}{r} \Rightarrow s = \theta \cdot r$$

$$\Delta s = r \cdot \Delta \theta$$

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = r \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$



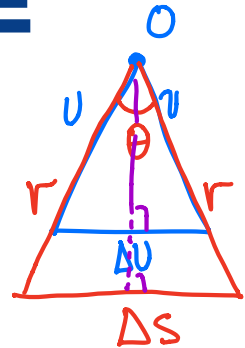
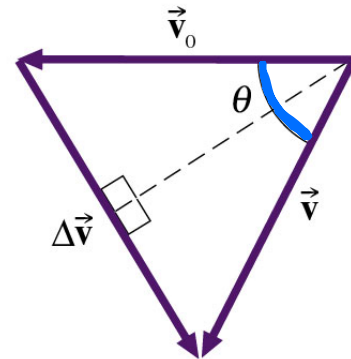
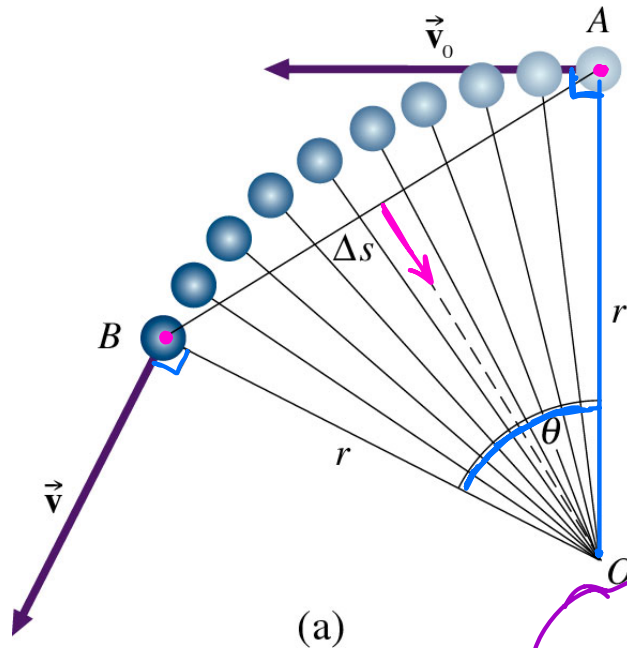
$$\Delta t \rightarrow 0$$

$$\frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt}$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \frac{[\theta]}{[t]}$$

$$v = r \cdot \omega \quad [\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME



$$\frac{\Delta U}{v} = \frac{\Delta s}{r}$$

ACCÉLÉRATION CENTRIPÈTE

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{r} &\Rightarrow \Delta v = \frac{v}{r} \Delta s \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r} \frac{\Delta s}{\Delta t} \\ &\Delta t \rightarrow 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow a = \frac{v}{r} \cdot v \Rightarrow$$

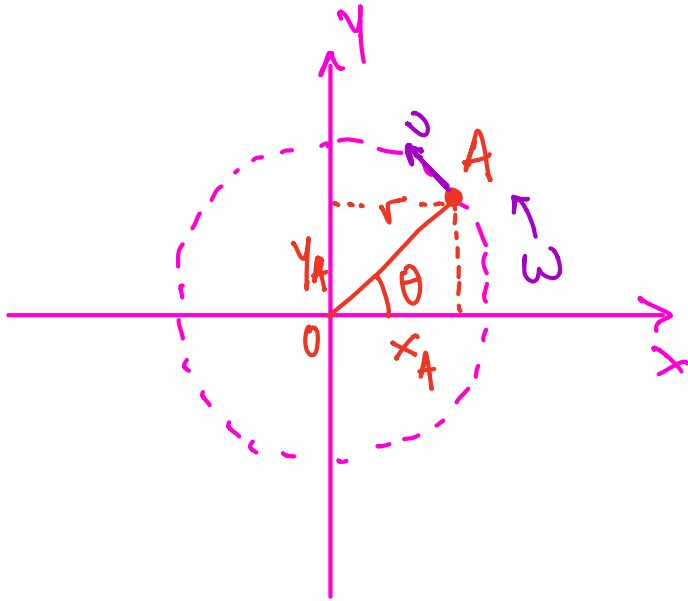
$$\Rightarrow a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$v = r \cdot \omega$$

accel. centripète

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{r^2 \omega^2}{r} = r \omega^2$$

...DÉRIVATION EN COORDONNÉES CARTÉSIENNES



$$x_A = r \cos \theta$$

$$y_A = r \sin \theta$$

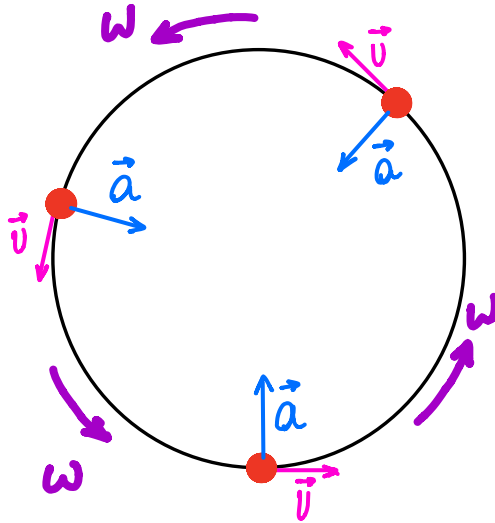
$$\frac{d\theta}{dt} = \omega = \text{const}$$

$$\frac{dx_A}{dt}$$

$$\frac{d^2 x_A}{dt^2}$$

$$v, \omega, a_c$$

ACCÉLÉRATION CENTRIPÈTE

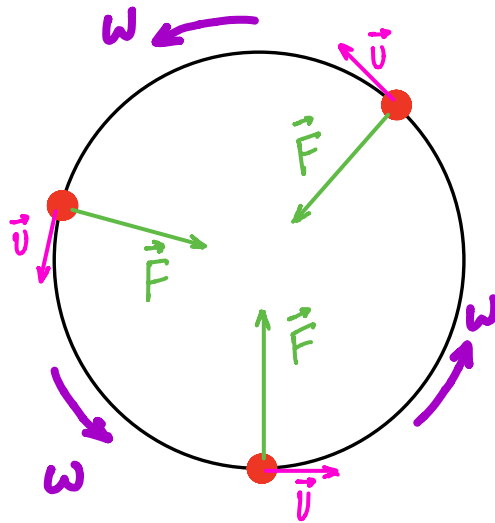


$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

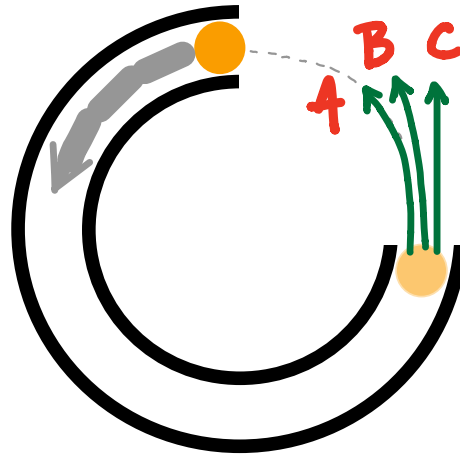
$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$$F_c = m a_c = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

FORCE CENTRIPÈTE



A, B OU C?



RECAP

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$v, \omega = \text{const}$$

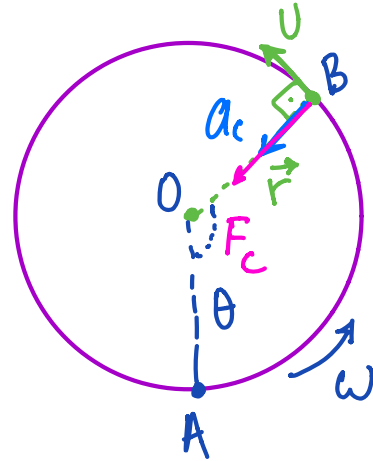
$$v = r \cdot \omega$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

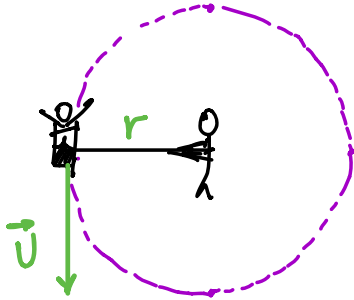
$$\vec{a}_c \parallel \vec{r}$$

$$\vec{F}_c = m \vec{a}_c \Rightarrow F_c = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$$

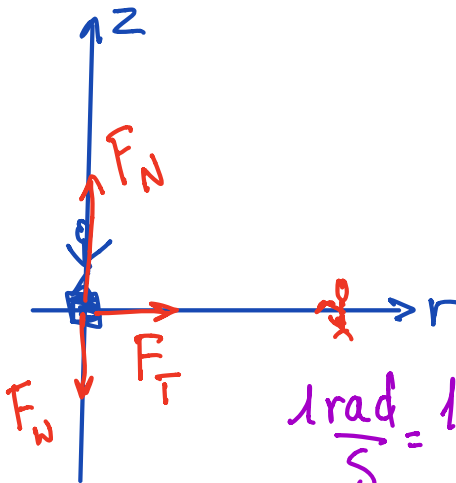
a_c, F_c centre cercle



EXEMPLE – KART TOURNANT



Un papa tourne son enfant de 20 kg qui est dans un kart de 5 kg attaché d'une corde de longueur de 2 m, comme montré dans la figure, en tenant la corde parallèle au sol. La tension de la corde est de 100 N. Combien de révolutions par minute (rpm) le kart fait-il? Nous considérons le frottement par roulement négligeable.



$$m_e = 20 \text{ kg}$$

$$m_k = 5 \text{ kg}$$

$$r = 2 \text{ m}$$

$$F_T = 100 \text{ N}$$

$$\omega = ?$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow F_N = F_w$$

$$\sum F_r = F_T = m a_c \Rightarrow$$

$$F_T = m \cdot \omega^2 r \Rightarrow$$

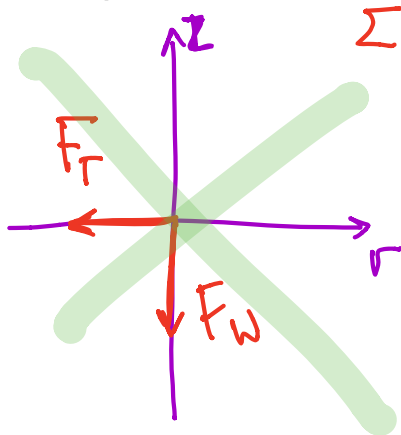
$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{F_T}{m r}} =$$

$$= \dots 1.41 \text{ rad/s}$$

$$1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \dots \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

EXEMPLE – PIERRE SUR CORDE

Un chasseur de l'âge de pierre fixe une pierre sur une corde de longueur d'1 m et la tourne dessus de sa tête 'horizontalement'. Si la corde se casse à une tension de 200 N, quelle est la vitesse angulaire maximale en rpm avec la quelle il peut faire tourner la pierre?



$$\Sigma F_z = F_w$$

