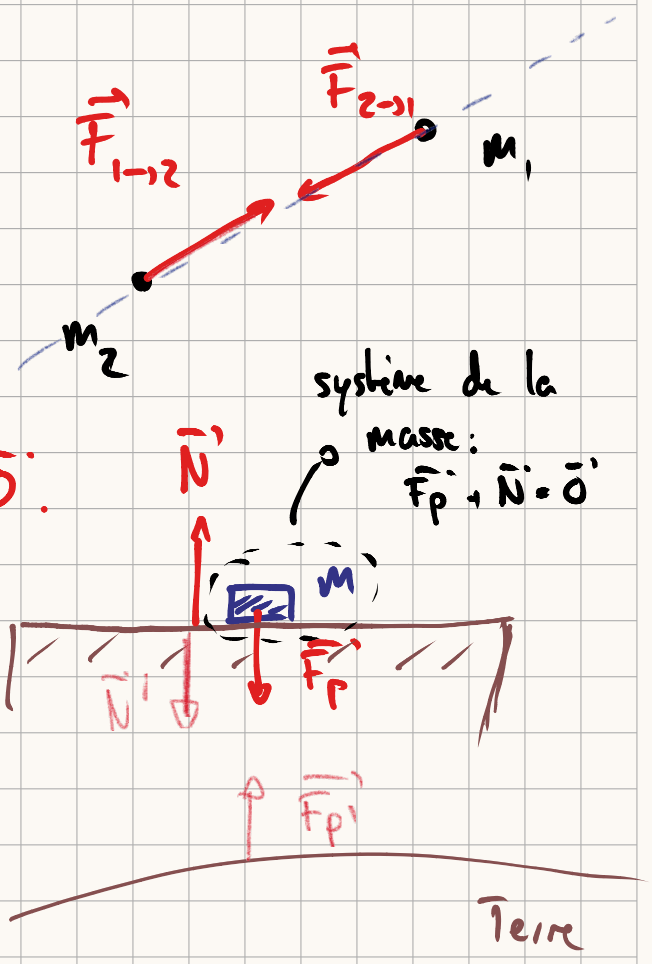
Troisième loi de Newton (loi d'action-réaction)

« A toute action, il y a toujours une réaction égale qui lui est opposée »

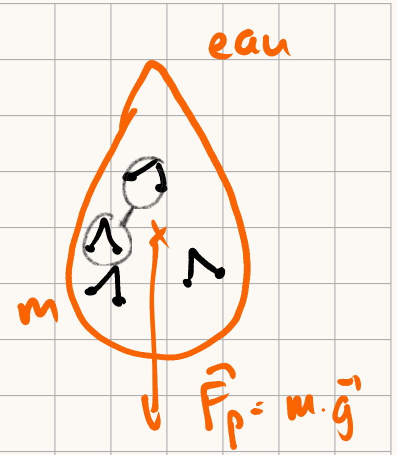
Mathématiquement : $\vec{F}_{2\to1} = -\vec{F}_{1\to2}$, ou $\vec{F}_{1\to2} + \vec{F}_{2\to1} = \vec{0}$.



Remarque : Pour un système donné, on distingue deux types de force

→ internes qui sont exercées par des composants du système entre eux

→ externes qui sont exercées par des objets extérieurs au système.



$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}^{ext} + \overbrace{\cancel{\sum \vec{F}^{int}}}^{3LN \; = 0} = \sum \vec{F}^{ext}.$$

Seules les forces externes contribuent à la modification du mvt. de l'objet.

D'où l'importance de bien définir son système !

Remarque : Un système isolé est tel qu'il ne subit aucune force externe ($\sum \vec{F}^{ext} = 0$).

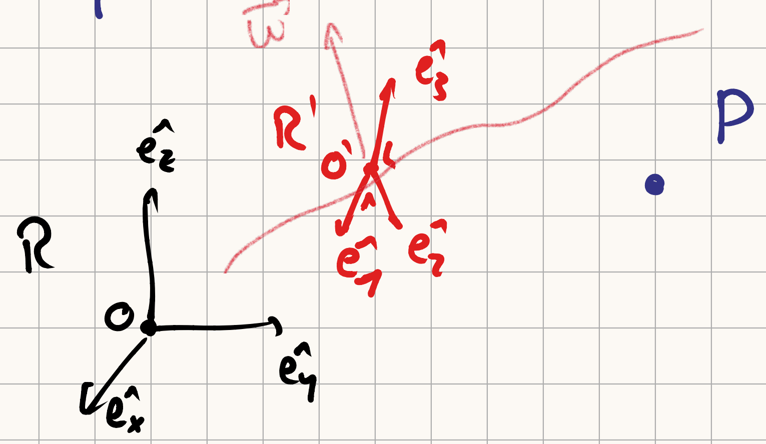
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \overbrace{\cancel{\sum \vec{F}^{int}}}^{=\vec{0}} + \overbrace{\cancel{\sum \vec{F}^{ext}}}^{=\vec{0}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{p} = \vec{cste}$$

La quantité de mouvement d'un système isolé est une grandeur conservée !

Lois de Newton dans un référentiel non galiléen

Les lois de Newton sous cette forme ne sont valables que dans un référentiel inertiel/galiléen.

Comment prédire le mouvement d'un corps en tant qu'observateur dans un référentiel en déplacement (translation + rotation)?



Dans le référentiel absolu: $\sum \vec{F}^{ext} = m \cdot \vec{a}_R(P)$

$$= m\Big[\overbrace{\vec{a}_{R'}(P)}^{\text{ce qui m'intéresse !!!}} + \vec{a}_R(O') + \dot{\vec{\omega}} \wedge \vec{O'P} + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{O'P}) + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{R'}(P)\Big]$$

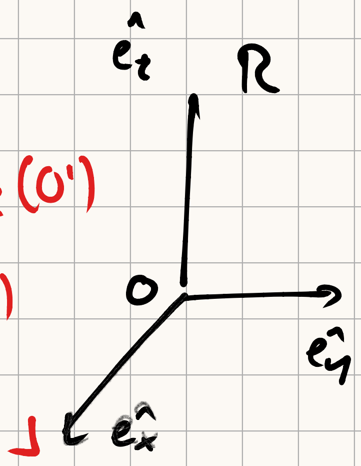
$$\Rightarrow m \cdot \vec{a}_{R'}(P) = \overbrace{m \cdot \vec{a}_R(P)}^{\sum \vec{F}^{ext}} - m\,\vec{a}_R(O') - m \cdot \dot{\vec{\omega}} \wedge \vec{O'P} - m \cdot \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{O'P}) - 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{R'}(P)$$

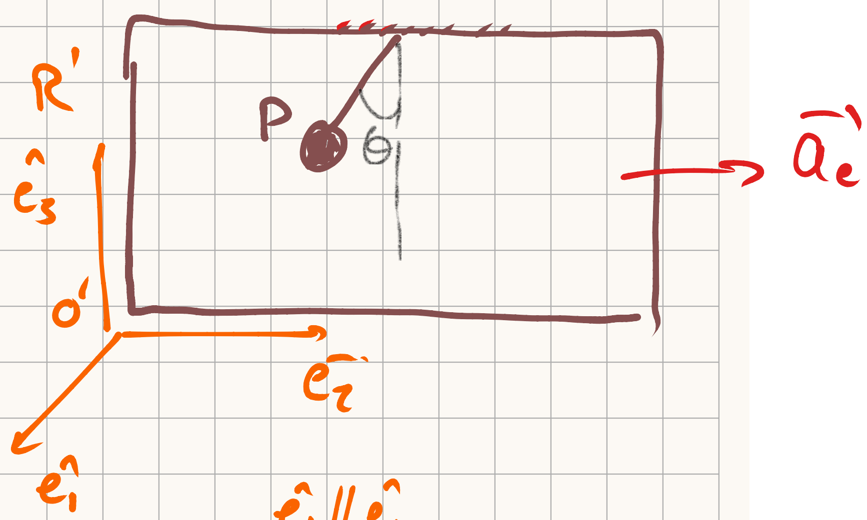
$$= \sum \vec{F}^{ext} \boxed{- m\,\vec{a}_R(O') - m\dot{\vec{\omega}} \wedge \vec{O'P} - m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{O'P}) - 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{R'}(P)}$$

forces d'inertie

Les termes "supplémentaires" sont appelés forces d'inertie! Elles n'existent pas à proprement parler, mais sont liées au référentiel en mouvement.

Application : métro qui accélère





$\hat{e}_1 \parallel \hat{e}_x$

$\hat{e}_2 \parallel \hat{e}_y$

$\hat{e}_3 \parallel \hat{e}_z$

* Dans R' : $\ulcorner\ m \cdot \vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{\,ext} - m \cdot \vec{a}_R(O')$

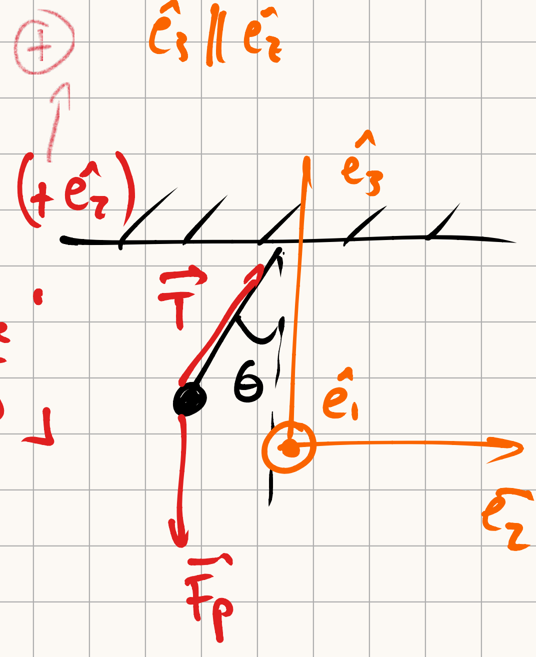
$\quad - m \cdot \cancel{\dot{\vec{\omega}} \wedge \vec{O'P}} - m\, \vec{\omega} \wedge (\cancel{\vec{\omega} \wedge \vec{O'P}})$

$\quad -2m \cdot \cancel{\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{R'}(P)}\ \lrcorner$

Or $\vec{\omega} = \vec{0}$, et $\vec{a}_R(O') = \vec{a}_e$

$\Rightarrow m \cdot \vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{\,ext} - m \cdot \vec{a}_e$

$= mg \cdot (-\hat{e}_3) + T(\sin\theta\, \hat{e}_2 + \cos\theta\, \hat{e}_3) - m \cdot a_e (+\hat{e}_2)$

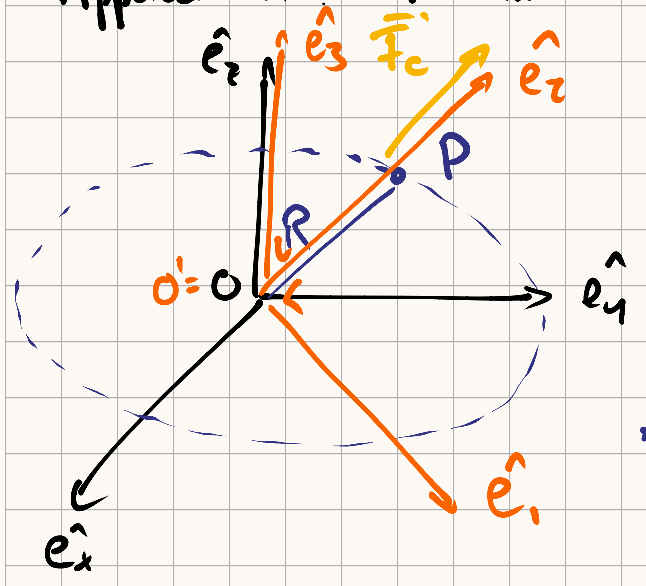


A l'équilibre : $\vec{a}_{R'}(P) = \vec{0}$ $\Rightarrow \begin{cases} T\sin\theta = m \cdot a_e \\ mg = T\cos\theta \end{cases} \Rightarrow \ulcorner\ \tan\theta = \dfrac{a_e}{g}\ \lrcorner$

* Dans R : $m \cdot \vec{a}_R(P) = \sum \vec{F}^{\,ext}$

$\ulcorner\ m \cdot a_e\, \hat{e}_y = T\sin\theta\, \hat{e}_y + T\cos\theta\, \hat{e}_z - mg\, \hat{e}_z\ \lrcorner$

Application : PM immobile dans un référentiel en rotation uniforme ($\vec{\omega}$ = cste)



On considère $R(O, \hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z)$ et $R'(O, \hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3)$

$\vec{\omega} = \omega . \hat{e}_z = \text{cste} = \omega . \hat{e}_3$ car $\hat{e}_z \parallel \hat{e}_3$.

* Dans R', l'objet est immobile $\vec{a}_{R'}(P) = \vec{0}$. Ainsi :

$$m . \vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}^{\text{ext}} - m . \cancelto{0}{\vec{a}_R(O)} - m \cancelto{0}{\dot{\vec{\omega}} \wedge \vec{O'P}} - m\, \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{O'P}) - m 2 \cancelto{0}{\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{R'}(P)}$$

$$= \sum \vec{F}^{\text{ext}} - m . \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{OP}) \qquad \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix}0\\1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}-1\\0\\0\end{pmatrix} = -\hat{e}_1$$

Or $\vec{OP} = R . \hat{e}_2$

$$= \sum \vec{F}^{\text{ext}} - mR . \omega^2 \underbrace{\left[\hat{e}_3 \wedge \overbrace{(\hat{e}_3 \wedge \hat{e}_2)} \right]}$$

$$\hat{e}_3 \wedge (-\hat{e}_1) = \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix}-1\\0\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\-1\\0\end{pmatrix} = -\hat{e}_2$$

$$\boxed{\vec{0} = \overbrace{\sum \vec{F}^{\text{ext}}}^{\neq 0} + \overbrace{m R \omega^2 \hat{e}_2}^{\vec{F}_{\text{centr.}}}}$$

Pour rester immobile dans R', l'objet doit être soumis à une force réelle centripète (vers le centre)

qui vaut $\vec{F} = -m\omega^2 R . \hat{e}_2$.

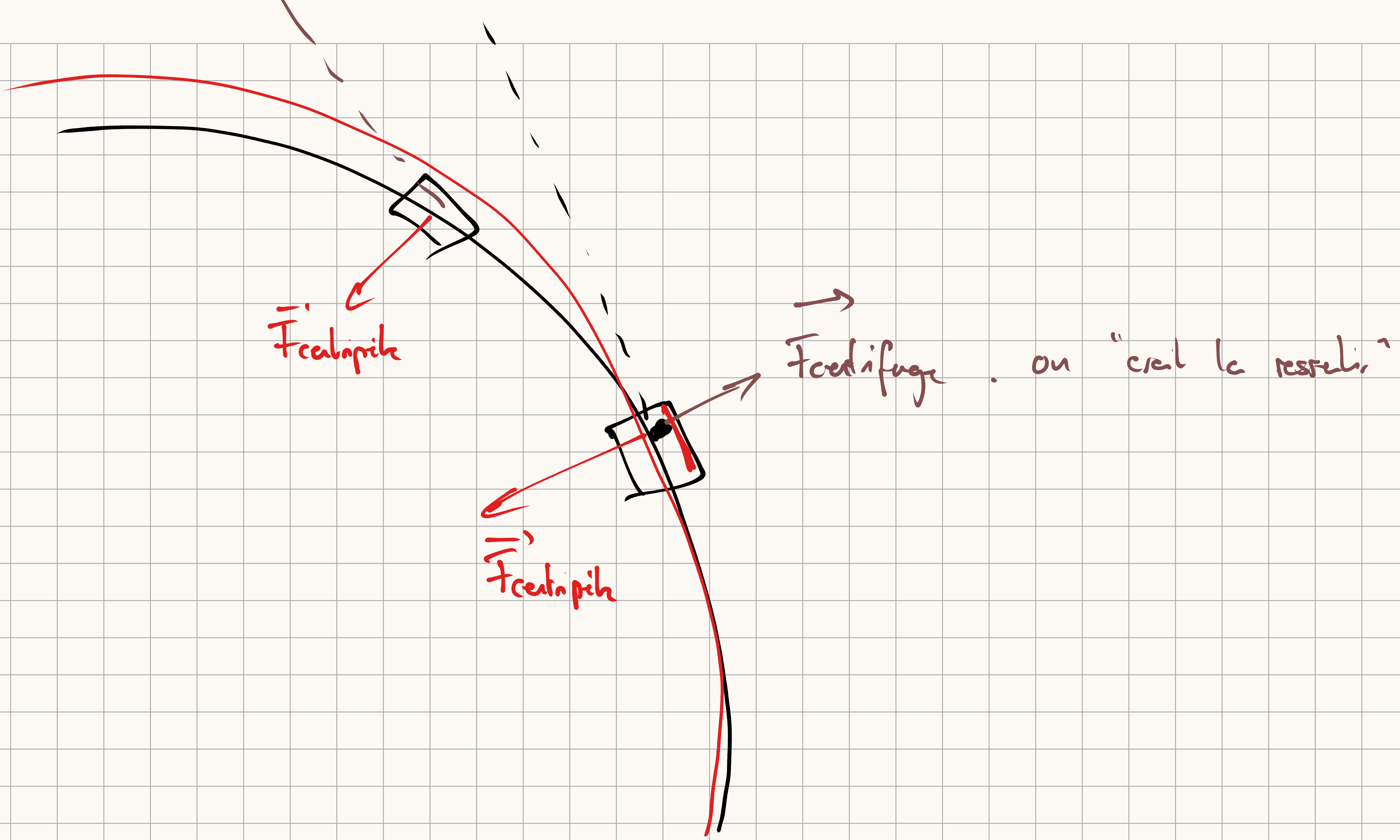
Résumé :

* Une force "physique" (réelle) est une interaction entre deux objets qui va changer leur état.

* Une accélération d'entraînement $\left(\vec{a}_R(O) + \dot{\vec{\omega}} \wedge \vec{OP} + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{OP}) + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}_R(M) \right)$ relie les mouvements du corps et du référentiel en déplacement.

* La force d'inertie (de sens opposé à l'accélération d'entraînement) illustre la volonté du corps à suivre son mouvement naturel.

$\blacksquare$


Fcentripète
Fcentripète
Fcentrifuge . ou "crée le ressenti"