

# III. Lois de Newton

Dr. Yves Revaz

2025

**EPFL**

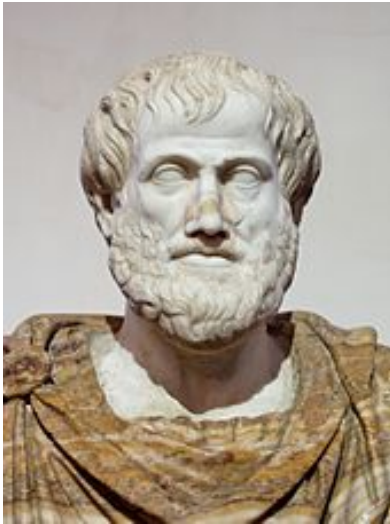
## Plan du cours

- I - Cinématique
- II - Référentiel accélérés
- III - Lois de Newton
- IV - Balistique – effet d'une force constante et uniforme
- V - Forces ; application des lois de Newton
- VI - Travail, Energie, principes de conservation
- VII - Chocs, systèmes de masse variable
- VIII - Oscillateur harmonique
- IX - Moment cinétique ; Gravitation
- X - Solide indéformable
- XI - Application du solide indéformable

## Table des matières

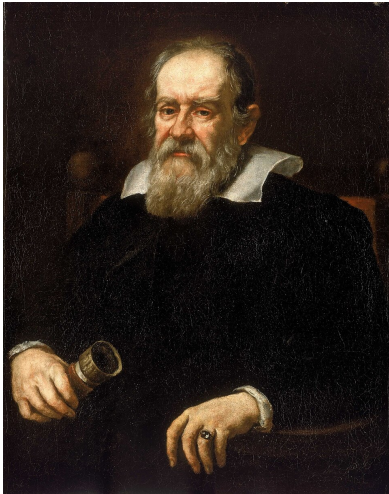
- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

## 1 - introduction



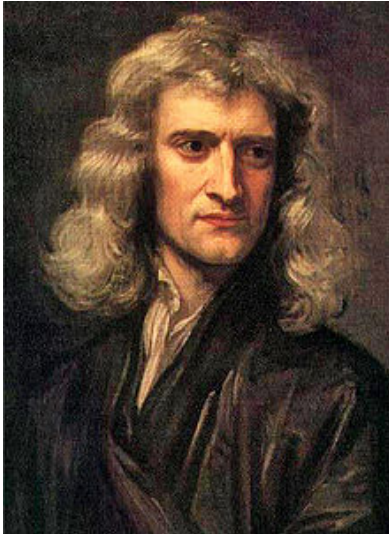
Aristote :  
384 av.JC – 322 Av. JC

## 1 - introduction



Galilée :  
1564 – 1642

## 1 - introduction



Newton :  
1642 – 1726

## Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

## 2 - Masse et quantité de mouvement

- ▶ La masse représente **la quantité de *matière*** . C'est une grandeur **scalaire extensive, définie positive**. En mécanique classique, **conservée**.
  
- ▶ La quantité de mouvement est une grandeur ***vectorielle extensive*** qui caractérise l'état du mouvement. En mécanique classique, la quantité de mouvement est **conservée**.

## Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

### 3 - Première loi de Newton

- ▶ Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite à moins qu'une force quelconque n'agisse sur lui et ne le contraigne à changer d'état (de quantité de mouvement).
  
- ▶ Attention ! Valable uniquement pour certains référentiels !
  
- ▶ Référentiel d'inertie... parfois délicat...

## **Notion de force**

Action exercée par un corps sur un autre.

Forces internes /forces externes

## Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

## 4 - Deuxième loi de Newton

- ▶ Les changements de mouvements sont proportionnels à la force motrice, et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force est imprimée à l'objet.
- ▶ Si  $\vec{F}$  est la force,  $\vec{F}\Delta t$  est la *force motrice*
- ▶ Formulation générale :
- ▶ Si la masse est constante :  $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$

## Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

## 5 Troisième loi de Newton

- ▶ A toute action, il y a toujours une réaction égale qui lui est opposée.
- ▶ Doigt sur une table ; pierre tirée par une corde.

## Table des matières

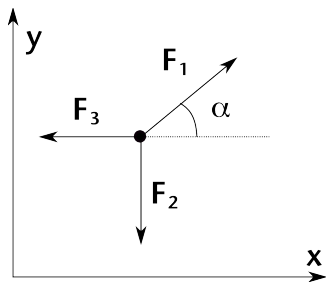
- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

## 6 - Bilan des forces

Dans un référentiel d'inertie,  $\sum \vec{F}^{\text{ext}} = m\vec{a}$

L'unité de force est le Newton [N].  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Si le solide est considéré comme un point, les forces s'appliquent en ce point.



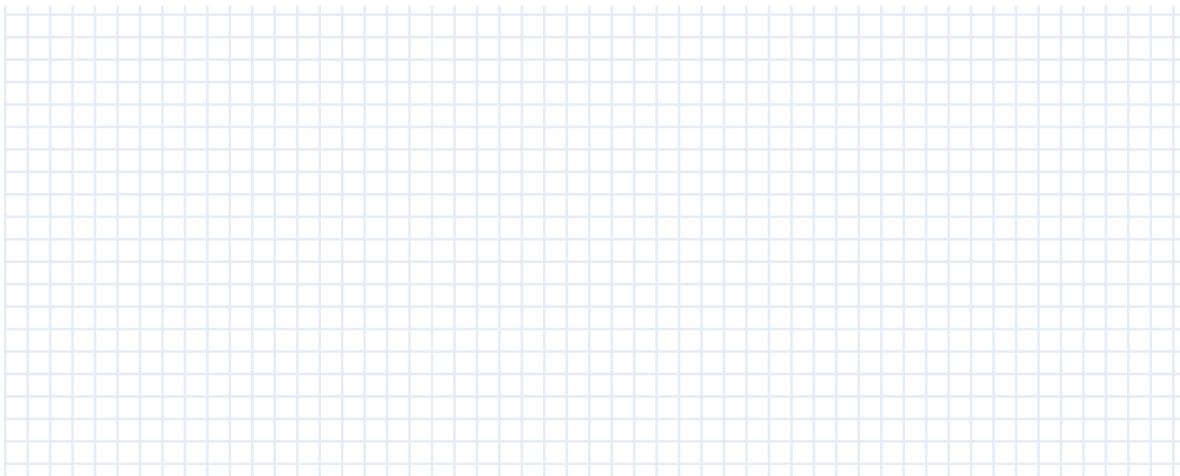
1. Identification du système
2. Choix référentiel
3. Choix repère orthonormé direct
4. Dessin
5. Projection des forces
6. Liste des conditions initiales
7. Résolution

## Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

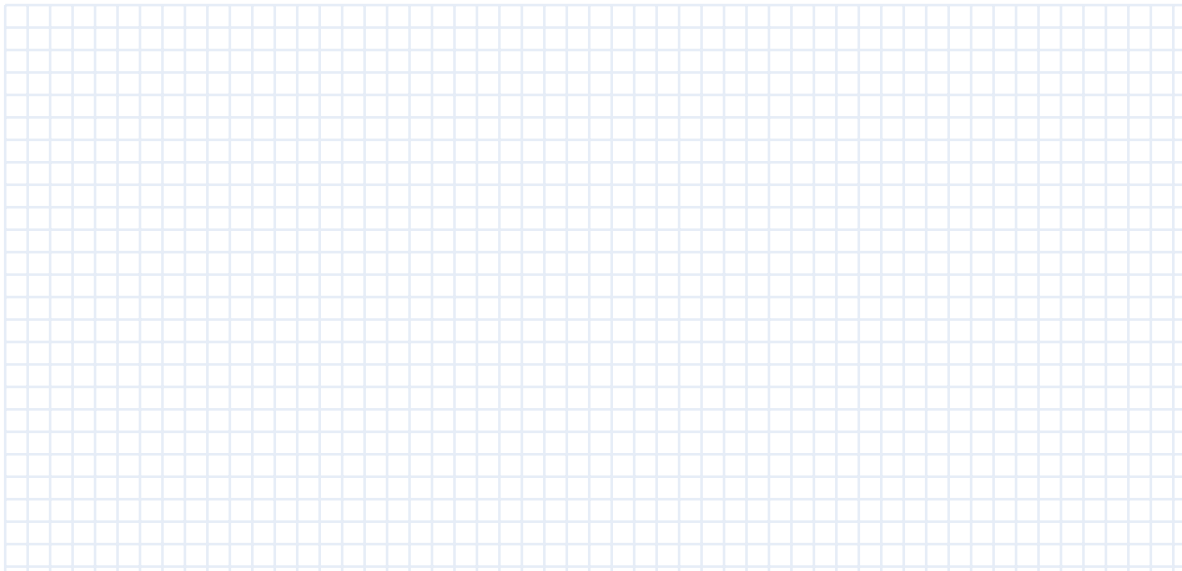
## 7. Référentiel non galiléens (translation de $A$ + rotation avec $\vec{\omega}=\text{cte}$ )

Pour un observateur dans  $\mathcal{R}'$  (point de vue du pilote de l'avion)



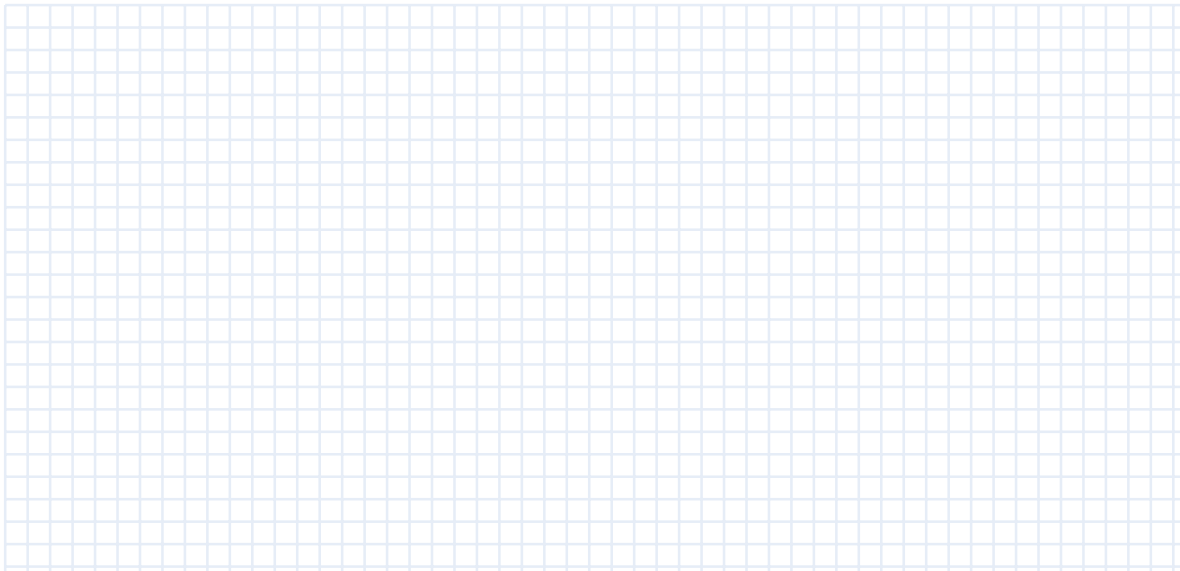
$$m\vec{a}_{\mathcal{R}'}(P) = \sum \vec{F}_{\text{ext}} - m\vec{a}_{\mathcal{R}}(A) - m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{AP}) - 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{\mathcal{R}'}(P)$$

### Exemple 1 : train avec accélération constante, sans rotation



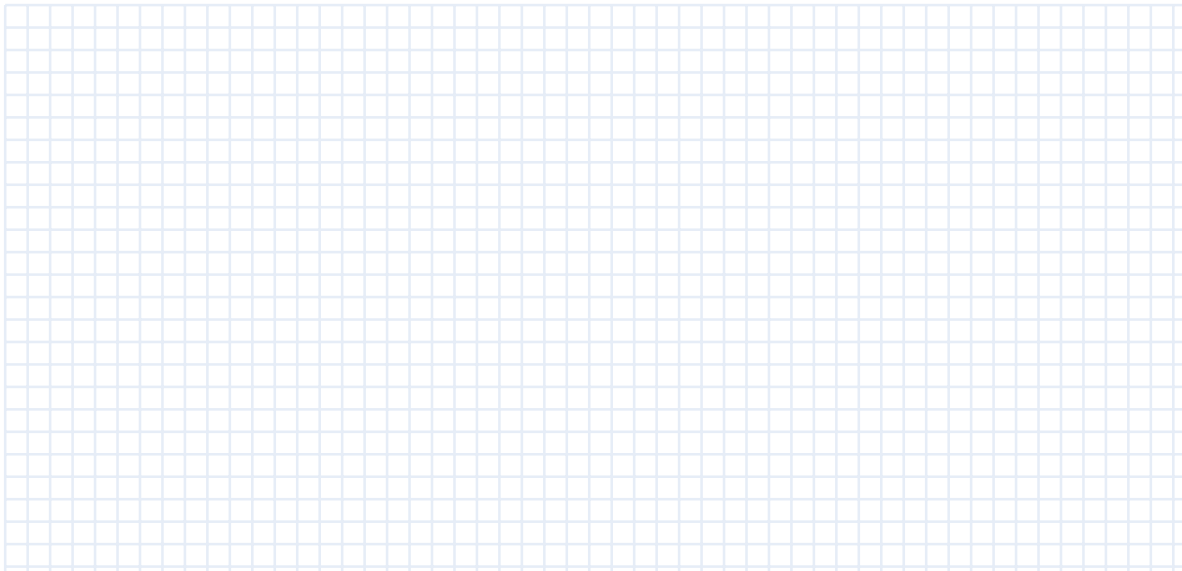


## Exemple 2 : objet immobile dans un référentiel en rotation uniforme





### Exemple 3 : objet en mouvement dans un référentiel en rotation uniforme





Stratégie pour la résolution de problèmes dans un référentiel non inertiel :

1. définir le référentiel inertiel
2. définir les forces réelles
3. définir les propriétés du référentiel non inertiel (translation, rotation, par rapport au référentiel inertiel)
4. calculer les forces non-inertiels (fictives)
5. ajouter les forces non-inertiels aux équations du mouvement (loi de Newton)

$$m\vec{a}_{\mathcal{R}'}(P) = \sum \vec{F}_{\text{ext}} - m\vec{a}_{\mathcal{R}}(A) - m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{AP}) - 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{\mathcal{R}'}(P)$$

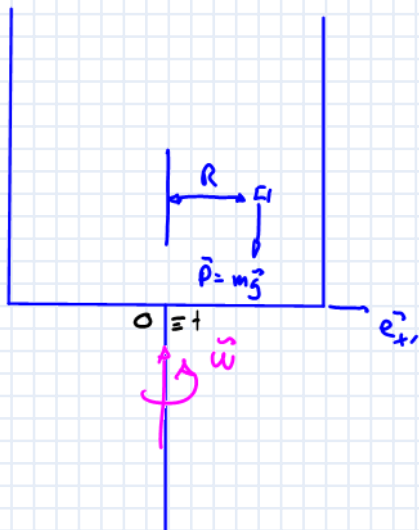
## Table des matières

- 1 - introduction
- 2 - Masse et quantité de mouvement
- 3 - Première loi de Newton
- 4 - Deuxième loi de Newton
- 5 - Troisième loi de Newton
- 6 - Bilan des forces
- 7 - Référentiel non galiléens
- 8 - Expériences

## Force Centrifuge (récipient plat en rotation)

$$m\vec{a}_{R'}(P) = \sum \vec{F}_{\text{ext}} - m\vec{a}_A - m\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{AP}) - 2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}_{R'}(P)$$

$$m\omega^2 R \vec{e}_r$$



$$|m \omega^2 R \vec{e}_r|$$

$$\omega^2 R$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

$$\omega \approx 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$|m \vec{g}|$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R = 0.1 \text{ m}$$

## Anneaux flexibles (rotation de la terre)

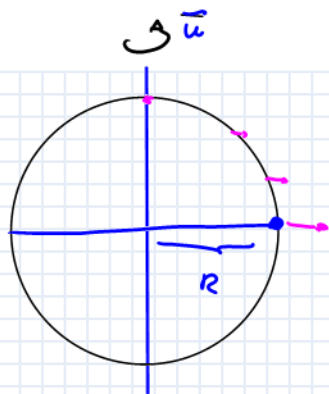
$$|m\omega^2 R \vec{e}_x| \sim |m\vec{g}|$$

$$T = 24 \text{ h} = 24 \times 3600 \\ = 86400 \text{ Sec}$$

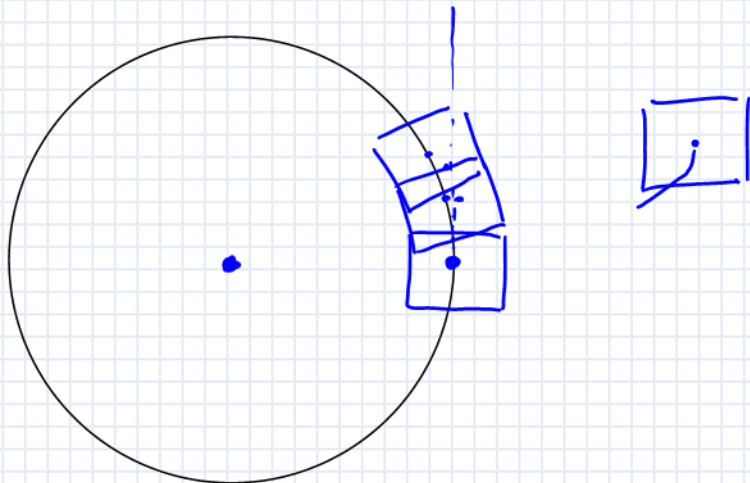
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \\ = 7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$R = R_T = 6.3 \cdot 10^6 \text{ m}$$

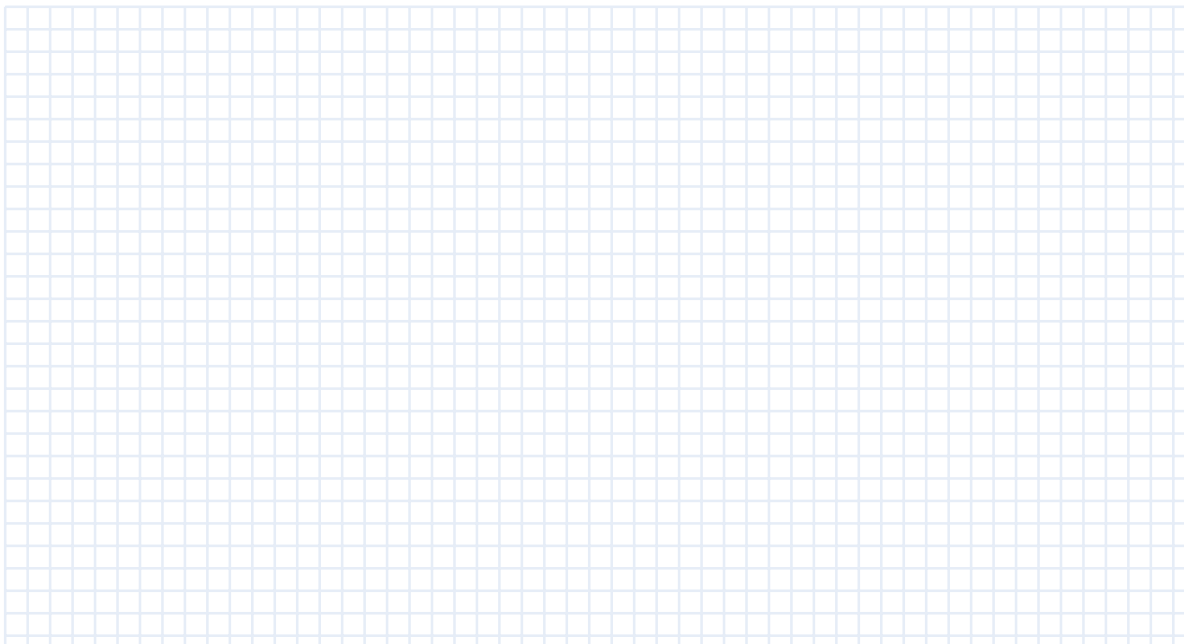
$$\omega_T^2 \cdot R_T = 0.03 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow a_T = 0.003 \text{ g}$$



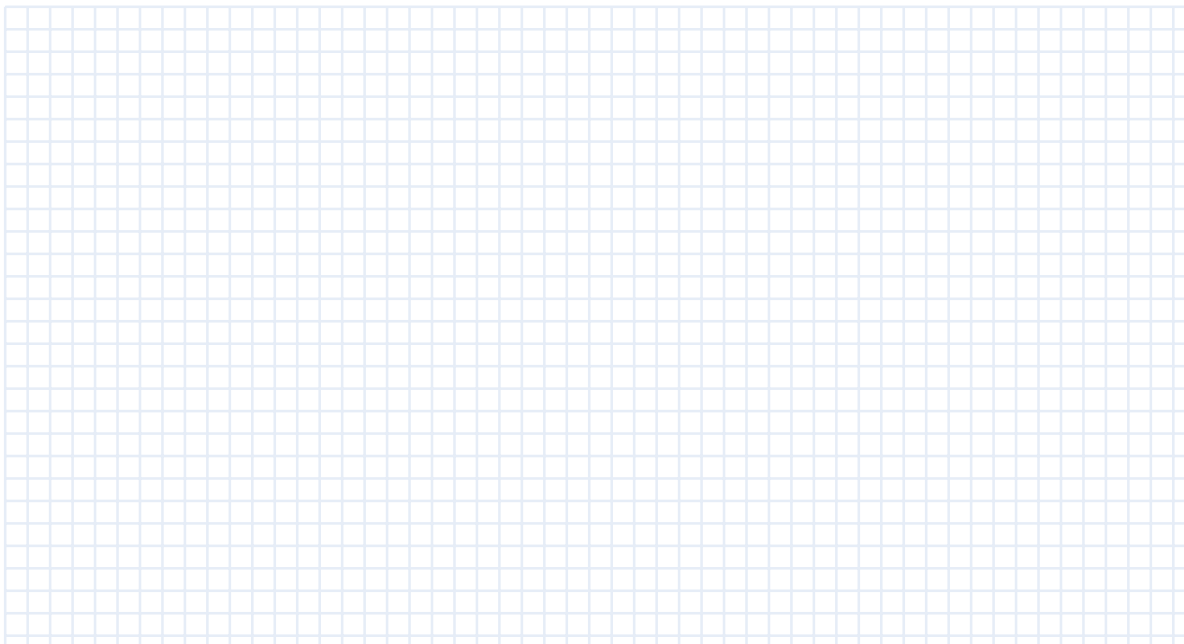
## Force de Coriolis (plateau tournant)



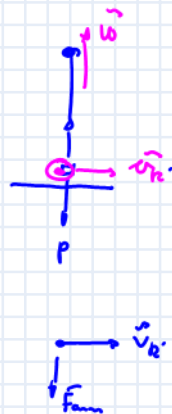
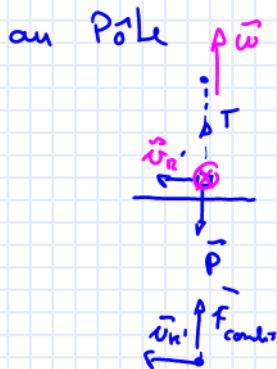
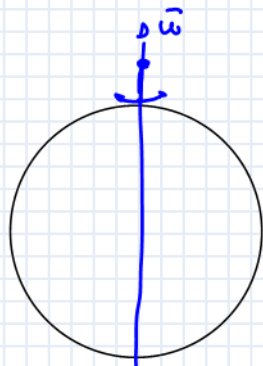
## Force de Coriolis (jet d'eau)

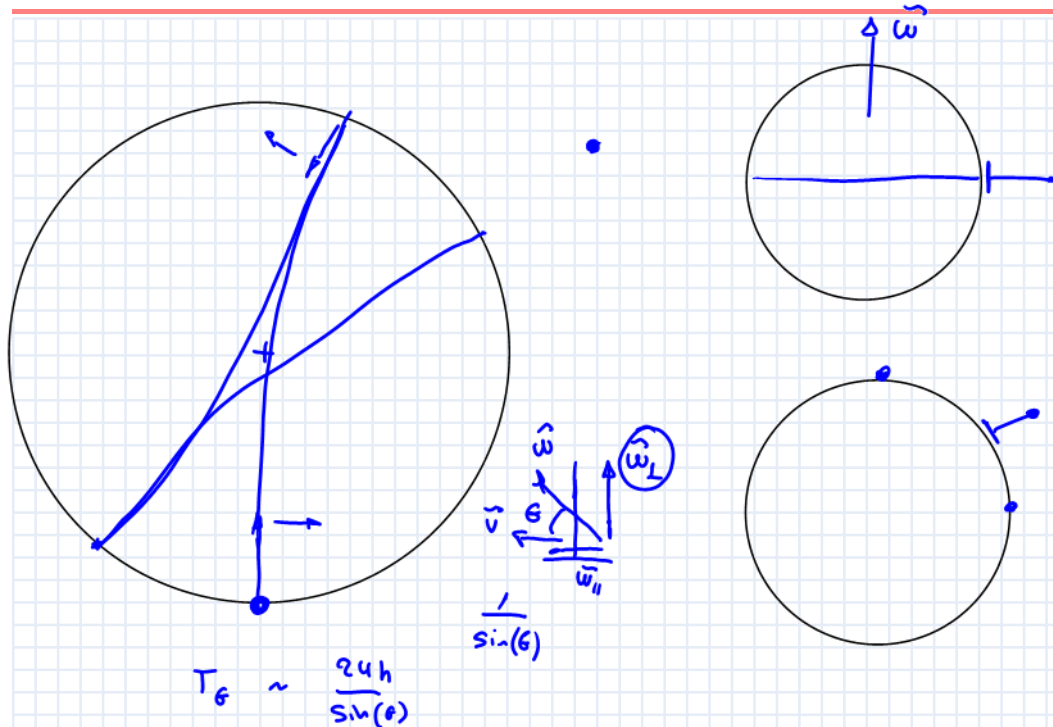


## Force de Coriolis (jet de balon)



Pendule de Foucault





$$T_G \sim \frac{24h}{\sin(\theta)}$$