

# IV - Balistique

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 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

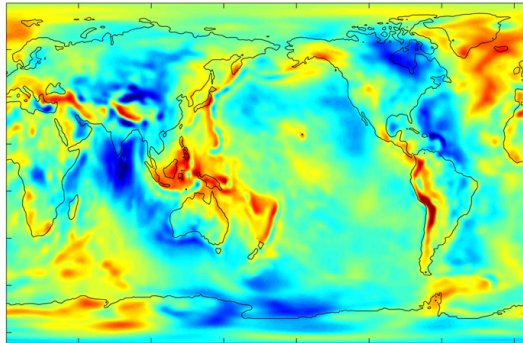
## 1 - Poids d'un objet

À l'échelle du laboratoire, la Terre est **plate** et l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  dirigée **vers le bas** et est **constante**.

La force qui s'exerce sur une masse  $m$  est son poids  $\vec{P}$  :

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

La masse est une **propriété intrinsèque** du corps. Le poids dépend du lieu (le poids d'un cosmonaute n'est pas le même sur Terre et sur la lune...)



-60      -40      -20      0      20      40      60

Gravity Anomaly (mGal)

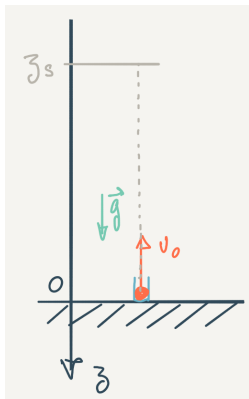
$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$$

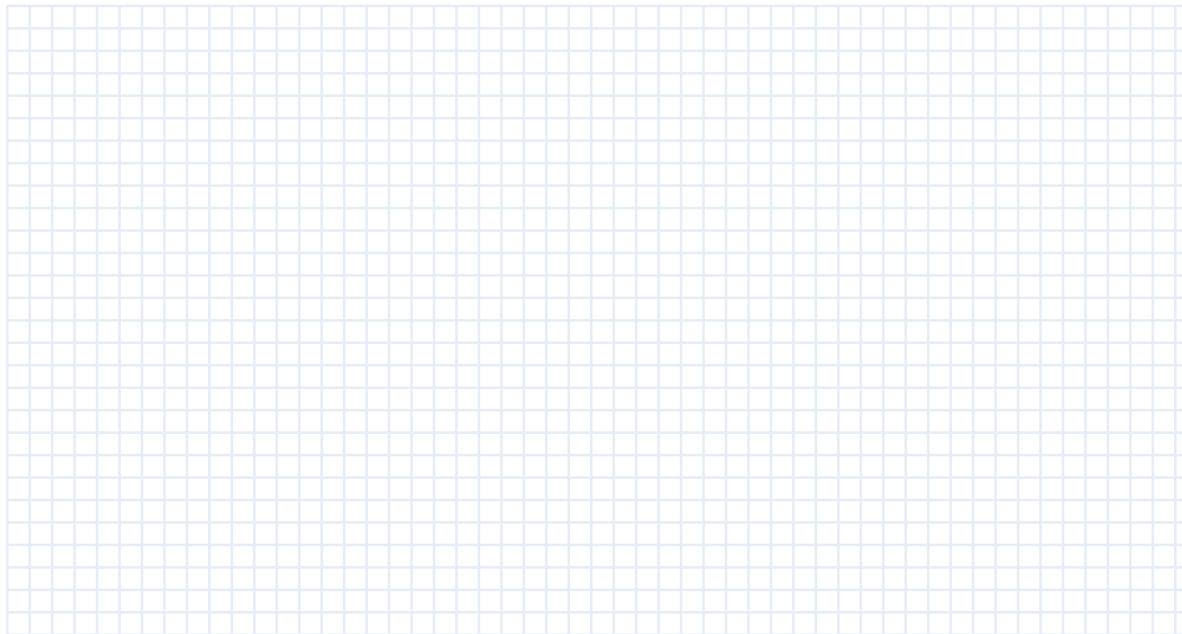
Anomalie de  $g$  par rapport à l'ellipsoïde aplati.

## Table des matières

- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

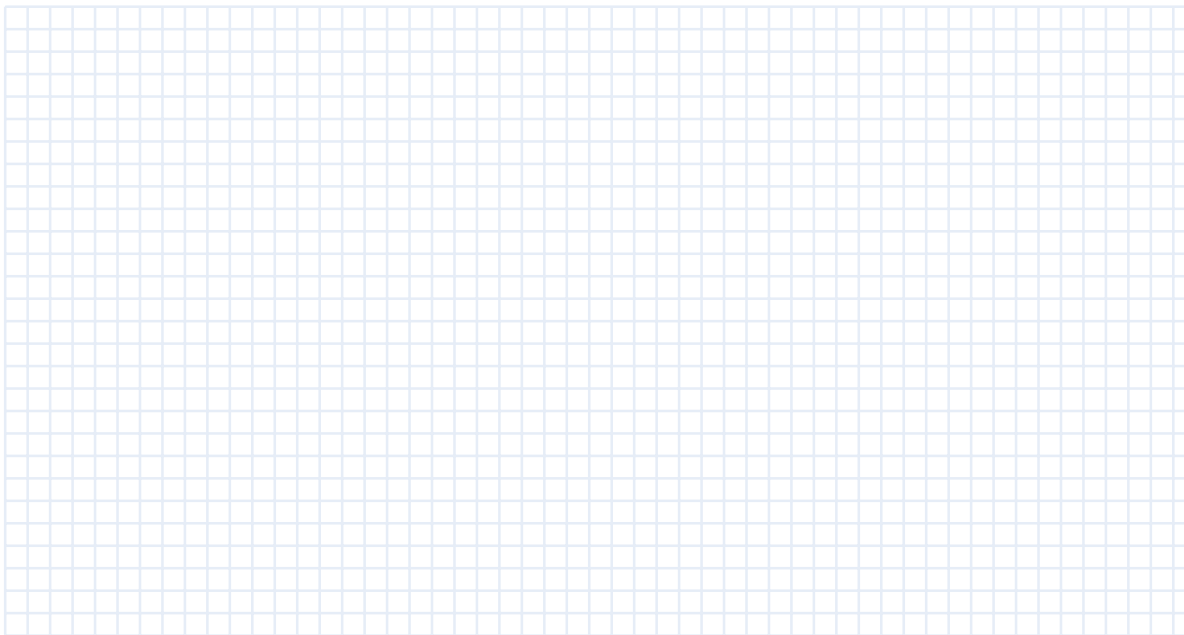
## 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)





---

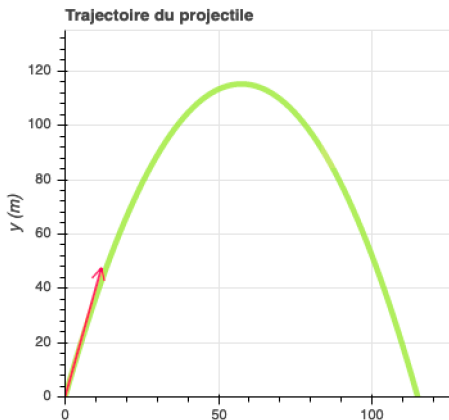
## Temps de chute (chute libre)

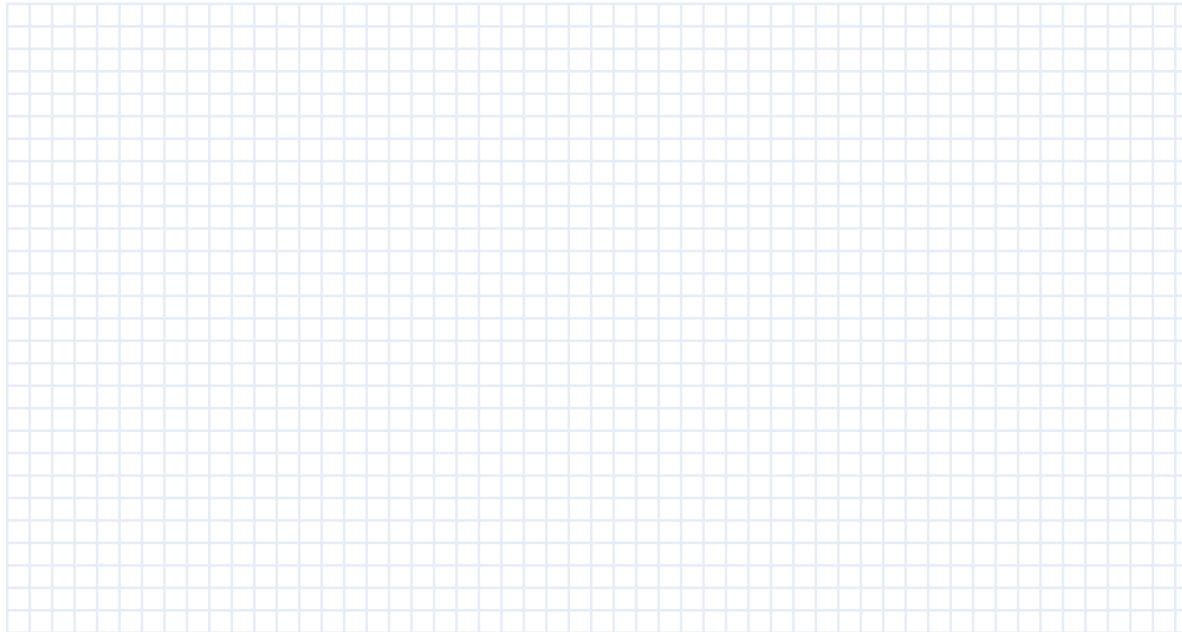


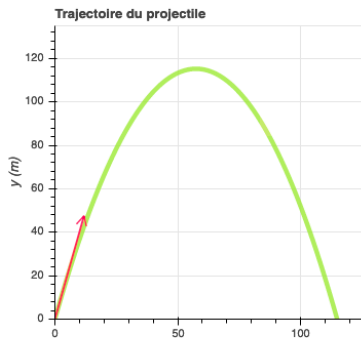
## Table des matières

- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

### 3 - Cas général







$$\vec{a} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{vmatrix}$$

$$\vec{v} \begin{vmatrix} v_0 \cos \theta \\ 0 \\ -gt + v_0 \sin \theta \end{vmatrix}$$

$$\vec{r} \begin{vmatrix} (v_0 \cos \theta) t \\ 0 \\ -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \theta) t \end{vmatrix}$$

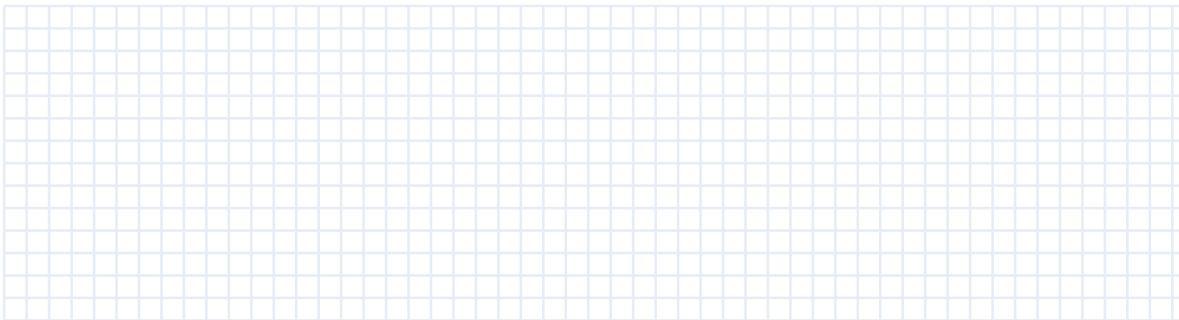
## Table des matières

- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

## 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact

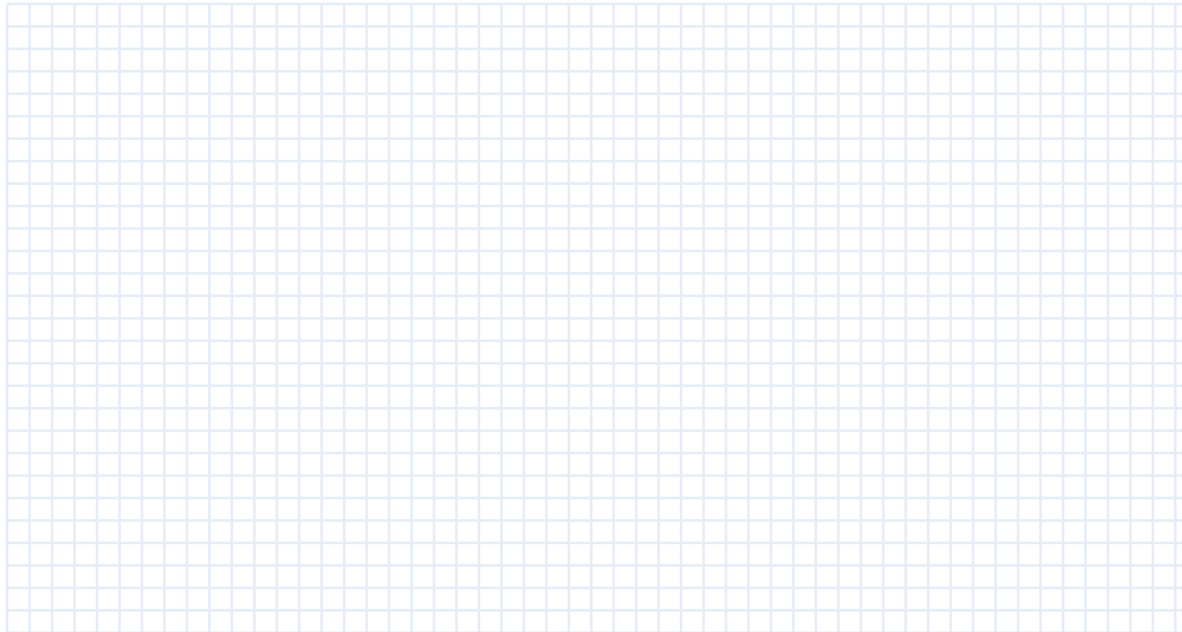
*Chercher la trajectoire, c'est chercher  $z$  en fonction de  $x$*

$$\vec{a} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{vmatrix} \quad \vec{v} \begin{vmatrix} v_0 \cos \theta \\ 0 \\ -gt + v_0 \sin \theta \end{vmatrix} \quad \vec{r} \begin{vmatrix} (v_0 \cos \theta)t \\ 0 \\ -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \theta)t \end{vmatrix}$$



$$z = -\frac{1}{2} \frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 + \tan \theta x$$





Sommet S :

$$S \left| \begin{array}{l} \frac{v_0^2}{g} \sin \theta \cos \theta \\ 0 \\ \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \theta \end{array} \right.$$

Point d'impact A

$$A \left| \begin{array}{l} 2 \frac{v_0^2}{g} \sin \theta \cos \theta \\ 0 \\ 0 \end{array} \right.$$

## Table des matières

- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

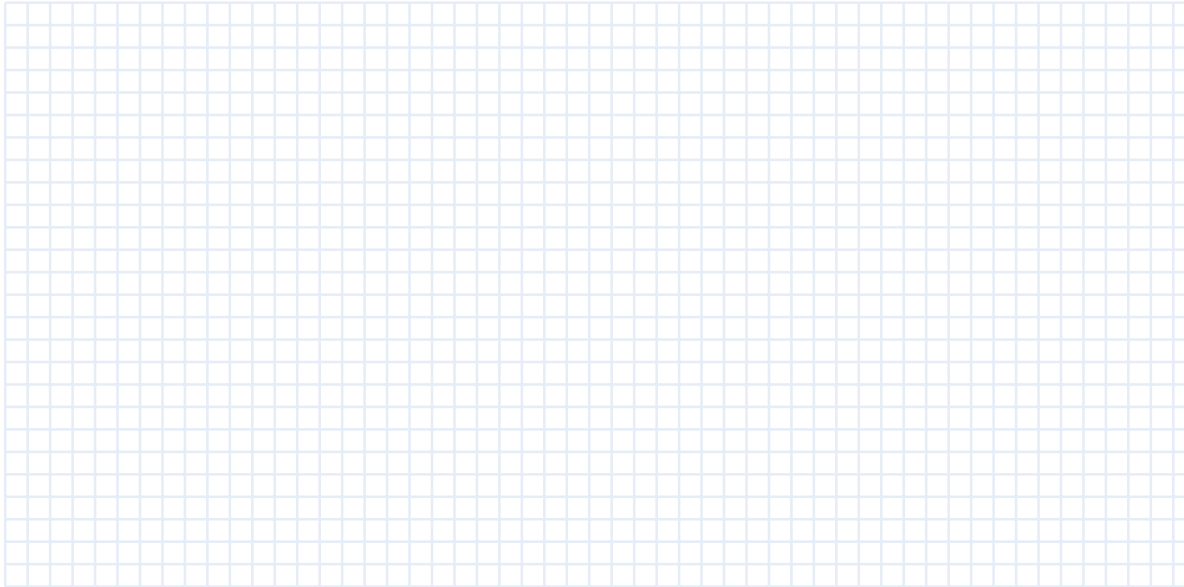
## 5 - Portée maximale ou atteindre une cible

On veut lancer le plus *loin* possible. A est le point d'impact :

$$A \begin{vmatrix} 2 \frac{v_0^2}{g} \sin \theta \cos \theta \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$



Atteindre une cible en B ( $x_B$ )



## Table des matières

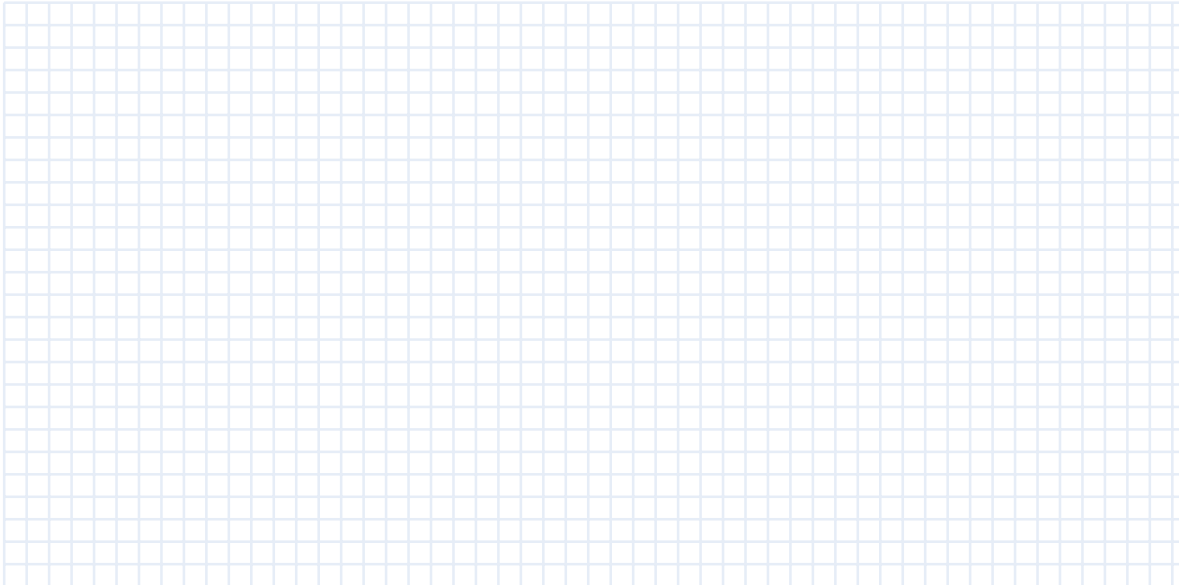
- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

## 6 - Temps de vol

À quel temps  $t_A$  l'objet est-il en A ?

$$\vec{r}_A \begin{vmatrix} (v_0 \cos \theta) t_A \\ 0 \\ -\frac{1}{2} g t_A^2 + (v_0 \sin \theta) t_A \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{2v_0^2}{g} \sin \theta \cos \theta \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

## Analyse conceptuelle

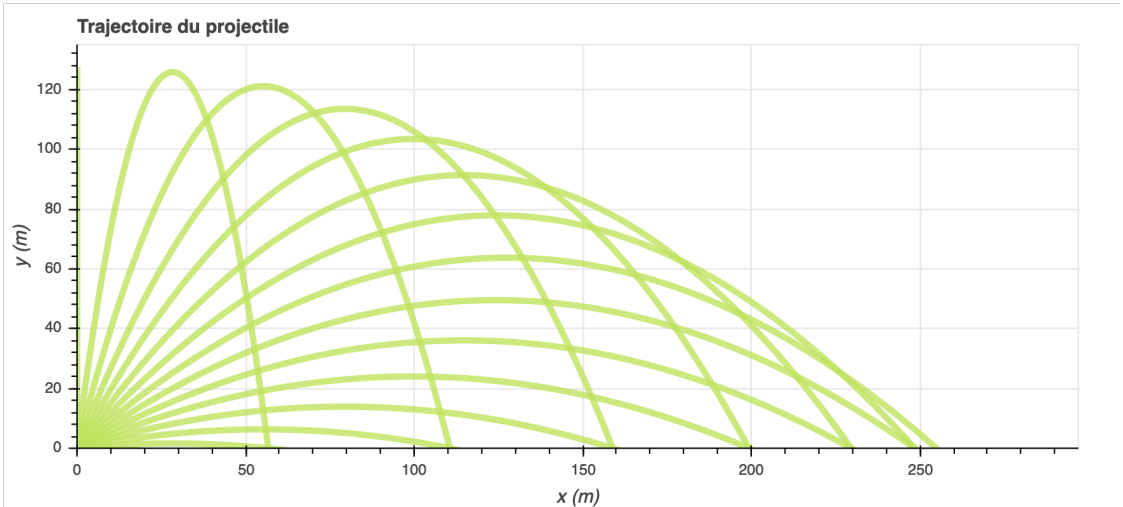


## Table des matières

- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sûreté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

## 7 - Parabole de sureté

Parabole de sureté. Pour une vitesse initiale  $v_0$  donnée, un projectile ne peut pas atteindre les points en dehors de la parabole de sureté.

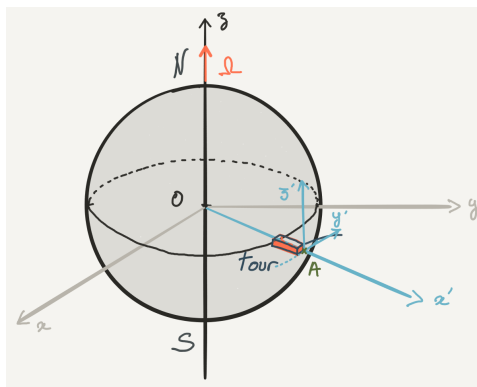


## Table des matières

- 1 - Poids d'un objet
- 2 - Cas d'un lancer vertical (1 dimension)
- 3 - Cas général
- 4 - Trajectoire, hauteur maximale, point d'impact
- 5 - Portée maximale ou atteindre une cible
- 6 - Temps de vol
- 7 - Parabole de sureté
- 8 - Effet de la rotation de la Terre

## 8 - Effet de la rotation de la Terre : pierre qui tombe d'une tour

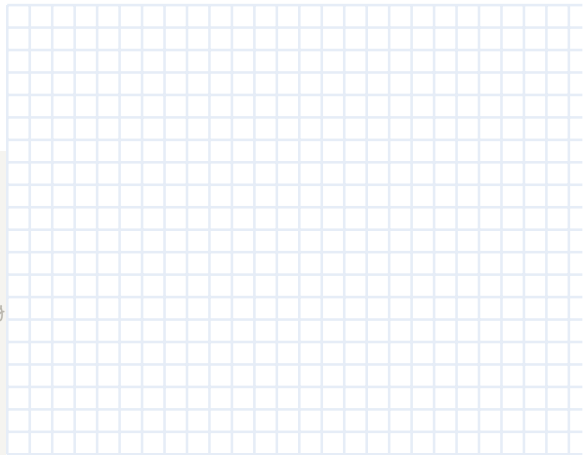
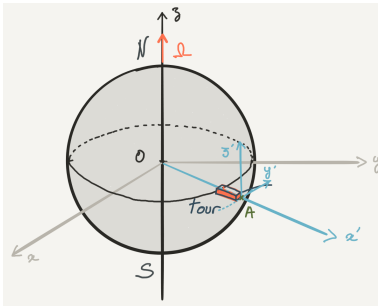
On considère qu'on lâche une pierre d'une hauteur  $h$  depuis une tour située à l'équateur. De quelle distance et dans quelle direction la pierre est-elle déviée ?

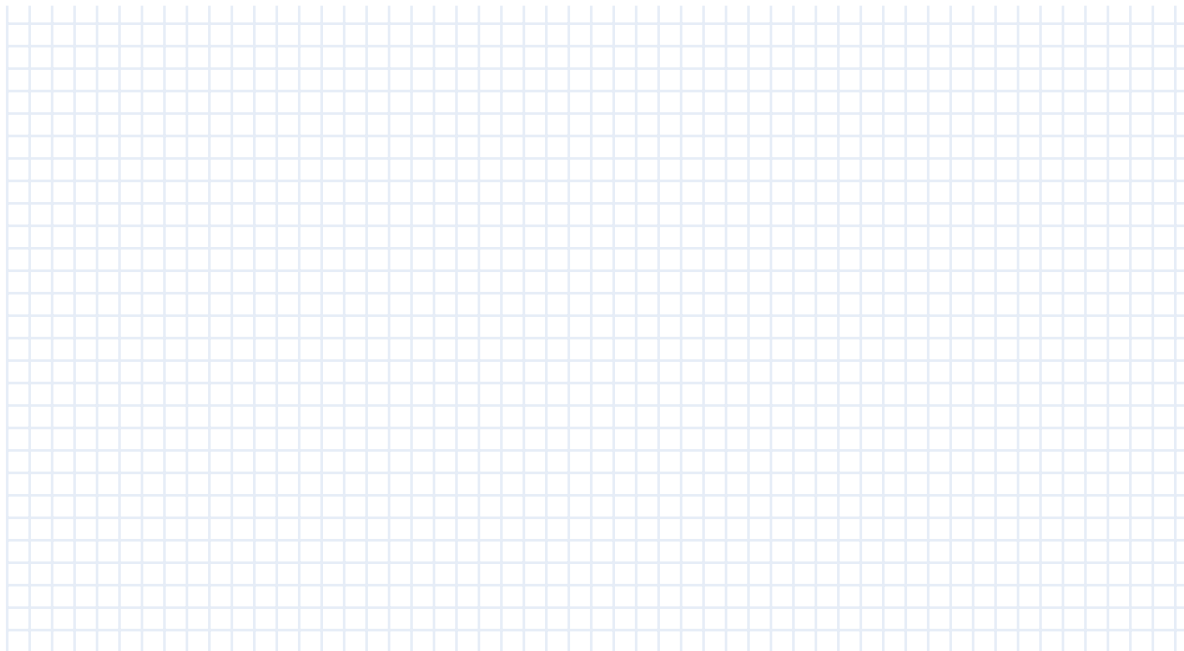


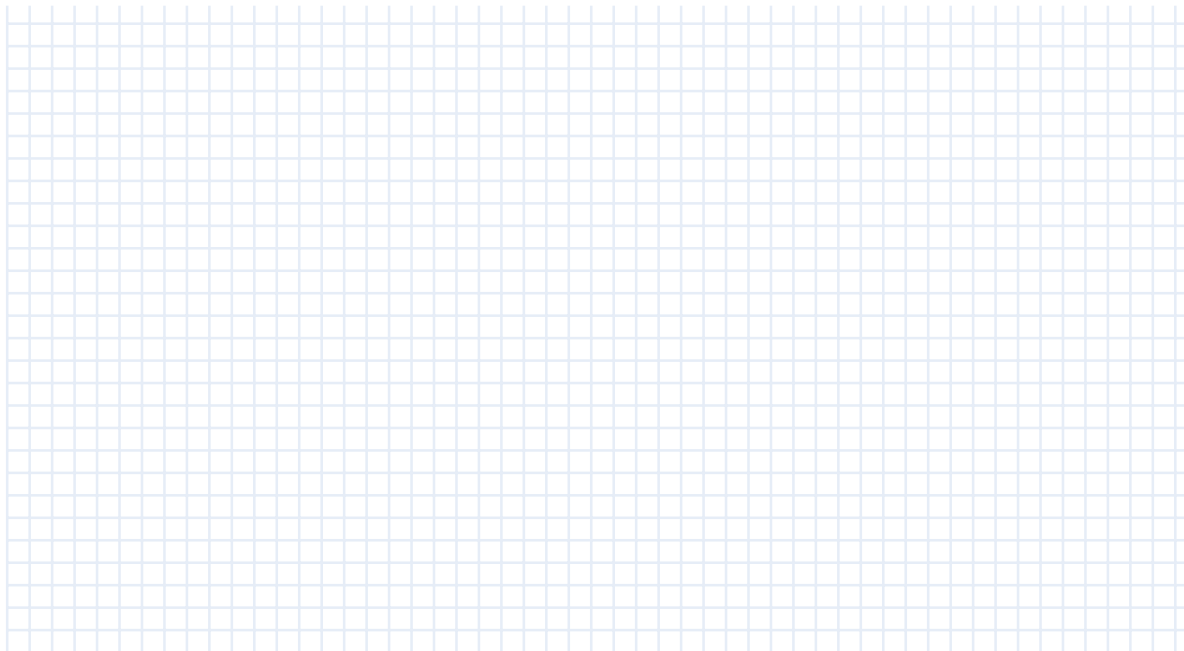
Calcul dans un référentiel inertiel, prenant en compte que les vitesses de rotations :

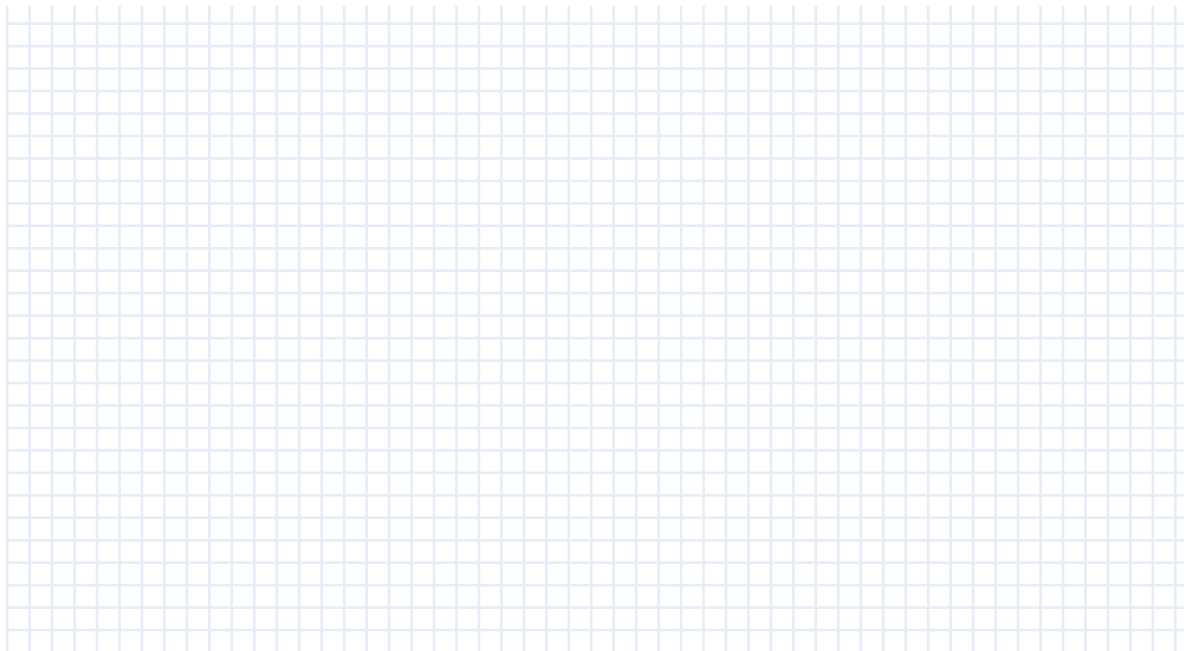


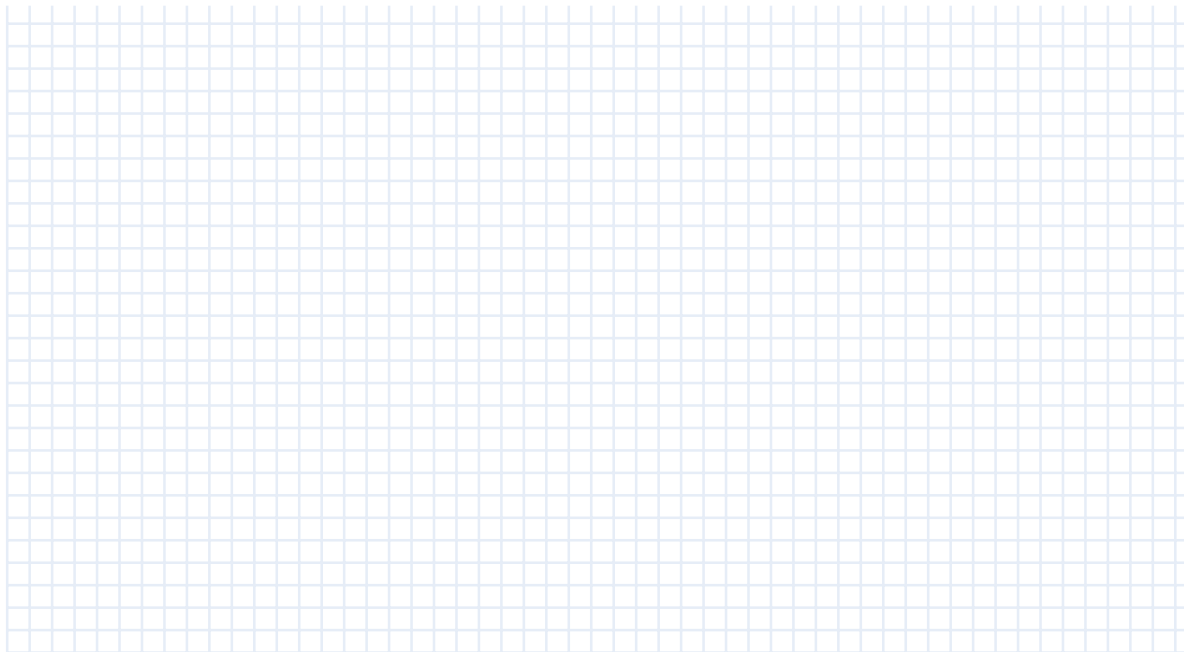
**Calcul complet :** On prend un repère  $\mathcal{R}(O, x, y, z)$  fixe avec  $O$  centre de la Terre et un repère lié à la tour  $\mathcal{R}'(A, x', y', z')$ .  $A$  est le sommet de la tour (point d'où on lâche la pierre).

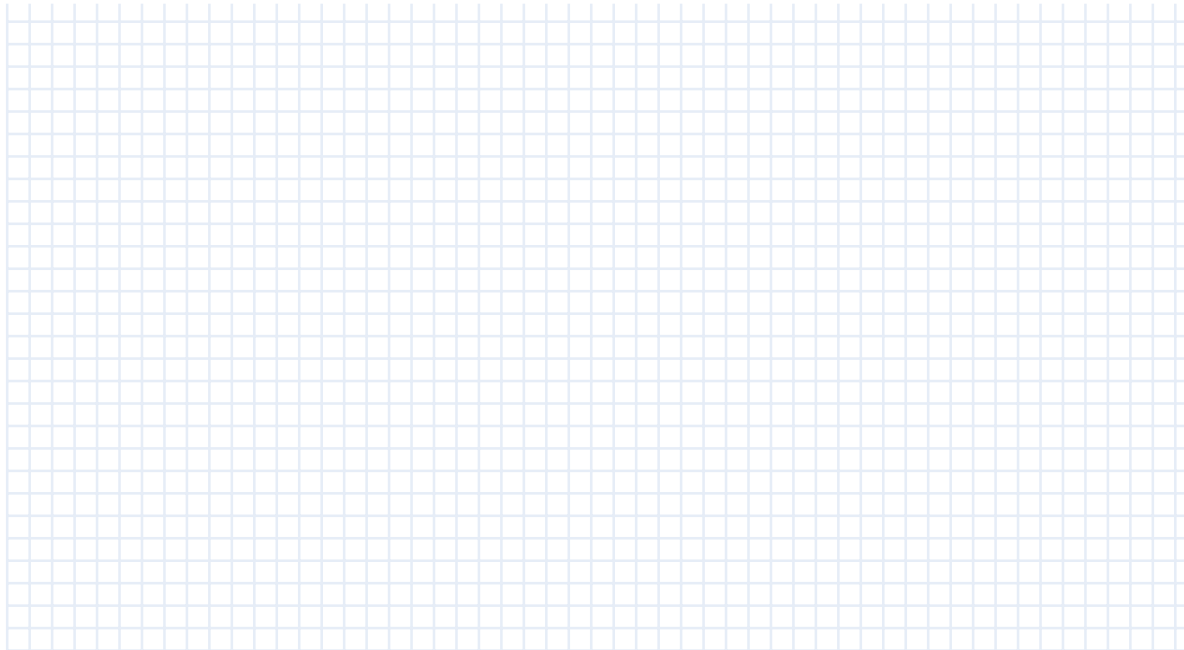












Ferdinand Reich 1799–1882

$$\lambda = 51^\circ$$



Expérience en 1833;  $h = 158\text{m}$

