

*Cours #6:*

# CHUTE LIBRE ET PROJECTILE

---

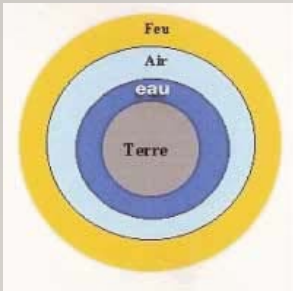
PHY-144

# 1- Chute libre

# Les objets plus pesants tombent-ils plus vite?

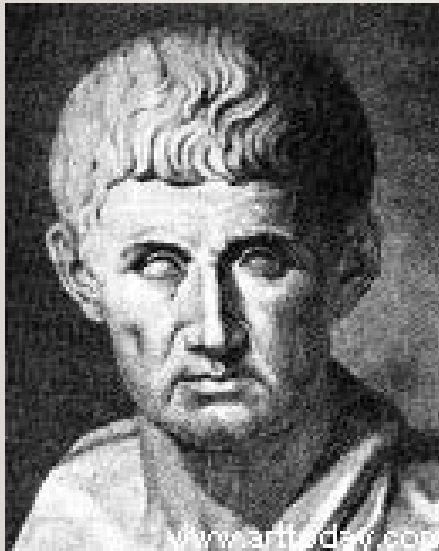
Aristote  
(384 – 322 av. J.C.)

Galileo Galilei (Galilée)  
(1564 - 1642)



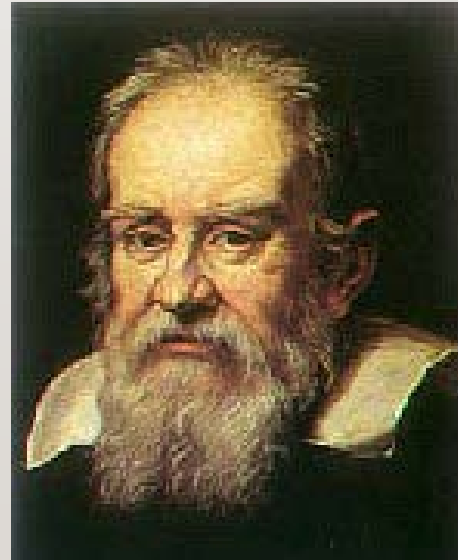
<http://www.gr-univers.fr/univers/4.php>

<http://www.infoscience.fr/histoire/portrait/aristote.html>



Corps plus lourds  
tombent plus vite.

<http://www.astrosurf.org/lombry/relative-cadre-historique2.htm>



Corps tombent à la  
même vitesse quelque  
soit leurs poids.

Vitesse de chute  
augmente  
proportionnellement  
au temps de chute.  
 $V \propto \sqrt{h}$

Vitesse de chute constante

Réponse : C'est Galilée qui a raison.

**Démonstration par l'absurde de Galilée:**

Supposons qu'un corps plus lourd tombe plus vite qu'un corps léger. Alors si on attache à l'aide d'une ficelle une grosse pierre avec une plus petite et qu'on les lâche, la grosse pierre devrait être ralentie par la petite qui tombe moins vite.  $\Rightarrow$  couple (grosse + petite) tombe moins vite que la grosse pierre CONTRADICTION car ce couple est plus lourd donc devrait tomber plus vite !!!!!

La preuve a été faite lors de la mission Apollo avec un marteau et une plume d'aigle



# L'expérience de la plume et du marteau

<http://www.astrosurf.org/lombry/galilee-hommage4.htm>



<http://perso.wanadoo.fr/mas.x.q/apollo/Missions/as15.htm>

1971: David Scott, James Irwin  
et Alfred Worden

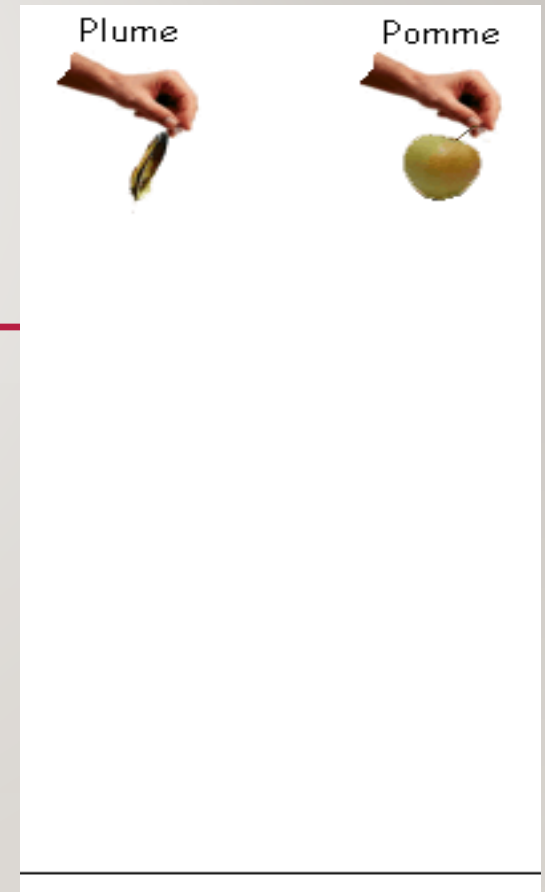


*Dave prend la plume et le marteau entre respectivement le pouce et l'index de ses mains gauche et droite, et lève ses coudes vers le haut et l'extérieur. Il lâche le marteau et la plume simultanément et retire ses mains du champ. Le marteau et la plume tombent côte à côte et frappent le sol virtuellement au même instant. Et de fait, les deux objets subissant la même accélération, ils arrivèrent ensemble au sol 1.2 sec plus tard. En analysant les images, on peut également estimer l'accélération de la force de pesanteur lunaire à hauteur d'épaule de Scott à environ  $1.63 \text{ m/s}^2$*



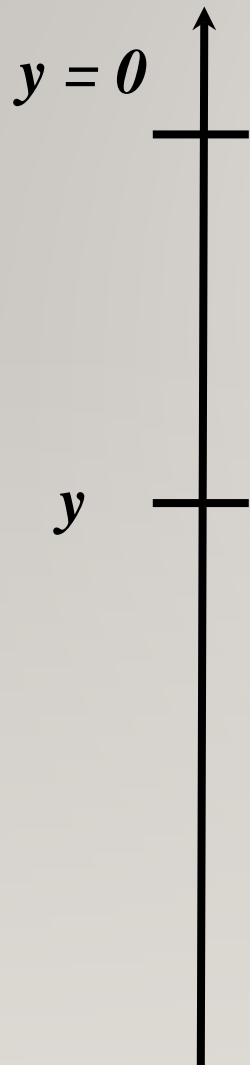
# Chute libre

<http://dispourquoipapa.free.fr/sciences/sc0015.htm>

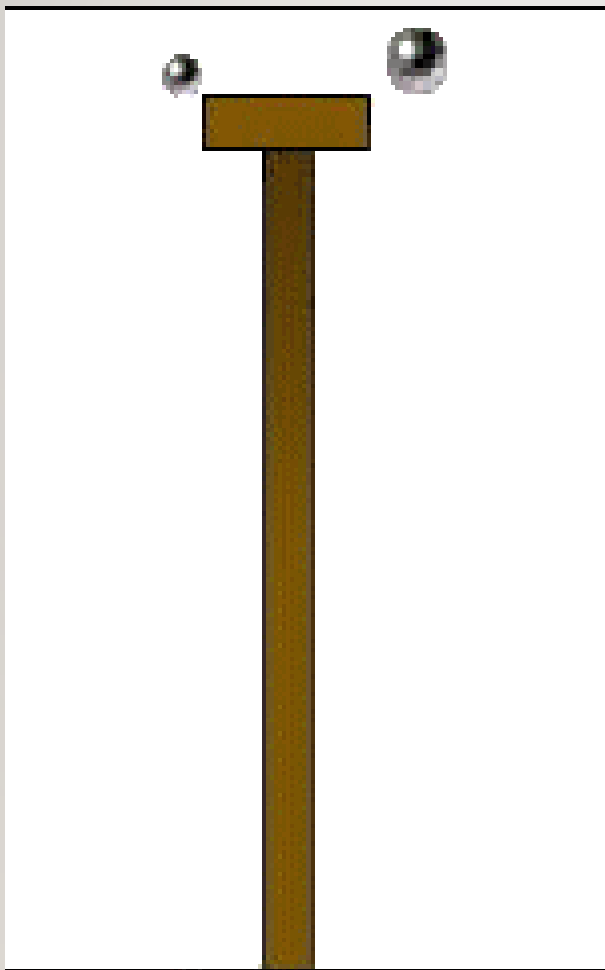


Tous les objets qui tombent au sol possèdent le même mouvement : leur vitesse augmente au même rythme (même accélération générée par l'attraction terrestre)  $\Rightarrow$  On néglige la résistance de l'air

**Peut-on évaluer la grandeur de cette accélération ?**



<http://library.thinkquest.org/2779/More.html>

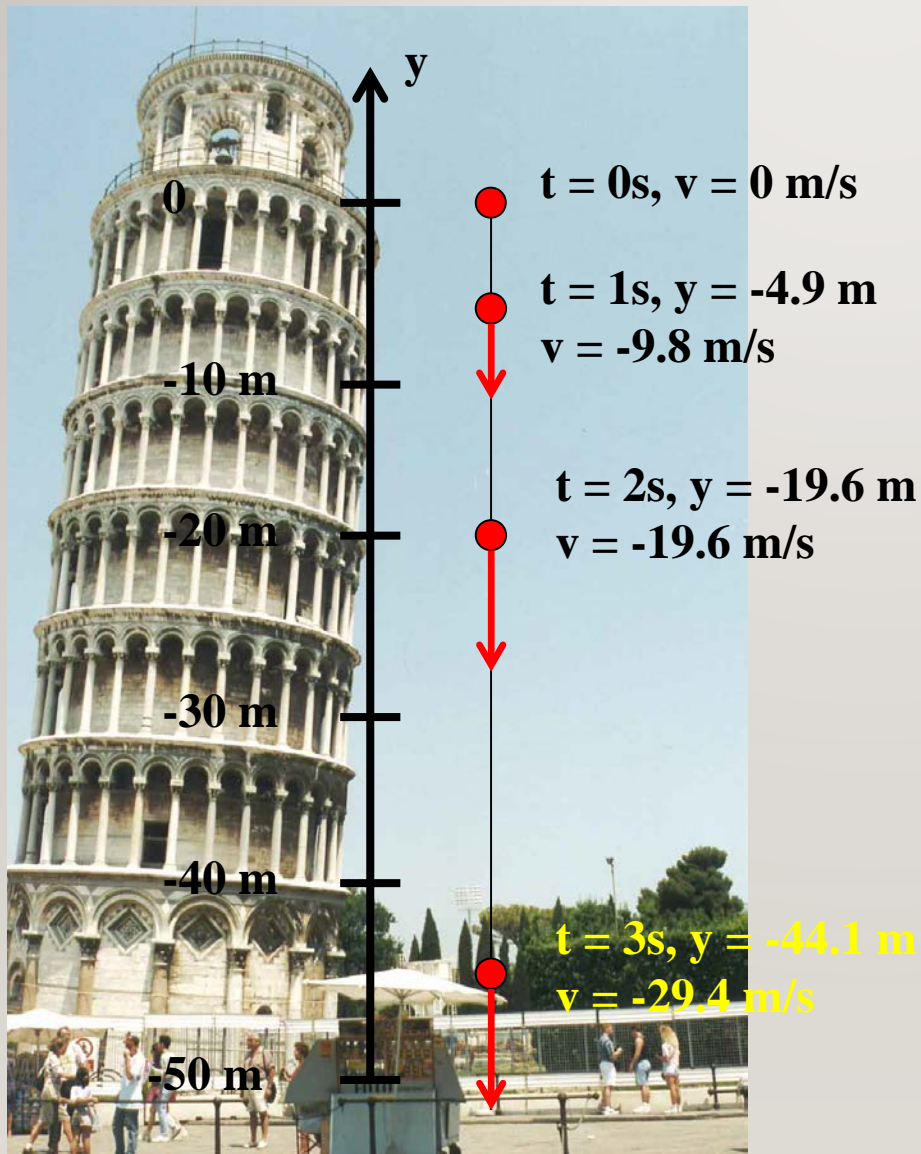


*Détermination graphique de l'accélération  $a$  du corps en chute libre :*

*Méthode graphique*

- construction du graphique  $y(t)$  (valeurs lues directement sur la photo)*
- détermination des vitesses instantanées (tangente à la courbe de  $y(t)$  à divers instants  $t$ )*
- détermination des accélérations instantanées (tangente à la courbe de  $v(t)$  à divers instants  $t$ )*

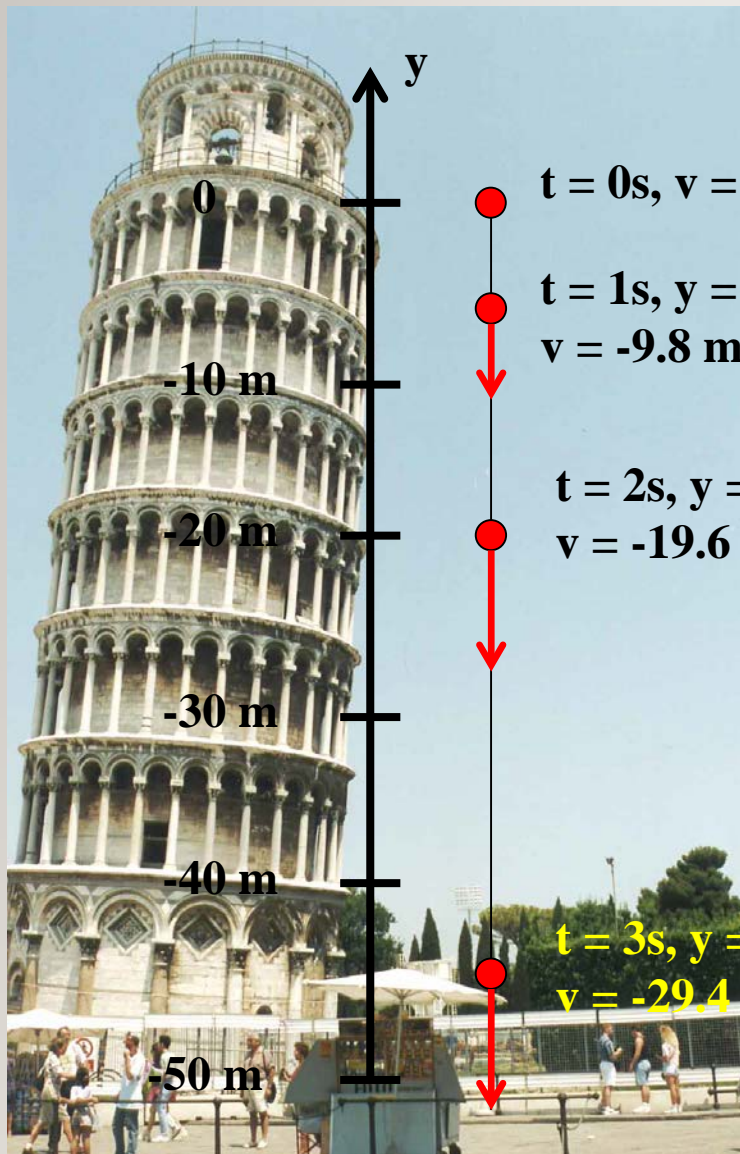




*Expérience célèbre  
effectuée par Galilée  
(1564 - 1642)*

*Il aurait laissé tomber  
2 boulets de canon de tailles  
différentes du haut de la tour  
penchée de Pise; les 2 boulets  
ont touché le sol en même  
temps.*





## Analyse mathématique de la courbe $y(t)$



### Conclusion :

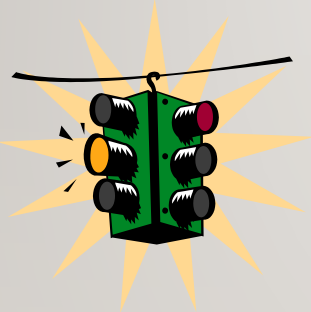
*La chute libre est un MRUA, avec une accélération*

$$a = -9.81 \text{ m/s}^2$$

Ou en appliquant la seconde loi de Newton

$$\vec{W} = m\vec{g} \quad \text{et} \quad \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

# Équations du mouvement de chute libre d'un corps



⇒ **M.R.U.A**



**Application**

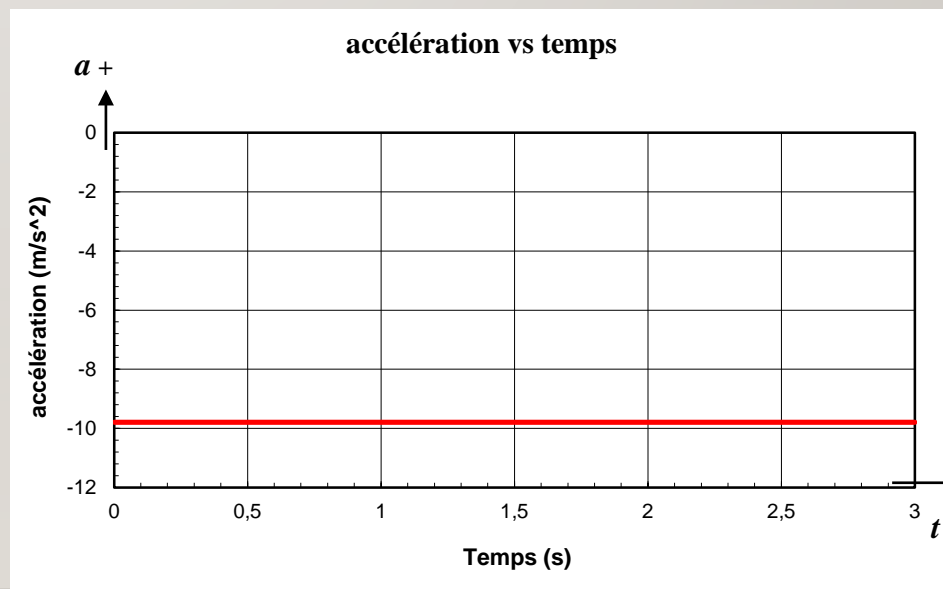
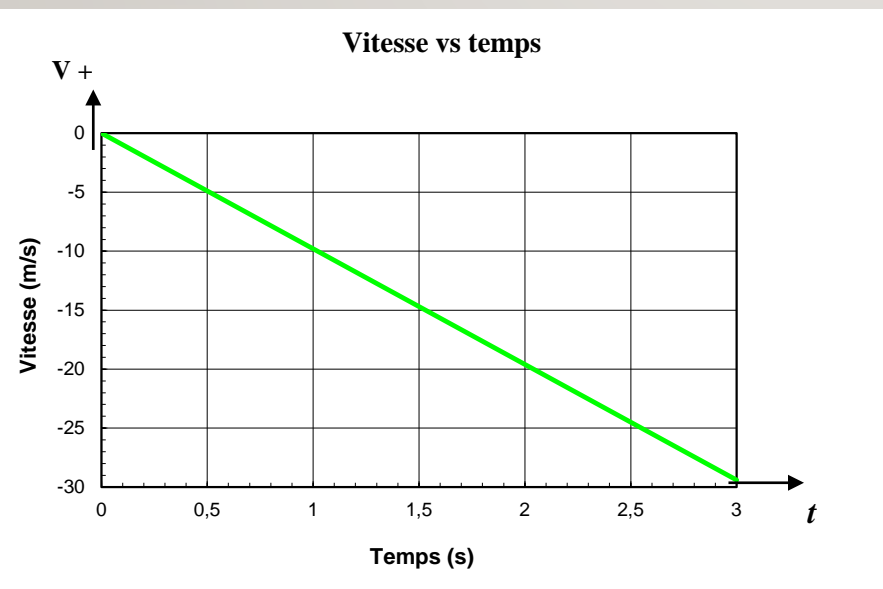
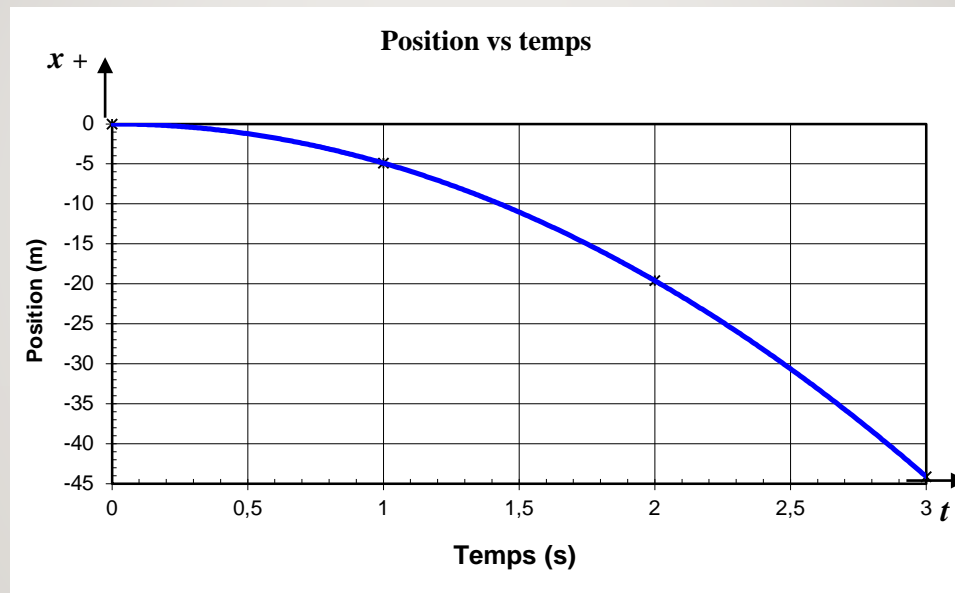


$$a_y = -g = C^{te} = -9.81 \text{ m/s}^2$$

$$(v_y)_f = (v_y)_i - g(t_f - t_i)$$

$$y_f = y_i + (v_y)_i(t_f - t_i) - \frac{1}{2}g(t_f - t_i)^2$$

$$(v_y)_f^2 = (v_y)_i^2 - 2g(y_f - y_i)$$

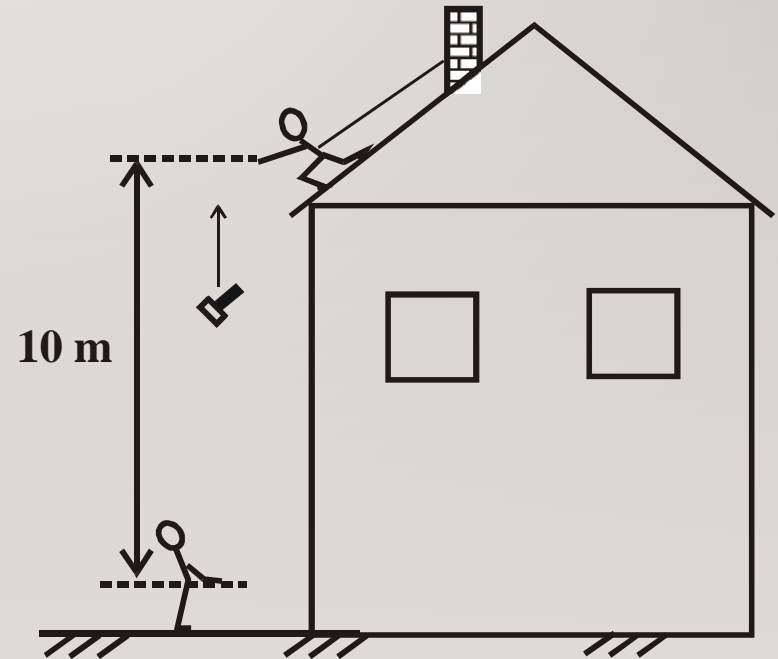


## Applications:

1- Un électro-aimant retient une lourde pièce de métal à 20 m au dessus du sol. À cet instant, une panne interrompt le courant dans l'électro-aimant.

Si un ouvrier se trouve directement sous la pièce de métal à ce moment, de combien de temps dispose-t-il pour s'écarter ?

2- Avec quelle vitesse initiale minimale un marteau doit-il être lancé pour qu'un ouvrier sur le toit puisse le saisir ?

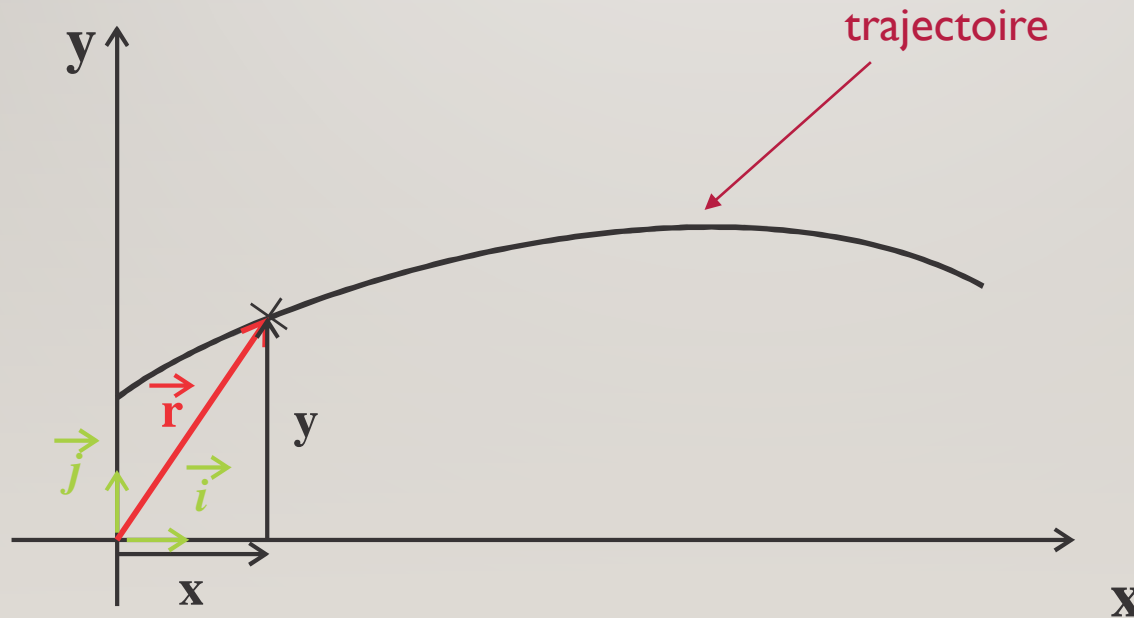




## 2- Mouvement curviligne

### Définition :

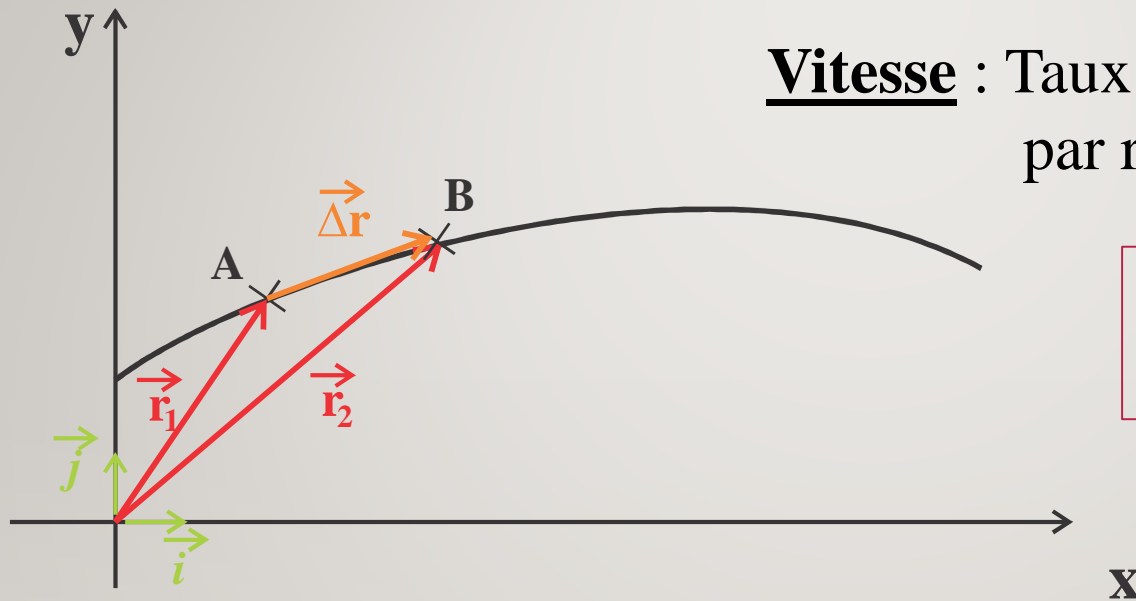
Une particule se déplaçant le long d'une courbe autre qu'une droite est identifiée comme subissant un mouvement curviligne.



### Position:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

**Vitesse** : Taux de variation de la position  
par rapport au temps



$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

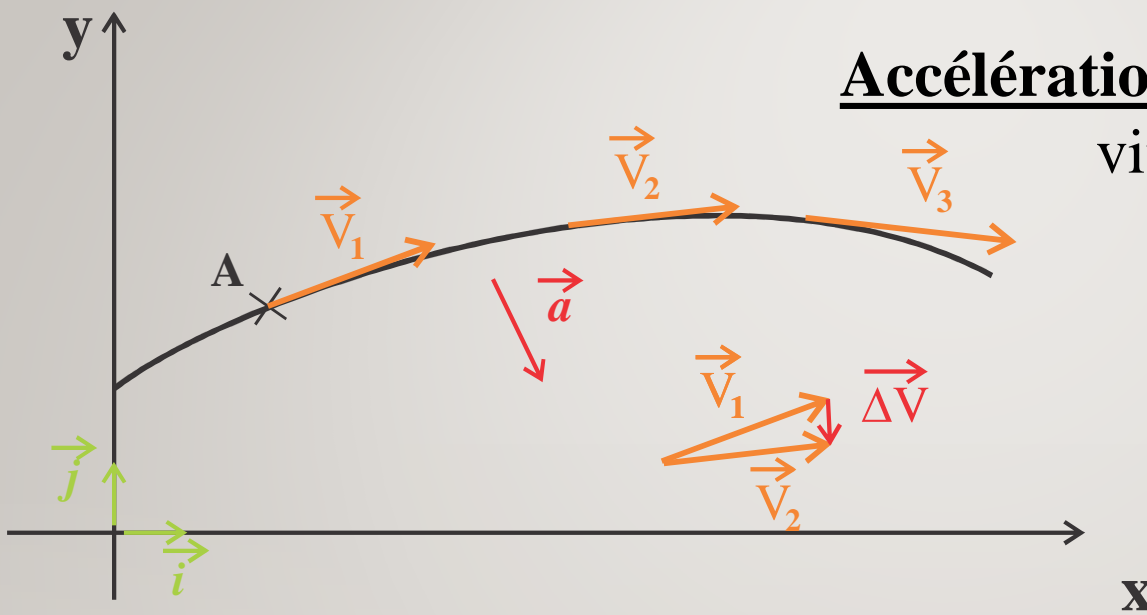
*Remarque:* si  $\Delta t \rightarrow 0$  alors  $\Delta \vec{r}$  devient tangent à la trajectoire  
 $\Rightarrow \vec{V}$  est toujours tangent à la trajectoire dans le sens  
du mouvement

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} \quad \text{ou}$$

$$V_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$V_y = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

**Accélération** : Taux de variation de la vitesse par rapport au temps



$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

Remarques : i)  $\vec{a}$  est toujours dirigée vers l'intérieure de la trajectoire  
ii)  $\vec{a}$  n'est pas toujours dans le sens du mouvement mais dans celui de  $\Delta\vec{V}$

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} \quad \text{ou} \quad \begin{aligned} a_x &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V_x}{\Delta t} \\ a_y &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V_y}{\Delta t} \end{aligned}$$

# 3- Projectile



*Est-ce un projectile ?*



<http://jmm45.free.fr/sondes/hayabusa/hayabusa.htm>

# Projectile



<http://photos.linternaute.com/photo/432538/6605646015/6/rosace/>



# Projectile

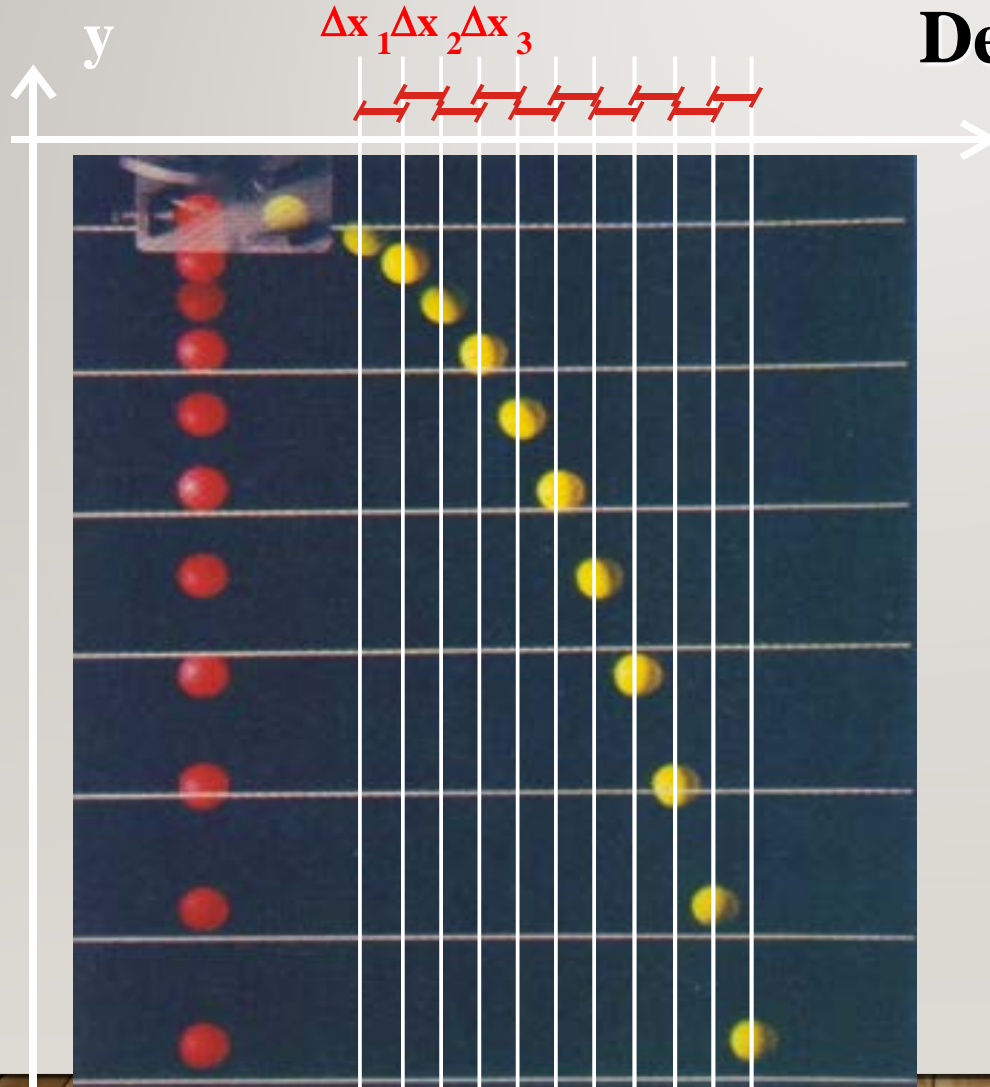


Description d'un projectile



<http://photo.coolgrafik.com/showphoto-40041.html>

# Lancement horizontal



## Description du mouvement

Suivant l'horizontale :

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \Delta x = \text{Cte}$$

$$\Rightarrow a_x = 0 \text{ donc } v_x = \text{Cte}$$

Suivant la verticale :

Chute libre: MRUA



# Caractéristiques d'un projectile :

- Résistance de l'air négligeable

⇒ on néglige le frottement du à l'air

Le corps n'est alors soumis qu'à une **seule force**, la force gravitationnelle orientée selon l'axe vertical et vers le bas



- M.R.U. suivant l'axe x,  $a_x = 0$  donc  $v_x = \text{Cte}$

- M.R.U.A. suivant l'axe y ⇒ chute libre:  $a_y = -g$

- Valide entre le moment où l'objet quitte et le moment où il est sur le point de toucher tout autre corps !!!

# Équations qui régissent le mouvement d'un projectile

## Mouvement horizontal (MRU)

$$\Delta x = Cte \Rightarrow v_x = Cte$$

$$a_x = 0$$

$$(v_x)_f = C^{te} = (v_x)_i$$

$$x_f = x_i + (v_x)_i (t_f - t_i)$$

## Mouvement vertical (MRUA)

### Chute libre

$$a_y = -g = C^{te} = -9.81 \text{ m/s}^2$$

$$(v_y)_f = (v_y)_i - g(t_f - t_i)$$

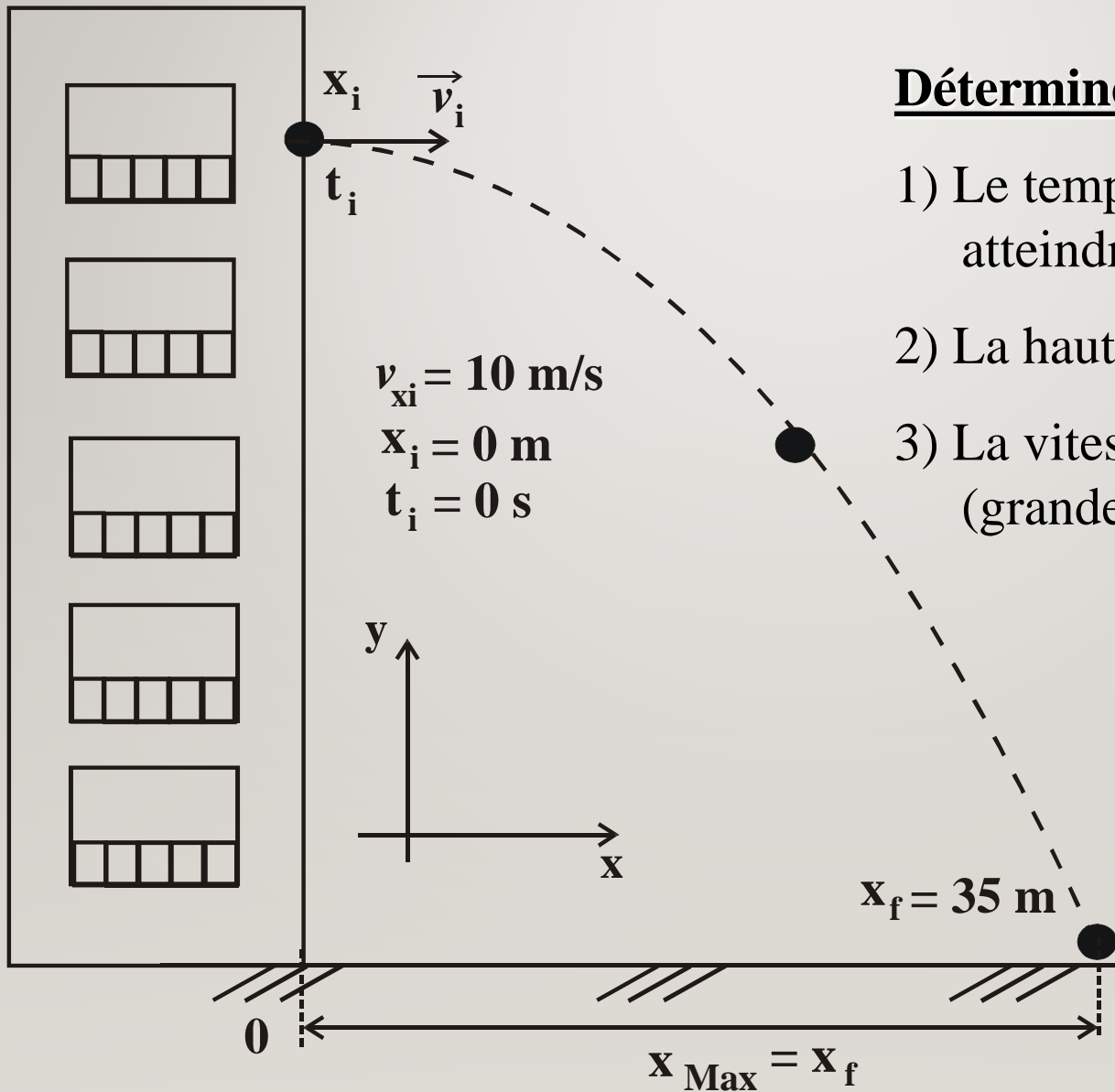
$$y_f = y_i + (v_y)_i (t_f - t_i) - \frac{1}{2} g (t_f - t_i)^2$$

$$(v_y)_f^2 = (v_y)_i^2 - 2g(y_f - y_i)$$



## Application

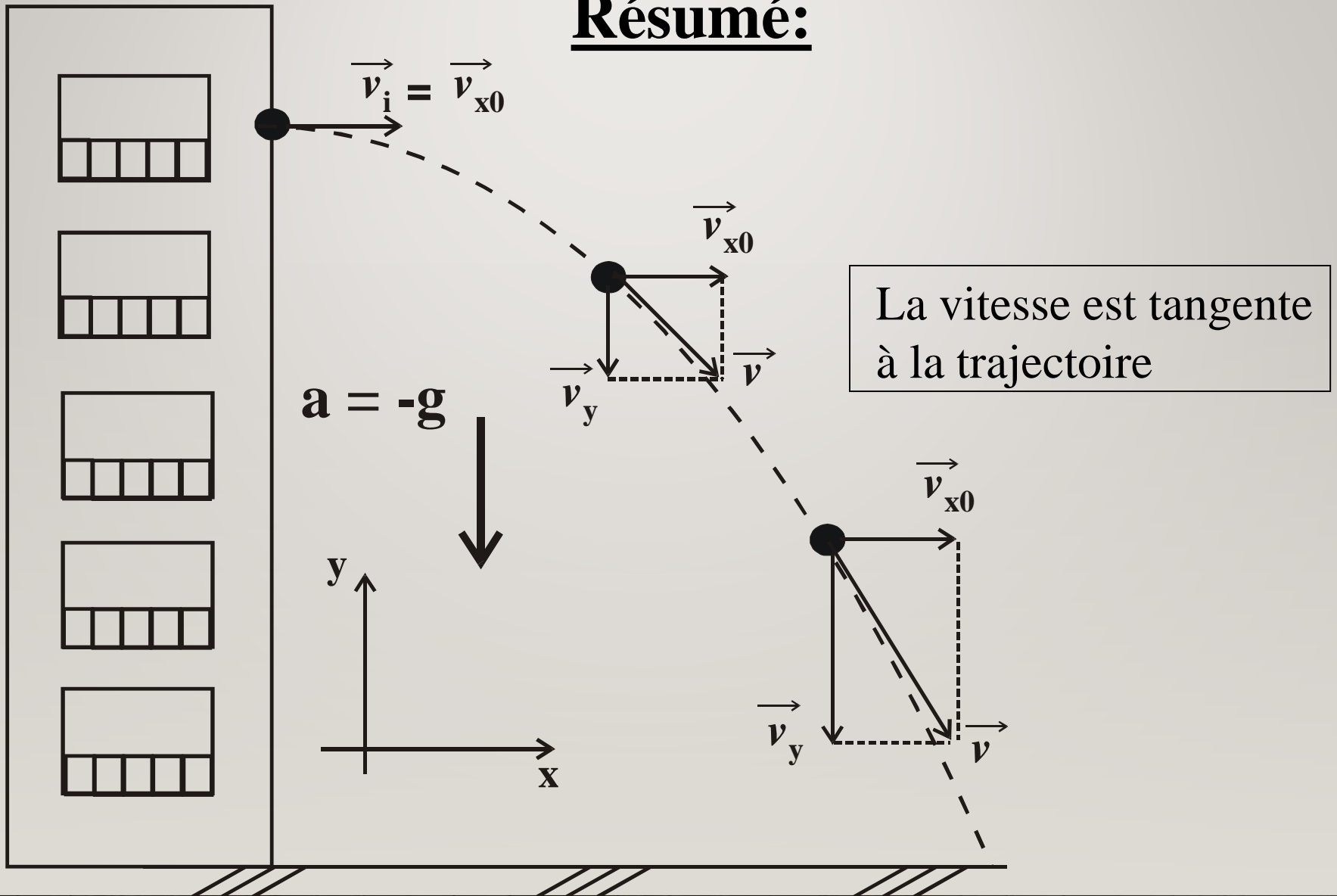




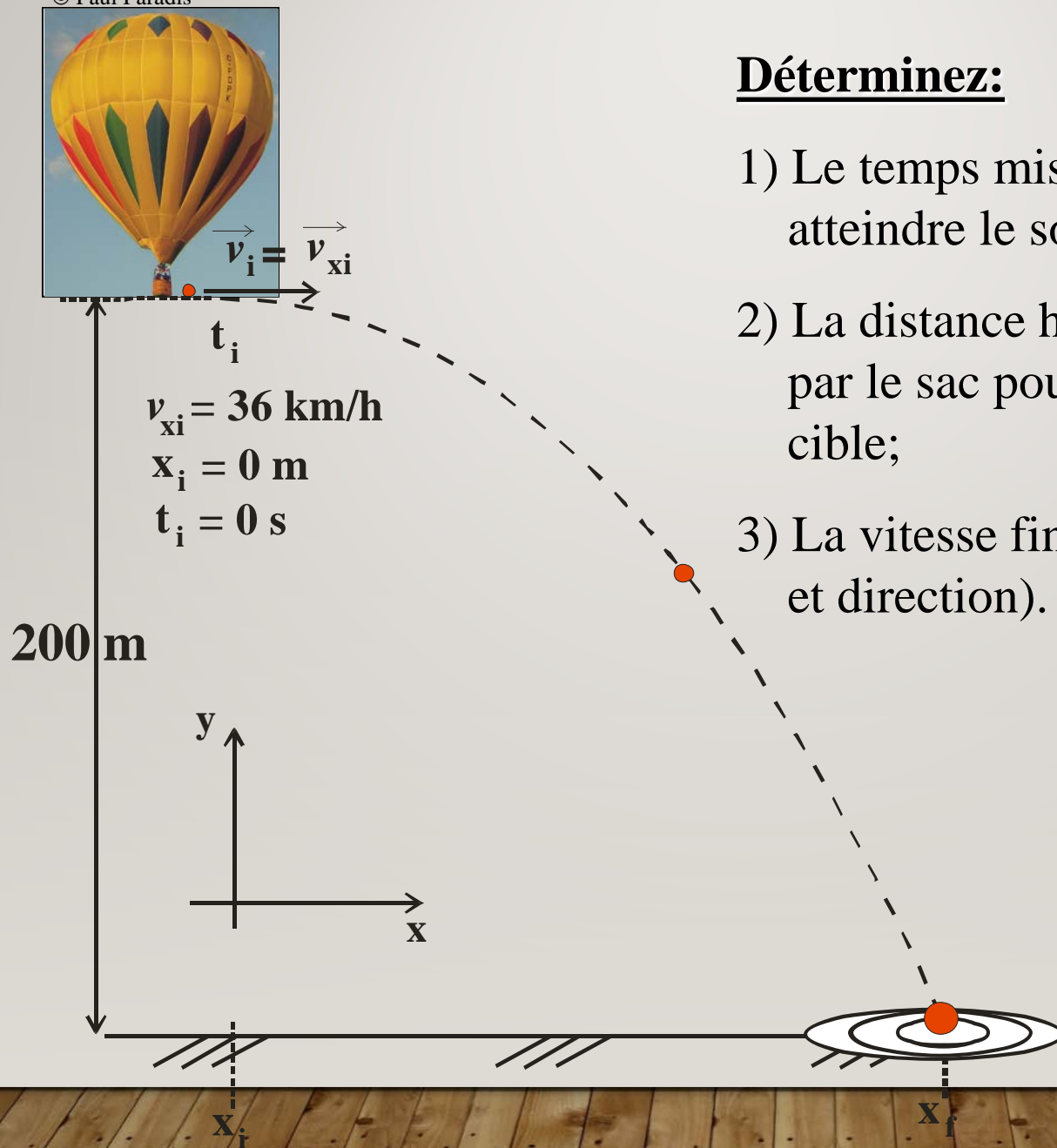
### Déterminez:

- 1) Le temps mis par la balle pour atteindre le sol.
- 2) La hauteur initiale de la balle
- 3) La vitesse finale de la balle (grandeur et direction)

# Résumé:







## Déterminez:

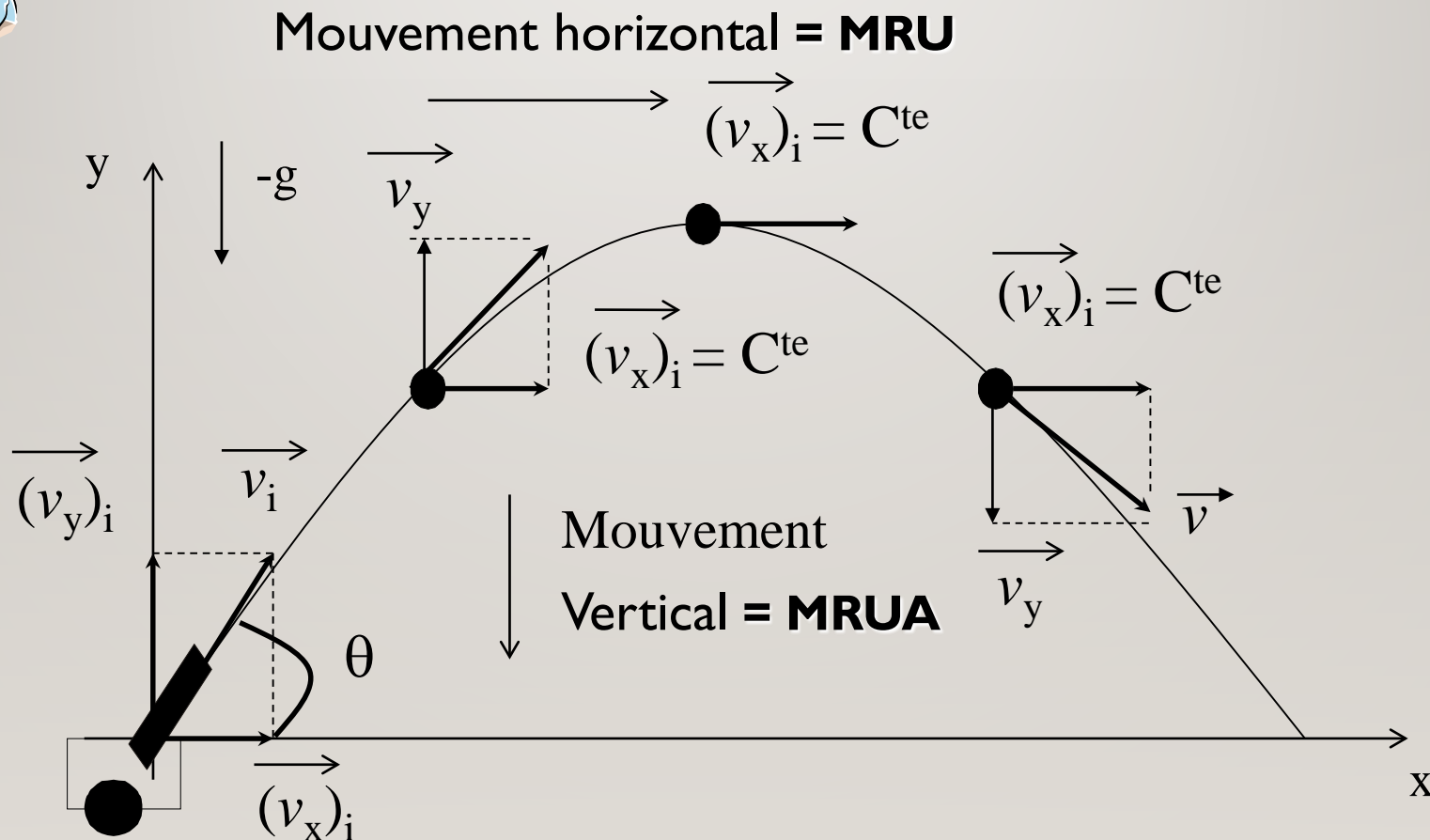
- 1) Le temps mis par le sac pour atteindre le sol (toucher la cible);
- 2) La distance horizontale parcourue par le sac pour qu'il atteigne la cible;
- 3) La vitesse finale du sac (grandeur et direction).



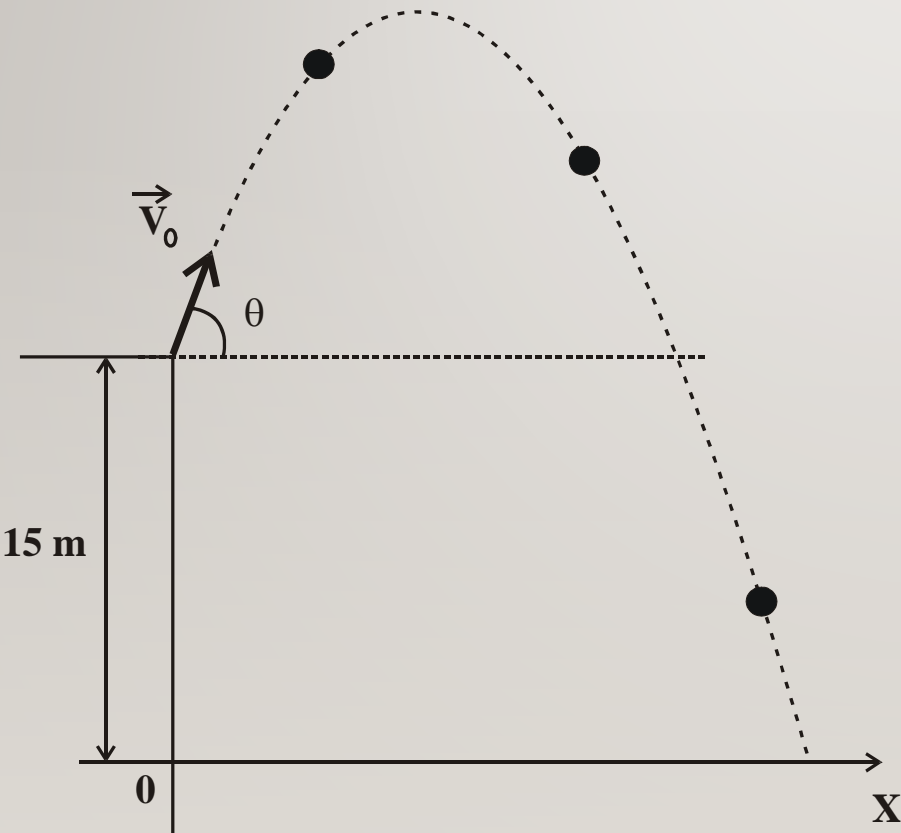
## Application



# Lancement quelconque



## Application:

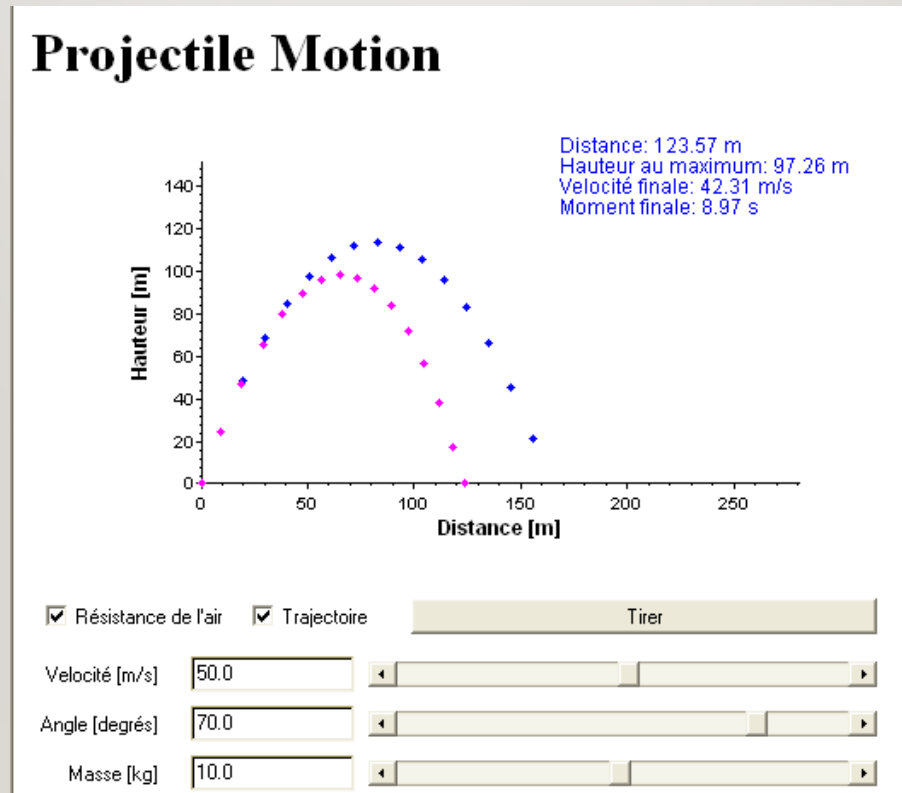


D'une corniche située à 15 mètres au dessus du sol, une balle est lancée avec une vitesse initiale  $V_0 = 30 \text{ m/s}$  et angle de  $\theta = 60^\circ$  au dessus de l'horizontal tel qu'illustré sur la figure.

**Déterminez :**

- 1- la position de la balle 3 secondes après son départ;
- 2- la vitesse (grandeur et direction) 3 secondes après son départ;
- 3- la hauteur maximale atteinte par la balle ; (coordonnées et temps mis pour l'atteindre)
- 4- la portée de la balle (coordonnées et temps mis pour l'atteindre);
- 5- le temps nécessaire pour que la balle touche le sol;
- 6- la distance horizontale parcourue lorsque la balle atteint le sol.

# Projectile avec résistance de l'air



[http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more\\_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html](http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html)