

# Cours de Physique : Cinématique

A. Arciniegas  
N. Wilkie-Chancellier  
G. Sauderais

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville



CERGY PARIS  
UNIVERSITÉ

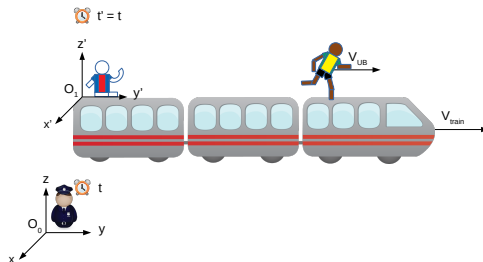


IUT  
CERGY-PONTOISE



## Principe de Causalité

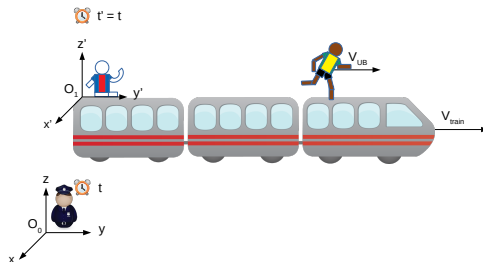
La cause est, pour tout observateur, antérieure à l'effet qu'elle produit :  
Le temps est irréversible.



Exemple de mouvements relatifs.

## Principe de Causalité

La cause est, pour tout observateur, antérieure à l'effet qu'elle produit :  
Le temps est irréversible.

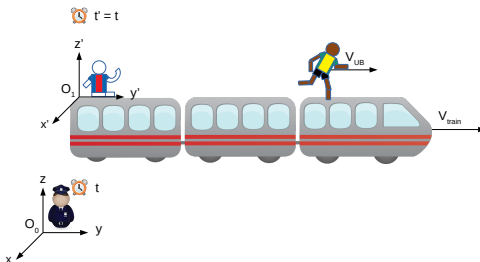


Exemple de mouvements relatifs.

La **cinématique** est la partie de la physique qui décrit les mouvements des corps solides, sans chercher à en expliquer les causes.

## Principe de Causalité

La cause est, pour tout observateur, antérieure à l'effet qu'elle produit :  
Le temps est irréversible.



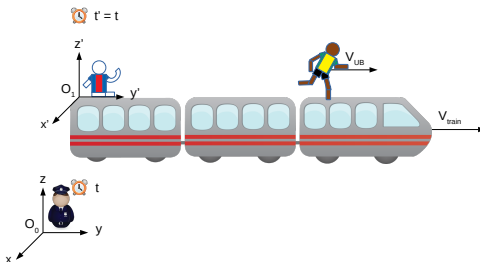
Exemple de mouvements relatifs.

La **cinématique** est la partie de la physique qui décrit les mouvements des corps solides, sans chercher à en expliquer les causes.

Pour faire une étude cinématique il faut un *système de coordonnées* (SC), auquel nous rapporterons toutes les observations, et une *horloge*.

## Principe de Causalité

La cause est, pour tout observateur, antérieure à l'effet qu'elle produit :  
Le temps est irréversible.

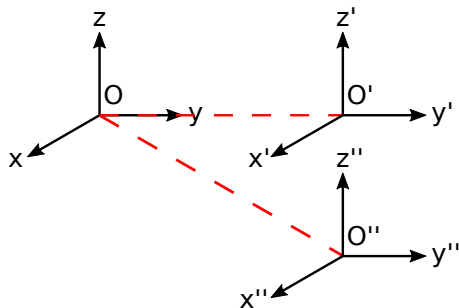


Exemple de mouvements relatifs.

La **cinématique** est la partie de la physique qui décrit les mouvements des corps solides, sans chercher à en expliquer les causes.

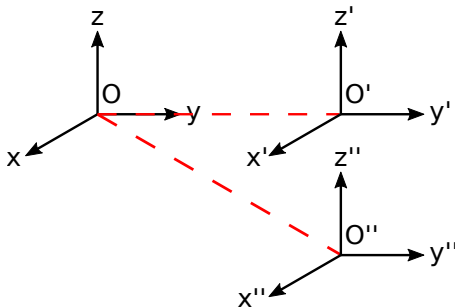
Pour faire une étude cinématique il faut un *système de coordonnées* (SC), auquel nous rapporterons toutes les observations, et une *horloge*.

Rappelons que pour Newton le temps est absolu...



Exemple de référentiels galiléens.

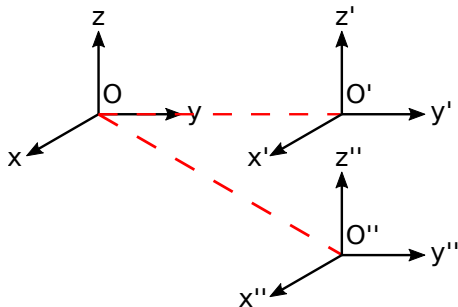
Un référentiel est dit *galiléen* si le mouvement d'un point matériel isolé est rectiligne et uniforme.



Exemple de référentiels galiléens.

Un référentiel est dit *galiléen* si le mouvement d'un point matériel isolé est rectiligne et uniforme.

Si un référentiel est galiléen, tous ceux qui sont immobiles ou en translation rectiligne uniforme par rapport à celui-ci, sont également galiléens.



Exemple de référentiels galiléens.

Un référentiel est dit *galiléen* si le mouvement d'un point matériel isolé est rectiligne et uniforme.

Si un référentiel est galiléen, tous ceux qui sont immobiles ou en translation rectiligne uniforme par rapport à celui-ci, sont également galiléens.

<https://www.youtube.com/watch?v=Ytk2z3NApYo>



## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

- dont l'origine est située au centre de masse du système solaire,

## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

- dont l'origine est située au centre de masse du système solaire,
- et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines (étoiles dites fixes), n'ayant pas de mouvement apparent dans notre galaxie, la Voie Lactée.

## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

- dont l'origine est située au centre de masse du système solaire,
- et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines (étoiles dites fixes), n'ayant pas de mouvement apparent dans notre galaxie, la Voie Lactée.

## Remarques

- 1 Rigoureusement, ce référentiel n'est pas galiléen car le Soleil est en mouvement dans notre galaxie.

## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

- dont l'origine est située au centre de masse du système solaire,
- et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines (étoiles dites fixes), n'ayant pas de mouvement apparent dans notre galaxie, la Voie Lactée.

## Remarques

- 1 Rigoureusement, ce référentiel n'est pas galiléen car le Soleil est en mouvement dans notre galaxie.
- 2 Le Soleil décrit une orbite circulaire autour du noyau galactique en une période de 230 million d'années...

## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

- dont l'origine est située au centre de masse du système solaire,
- et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines (étoiles dites fixes), n'ayant pas de mouvement apparent dans notre galaxie, la Voie Lactée.

## Remarques

- 1 Rigoureusement, ce référentiel n'est pas galiléen car le Soleil est en mouvement dans notre galaxie.
- 2 Le Soleil décrit une orbite circulaire autour du noyau galactique en une période de 230 million d'années...
- 3 Tant que la durée de l'expérience est très faible devant cette période de révolution galactique, on peut donc se contenter du référentiel de Copernic comme galiléen.

## Le référentiel « absolu » de Copernic

À l'heure actuelle, est le meilleur référentiel galiléen que l'on soit en mesure de mettre en évidence :

- dont l'origine est située au centre de masse du système solaire,
- et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines (étoiles dites fixes), n'ayant pas de mouvement apparent dans notre galaxie, la Voie Lactée.

## Remarques

- 1 Rigoureusement, ce référentiel n'est pas galiléen car le Soleil est en mouvement dans notre galaxie.
- 2 Le Soleil décrit une orbite circulaire autour du noyau galactique en une période de 230 million d'années...
- 3 Tant que la durée de l'expérience est très faible devant cette période de révolution galactique, on peut donc se contenter du référentiel de Copernic comme galiléen.

Concrètement cette dernière condition est toujours vérifiée pour des expériences humaines.

<https://www.youtube.com/watch?v=N4y1WD1-WP8>

# Référentiels de Copernic et de Kepler

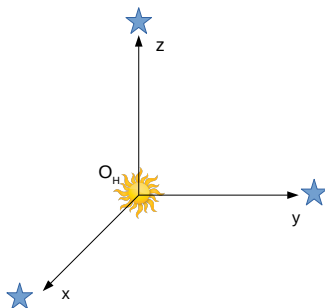
## Le référentiel de Kepler (Héliocentrique)

Ce référentiel est en translation par rapport à celui de Copernic :

- son origine est située au centre de masse du Soleil,
- et ses axes pointent vers des étoiles lointaines.

### Utilisation

Il est adapté pour l'étude du mouvement des planètes du système solaire.



Référentiel de Kepler.

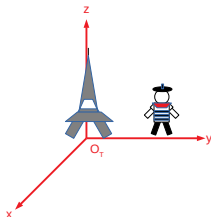


## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,



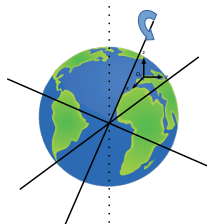
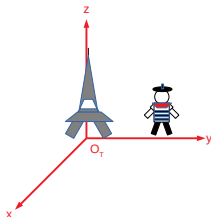
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



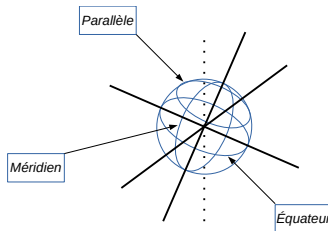
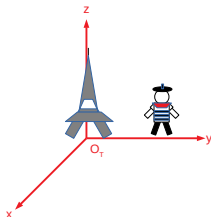
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



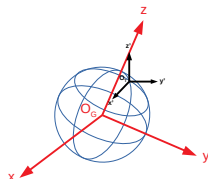
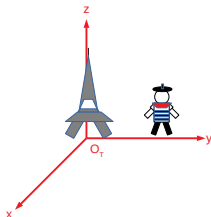
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



Un tel référentiel, en rotation autour de l'axe des pôles, peut-il être considéré comme galiléen ?

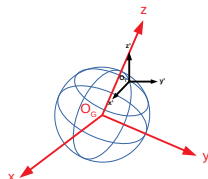
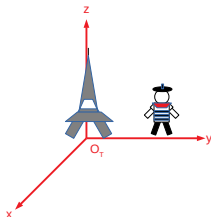
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



Tout dépend de l'échelle spatiale et temporelle du mouvement considéré et de sa durée.

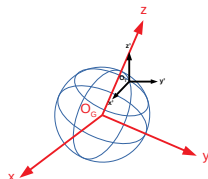
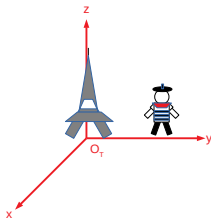
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



Si les mouvements dont les durées sont faibles devant la période de rotation propre de la Terre (1 jour), on peut, avec une précision raisonnable, considérer le référentiel local comme galiléen.

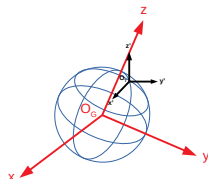
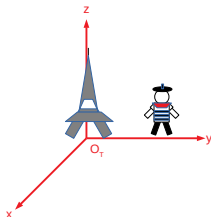
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



De même tout référentiel lié à un solide immobile par rapport à la terre (salle de cours, murs du laboratoire d'expériences) pourra être considéré comme galiléen.

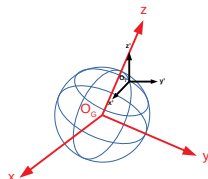
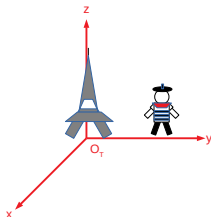
## Les référentiels terrestres locaux

Prenons le cas du référentiel centré sur la tour Eiffel.

Si nous supposons que :

- $OX$  est dirigé vers le Sud,
- $OY$  vers l'Est,
- et  $OZ$  selon la verticale locale ascendante,

sur le globe terrestre, ce référentiel local est ainsi positionné...



## Utilisation

Il est adapté pour l'étude du mouvement des objets proches de la surface, mais tel n'est pas le cas pour la Météorologie et la Balistique.



## Le référentiel géocentrique

On peut associer à la Terre un SC :

- dont le centre coïncide avec son centre,
- dont les axes  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  conservent une direction fixe et
- solidaire de la rotation sur elle-même.

## Le référentiel géocentrique

Le référentiel géocentrique est le référentiel :

- lié au centre de la Terre
- dont les axes conservent la même orientation par rapport au référentiel de Copernic/Kepler.

## Le référentiel géocentrique

Le référentiel géocentrique est le référentiel :

- lié au centre de la Terre
- dont les axes conservent la même orientation par rapport au référentiel de Copernic/Kepler.

### Remarque

La Terre est en translation « elliptique » (non rectiligne uniforme) dans le référentiel de Copernic/Kepler. Ainsi, le référentiel géocentrique n'est pas en principe galiléen.

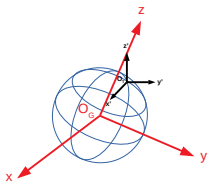
## Le référentiel géocentrique

Le référentiel géocentrique est le référentiel :

- lié au centre de la Terre
- dont les axes conservent la même orientation par rapport au référentiel de Copernic/Kepler.

## Remarque

La Terre est en translation « elliptique » (non rectiligne uniforme) dans le référentiel de Copernic/Kepler. Ainsi, le référentiel géocentrique n'est pas en principe galiléen.



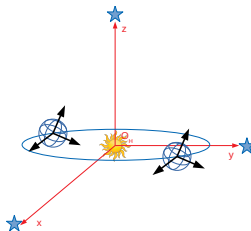
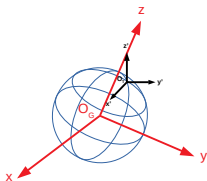
## Le référentiel géocentrique

Le référentiel géocentrique est le référentiel :

- lié au centre de la Terre
- dont les axes conservent la même orientation par rapport au référentiel de Copernic/Kepler.

## Remarque

La Terre est en translation « elliptique » (non rectiligne uniforme) dans le référentiel de Copernic/Kepler. Ainsi, le référentiel géocentrique n'est pas en principe galiléen.



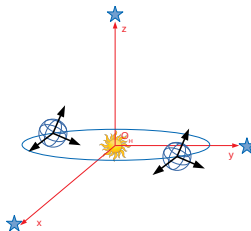
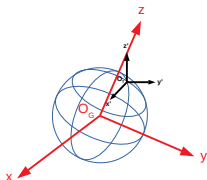
## Le référentiel géocentrique

Le référentiel géocentrique est le référentiel :

- lié au centre de la Terre
- dont les axes conservent la même orientation par rapport au référentiel de Copernic/Kepler.

## Remarque

La Terre est en translation « elliptique » (non rectiligne uniforme) dans le référentiel de Copernic/Kepler. Ainsi, le référentiel géocentrique n'est pas en principe galiléen.



Cependant pour des mouvements dont les distances caractéristiques sont faibles devant la dimension de l'orbite terrestre et dont les durées caractéristiques sont faibles devant la période de révolution de la Terre (1 an), on peut, avec une très bonne approximation, le considérer comme galiléen.

# Référentiel Géocentrique

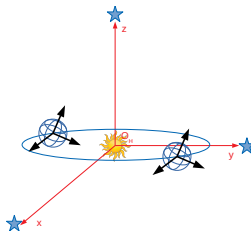
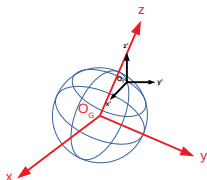
## Le référentiel géocentrique

Le référentiel géocentrique est le référentiel :

- lié au centre de la Terre
- dont les axes conservent la même orientation par rapport au référentiel de Copernic/Kepler.

## Remarque

La Terre est en translation « elliptique » (non rectiligne uniforme) dans le référentiel de Copernic/Kepler. Ainsi, le référentiel géocentrique n'est pas en principe galiléen.



## Utilisation

Il est adapté pour l'étude du mouvement des satellites de la Terre (Lune, artificiels...)

## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.



## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.
- On choisit un axe suivant cette droite et la position de la particule est repérée par sa coordonnée.

## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.
- On choisit un axe suivant cette droite et la position de la particule est repérée par sa coordonnée.
- On définit l'équation horaire : position en fonction du temps (la trajectoire est connue).

## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.
- On choisit un axe suivant cette droite et la position de la particule est repérée par sa coordonnée.
- On définit l'équation horaire : position en fonction du temps (la trajectoire est connue).
- Il y a une seule composante pour les vecteurs vitesse et accélération.

## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.
- On choisit un axe suivant cette droite et la position de la particule est repérée par sa coordonnée.
- On définit l'équation horaire : position en fonction du temps (la trajectoire est connue).
- Il y a une seule composante pour les vecteurs vitesse et accélération.
- Si le choix est laissé, on prend souvent l'origine confondue avec la position de la particule à l'instant  $t=0$  (condition initiale).

## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.
- On choisit un axe suivant cette droite et la position de la particule est repérée par sa coordonnée.
- On définit l'équation horaire : position en fonction du temps (la trajectoire est connue).
- Il y a une seule composante pour les vecteurs vitesse et accélération.
- Si le choix est laissé, on prend souvent l'origine confondue avec la position de la particule à l'instant  $t=0$  (condition initiale).

### Mouvement rectiligne uniforme

Vecteur vitesse constant  $\Leftrightarrow \vec{v}(t) = \vec{V}_0 = v_0 \vec{u}_x$

Accélération nulle :  $a(t) = \ddot{x} = 0$

Vitesse :  $v(t) = \dot{x} = v_0$

Position :  $x(t) = v_0 t + x_0$

## Mouvements rectilignes en 1D

- Dans le référentiel d'étude, la trajectoire d'une particule est une portion de droite.
- On choisit un axe suivant cette droite et la position de la particule est repérée par sa coordonnée.
- On définit l'équation horaire : position en fonction du temps (la trajectoire est connue).
- Il y a une seule composante pour les vecteurs vitesse et accélération.
- Si le choix est laissé, on prend souvent l'origine confondue avec la position de la particule à l'instant  $t=0$  (condition initiale).

### Mouvement rectiligne uniformément varié

$\vec{a}(t) = \text{constante} = \vec{a}_0 = a_0 \vec{u}_x$  et trajectoire rectiligne.

Accélération :  $a(t) = \ddot{x} = a_0$

Vitesse :  $v(t) = \dot{x} = a_0 t + v_0$

Position :  $x(t) = \frac{a_0 t^2}{2} + v_0 t + x_0$

## Cas 1D : chute libre

Si un objet est lancé avec une vitesse initiale  $v_0$  colinéaire à l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  :

la trajectoire est nécessairement rectiligne puisque l'accélération est à chaque instant colinéaire à la vitesse.

## Cas 1D : chute libre

Si un objet est lancé avec une vitesse initiale  $v_0$  colinéaire à l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  :

la trajectoire est nécessairement rectiligne puisque l'accélération est à chaque instant colinéaire à la vitesse.

Notons  $z(t)$  l'altitude de l'objet à l'instant  $t$  et  $h$  l'altitude initiale.

$$\text{Ainsi : } z(t) = \frac{a_0 t^2}{2} + v_0 t + z_0 \Leftrightarrow z(t) = \frac{-gt^2}{2} + v_0 t + h$$



## Cas 1D : chute libre

Si un objet est lancé avec une vitesse initiale  $v_0$  colinéaire à l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  :

la trajectoire est nécessairement rectiligne puisque l'accélération est à chaque instant colinéaire à la vitesse.

Notons  $z(t)$  l'altitude de l'objet à l'instant  $t$  et  $h$  l'altitude initiale.

$$\text{Ainsi : } z(t) = \frac{a_0 t^2}{2} + v_0 t + z_0 \Leftrightarrow z(t) = \frac{-gt^2}{2} + v_0 t + h$$

## Cas 2D : mouvement parabolique

Si initialement l'objet est lancé avec une vitesse non colinéaire à  $\vec{g}$ , la trajectoire n'est plus rectiligne.

## Cas 1D : chute libre

Si un objet est lancé avec une vitesse initiale  $v_0$  colinéaire à l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  :

la trajectoire est nécessairement rectiligne puisque l'accélération est à chaque instant colinéaire à la vitesse.

Notons  $z(t)$  l'altitude de l'objet à l'instant  $t$  et  $h$  l'altitude initiale.

$$\text{Ainsi : } z(t) = \frac{a_0 t^2}{2} + v_0 t + z_0 \Leftrightarrow z(t) = \frac{-gt^2}{2} + v_0 t + h$$

## Cas 2D : mouvement parabolique

Si initialement l'objet est lancé avec une vitesse non colinéaire à  $\vec{g}$ , la trajectoire n'est plus rectiligne.

- En revanche elle est nécessairement courbe (dans ce cas parabolique).

## Cas 1D : chute libre

Si un objet est lancé avec une vitesse initiale  $v_0$  colinéaire à l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  :

la trajectoire est nécessairement rectiligne puisque l'accélération est à chaque instant colinéaire à la vitesse.

Notons  $z(t)$  l'altitude de l'objet à l'instant  $t$  et  $h$  l'altitude initiale.

$$\text{Ainsi : } z(t) = \frac{a_0 t^2}{2} + v_0 t + z_0 \Leftrightarrow z(t) = \frac{-gt^2}{2} + v_0 t + h$$

## Cas 2D : mouvement parabolique

Si initialement l'objet est lancé avec une vitesse non colinéaire à  $\vec{g}$ , la trajectoire n'est plus rectiligne.

- En revanche elle est nécessairement courbe (dans ce cas parabolique).
- On peut étudier séparément les composantes du mouvement dans le plan.

## Cas 1D : chute libre

Si un objet est lancé avec une vitesse initiale  $v_0$  colinéaire à l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  :

la trajectoire est nécessairement rectiligne puisque l'accélération est à chaque instant colinéaire à la vitesse.

Notons  $z(t)$  l'altitude de l'objet à l'instant  $t$  et  $h$  l'altitude initiale.

$$\text{Ainsi : } z(t) = \frac{a_0 t^2}{2} + v_0 t + z_0 \Leftrightarrow z(t) = \frac{-gt^2}{2} + v_0 t + h$$

## Cas 2D : mouvement parabolique

Si initialement l'objet est lancé avec une vitesse non colinéaire à  $\vec{g}$ , la trajectoire n'est plus rectiligne.

- En revanche elle est nécessairement courbe (dans ce cas parabolique).
- On peut étudier séparément les composantes du mouvement dans le plan.

[https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion\\_fr.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_fr.html)