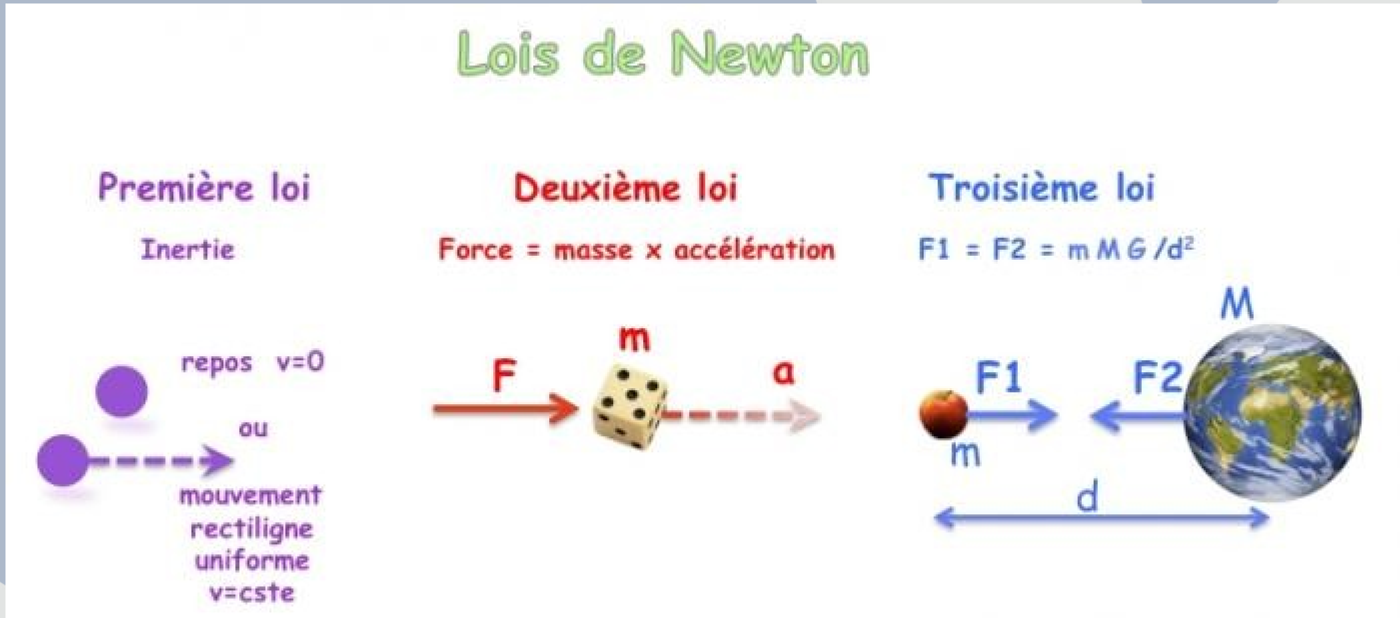
Panorama sur la Physique

Chapitre 5 – Mécanique

5.1 Les 3 principes fondamentaux de la dynamique

5.2 F=ma : équation différentielle



Présentation rédigée par Émilie Dupont (Cergy) : emilie.dupont@cyu.fr, CY308

Programme de Panorama sur la Physique

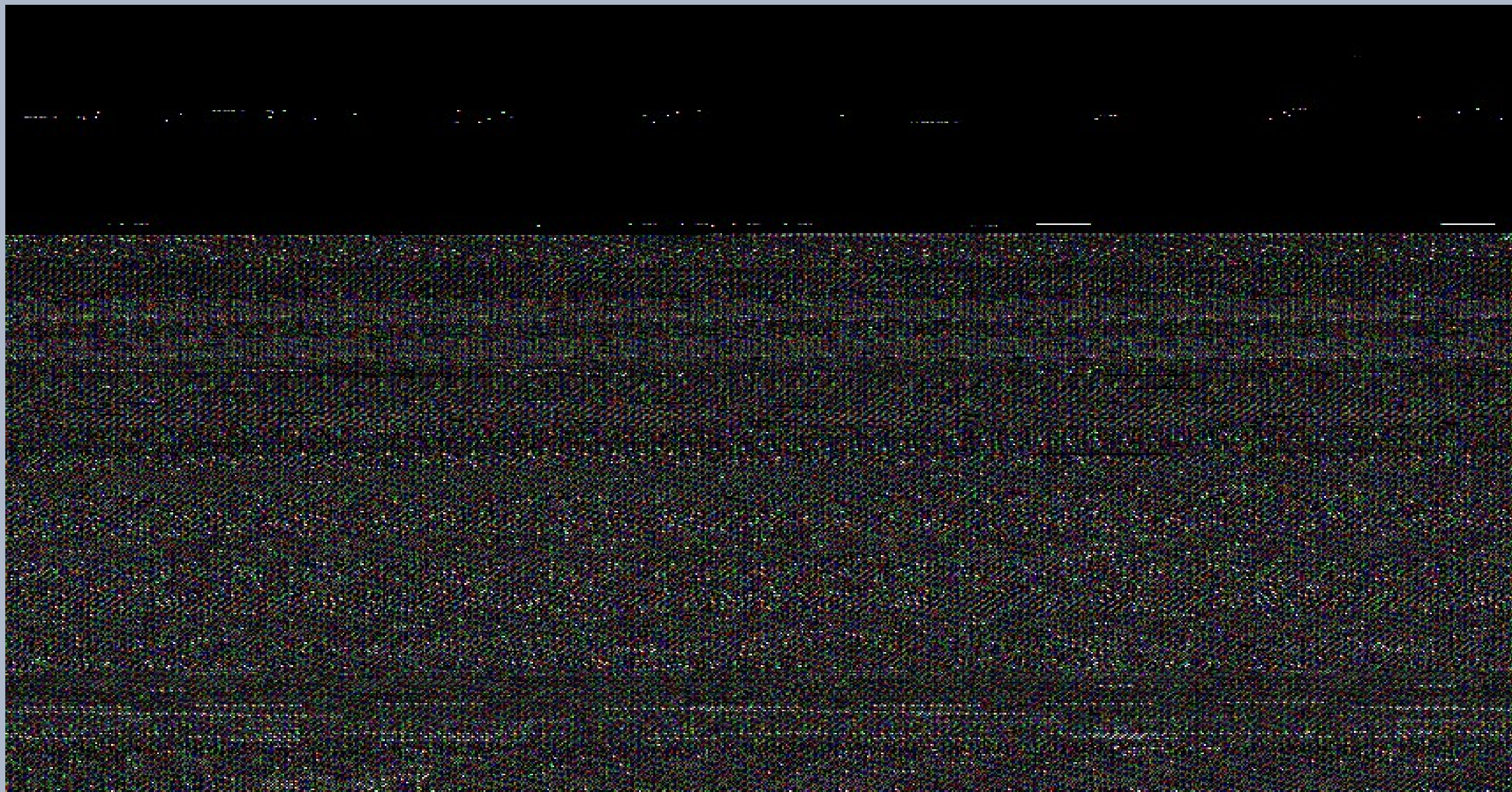
Programme de Panorama sur la Physique

- Chapitre 1 - Introduction
- Chapitre 2 - Introduction à la pensée scientifique
- Chapitre 3 - Optique : l'étude de la lumière
- Chapitre 4 – Cinématique : la description du mouvement
- **Chapitre 5 - Mécanique**

5.1.1 Des référentiels pas comme les autres : le 1er principe

Référentiels en mouvement relatif : composition des vitesses

https://www.youtube.com/watch?v=ZzF73XtFiTo



5.1.1 Des référentiels pas comme les autres : le 1er principe

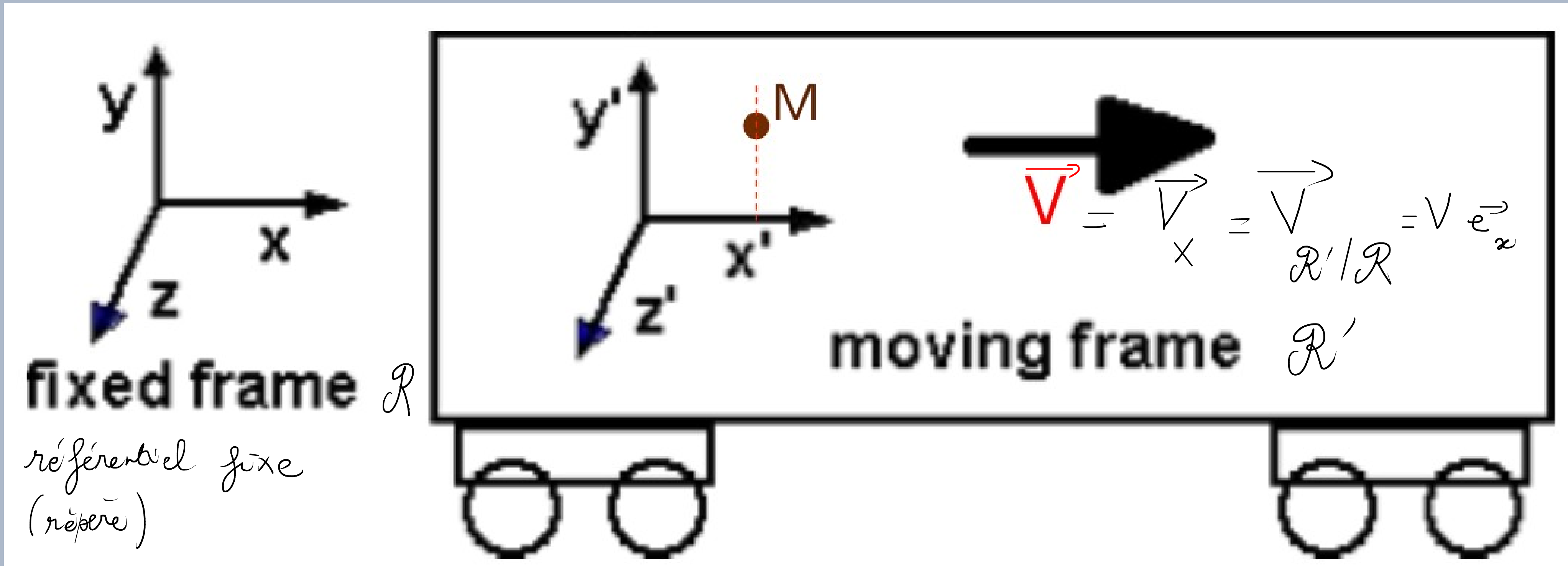
Référentiels en mouvement relatif : composition des vitesses

1. *Le comportement physique d'un objet dans un référentiel donné ne permet pas de dire si ce référentiel est fixe ou en translation avec vitesse constante.*
C'est un **principe de la physique.**

2. *Un même mouvement vu depuis deux référentiels en mouvement relatif n'est pas le même.*
Comment déduire l'un de l'autre ?
Changements de référentiel.

5.1.1 Des référentiels pas comme les autres : le 1er principe

Changements de référentiel



$z = z'$

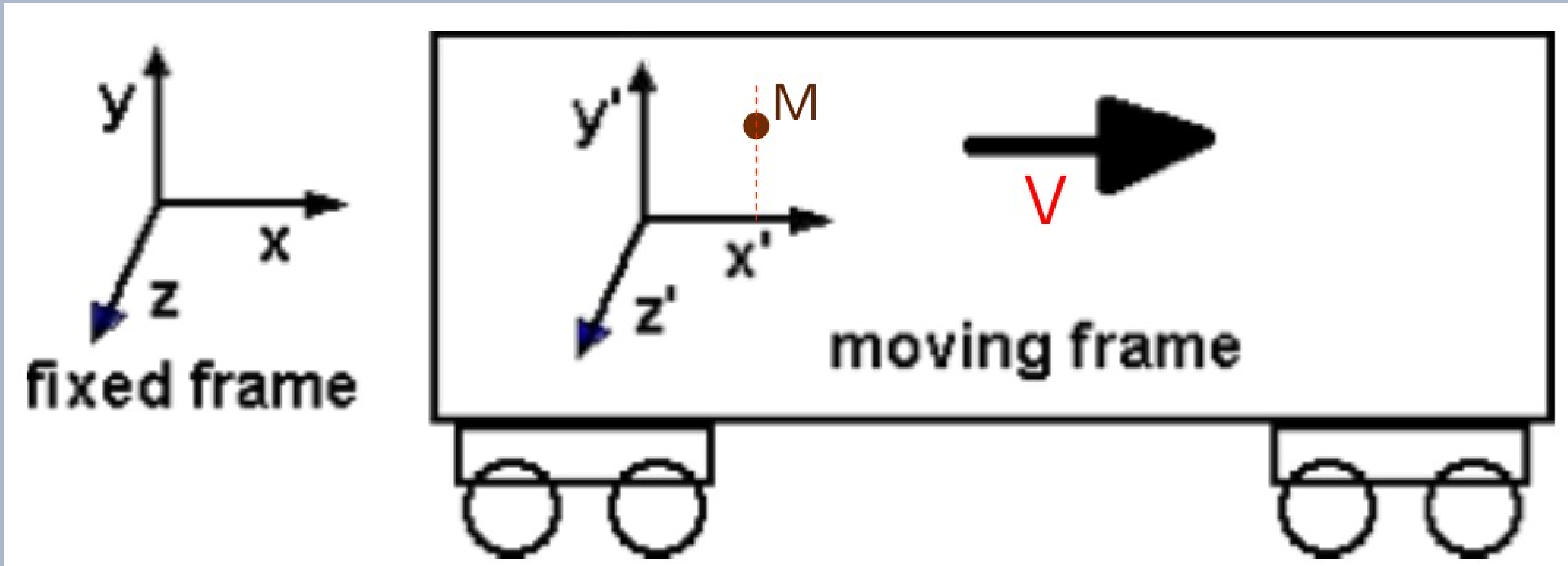
$y = y'$

$x = x' + V\,t$

Changement de référentiel, cas 1D.

$$\vec{OM}_{/\mathcal{R}} = \vec{OM}_{/\mathcal{R}'} + \vec{V}_{\mathcal{R}'/\mathcal{R}}\,t$$

Changements de référentiel



$\vec{v}_{/\mathcal{R}} = \vec{v}_{/\mathcal{R}'} + \vec{v}_{\mathcal{R}'/\mathcal{R}}$

$v_z = v_{z'}$

$v_y = v_{y'}$ $\Rightarrow$ $\boxed{\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}}$ $\leftarrow$ $\vec{OM}_{/\mathcal{R}} = \vec{OM}_{/\mathcal{R}'} + \vec{V}_{\mathcal{R}'/\mathcal{R}}\, t$

$v_x = v_{x'} + V$

Loi de composition des vitesses, cas 1D.

ATTENTION : grandeurs algébriques (signes !)

5.1.1 Des référentiels pas comme les autres : le 1er principe

Questions

Un oiseau et un avion volent dans la même direction.
Par rapport au sol, la vitesse de l’oiseau est **V**, celle de l’avion **v**.

Quelle est la vitesse de l’avion vue par l’oiseau!?

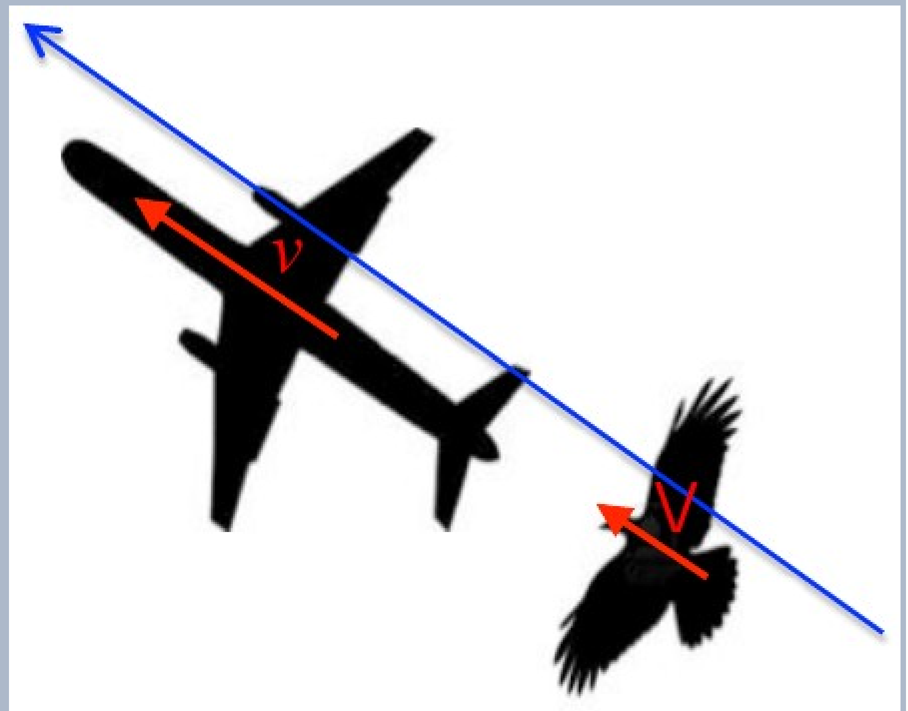
Quelle est la vitesse de l’avion vue par l’oiseau!?

A $v + V$

B $v - V$

C $V - v$

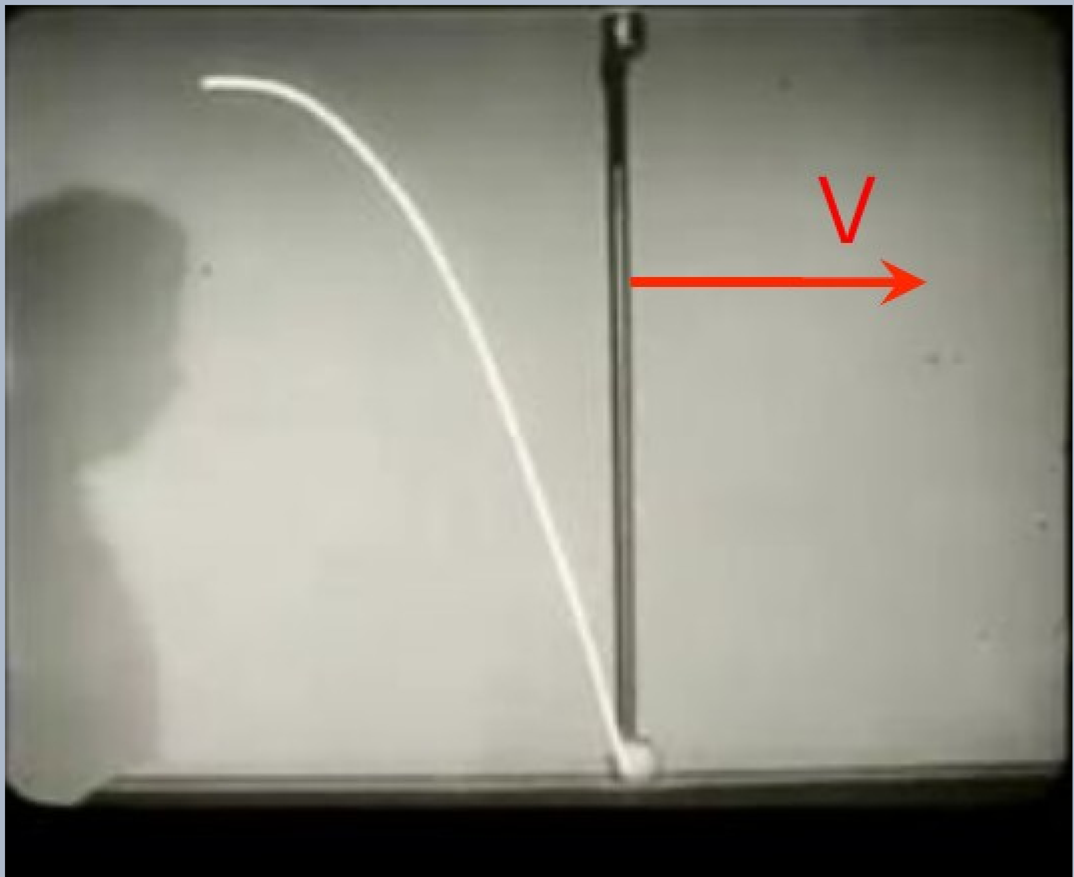
D $V + v$



5.1.1 Des référentiels pas comme les autres : le 1er principe

Questions

masse qui tombe sur un chariot qui se déplace à vitesse **V** :
quelle est la *vitesse horizontale de la masse* par rapport au sol ?



- A : + 2 V
- B : + V
- C : - V
- D : 0

5.1.1 Des référentiels pas comme les autres : le 1er principe

Principe de relativité de Galilée

Principe de relativité de Galilée : Les lois de la mécanique sont identiques dans tous les référentiels inertiels.

Mais c'est quoi un référentiel inertiel ?

1er principe ou **PRINCIPE D'INERTIE** : Il existe une classe de référentiels en translation uniforme les uns par rapport aux autres, appelés galiléens ou inertiels, dans lesquels tout **point matériel isolé** (c'est à dire sur lequel s'exerce une résultante des forces nulle) est soit au **repos** soit en **translation rectiligne uniforme.** $\vec{v} = cte$

c'est quoi, cette force qui doit être nulle!? c'est quoi un système isolé!?

5.1.2 Le 2nd principe comme définition (dynamique) de la force

2nd principe ou PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE

INTERACTION :
deux systèmes physiques (objets) peuvent interagir = influencer chacun l'état de l'autre (et notamment son état de mouvement)

système isolé : suffisamment éloigné de tout pour ne pas interagir

2nd principe :
Dans un référentiel inertiel un corps de masse m constante subit une **accélération proportionnelle à la résultante des forces extérieures** qui s'exercent sur lui et **inversement proportionnelle** à sa masse **m** :

$$\vec{a} = \vec{F}/m \quad \text{ou} \quad \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$$

FILM : un test en apesanteur

http://www.nasa.gov/audience/foreducators/diypodcast/nl-video-index.html

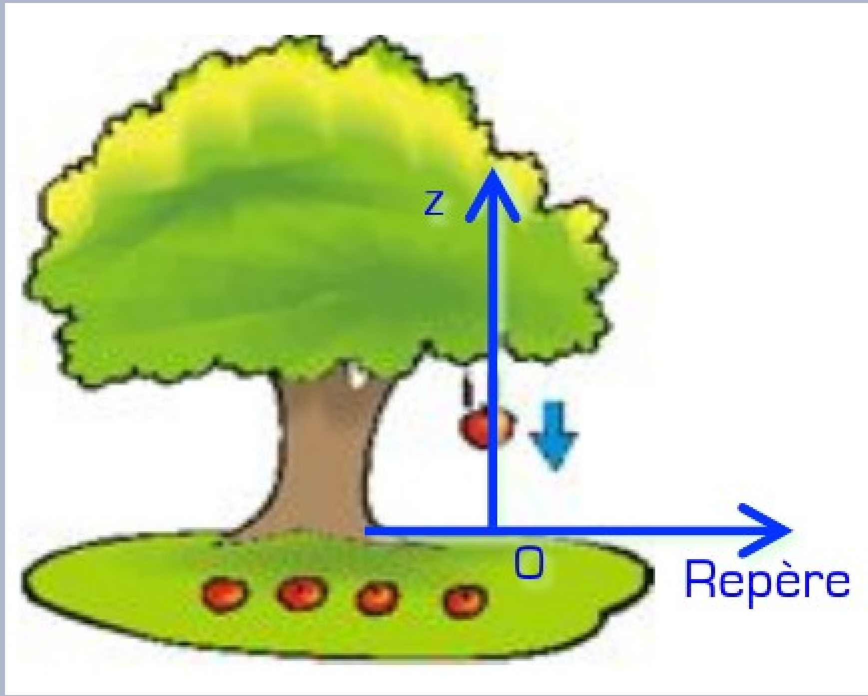
5.1.3 Le 3ème principe

équilibre des forces,

action et réaction (3ème principe)

- comparer des forces entre elles
- définir une force à partir d'une autre
- autrement dit savoir *mesurer* une force

Forces : Pesanteur



Chute libre

$z(t) = z_0 - \frac{1}{2}\, g\, t^2$

$v_z(t) = -\, g\, t$

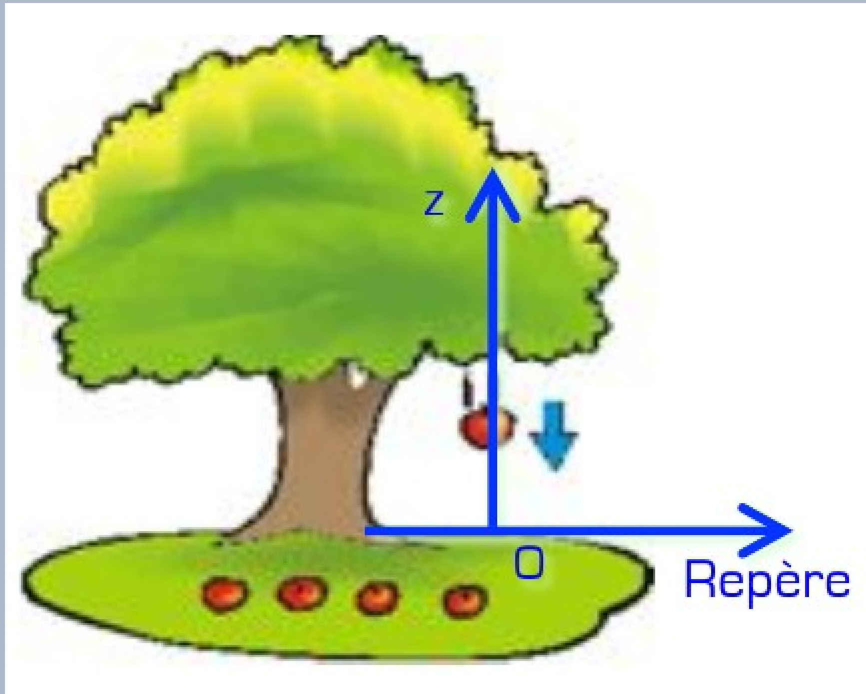
$a_z(t) = -\, g$

<u>Expériences</u> :

- chute de 2 masses différentes
- tube de Newton

5.1.3 Le 3ème principe

Forces : Pesanteur



vecteur accélération :

$\vec{a} = (0, 0, -g)$

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

Force de la pesanteur (près de la surface de la terre) :

$\boxed{\vec{F} = m\,\vec{a} = (0, 0, -mg)}$:

⚠ choix du système de coordonnées

$||F|| = mg$: amplitude constante (ne dépend pas de t)
et uniforme (ne dépend pas de la position)

vecteur dirigé verticalement et vers le bas

5.1.3 Le 3ème principe

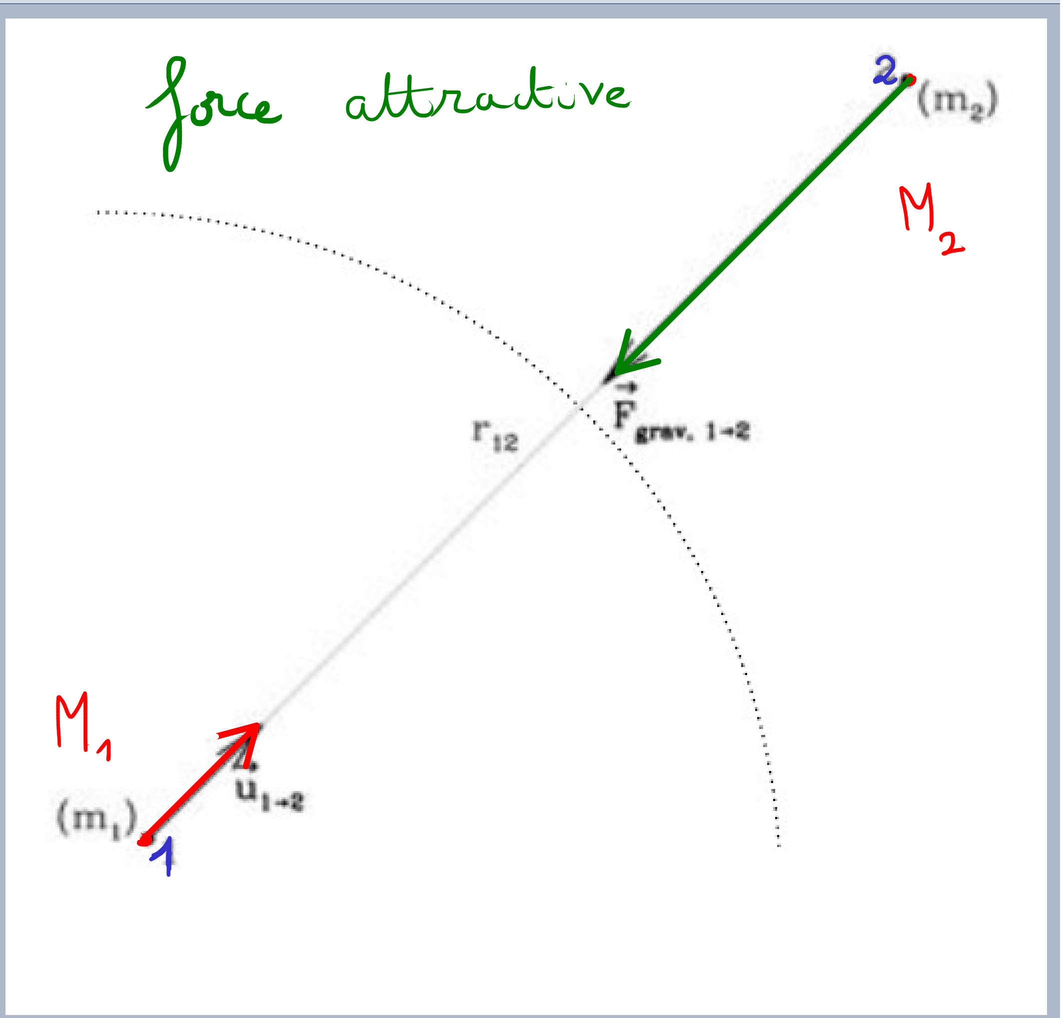
Forces : Pesanteur

Mais :

$$\boxed{\vec{F}_{\mathrm{grav},1\to 2} = -\frac{G\,m_1 m_2}{r_{12}^2}\,\vec{u}_{1\to 2}}$$

G = 6,67 10^{-11} S.I.!

$r_{12} = \| \overrightarrow{M_1 M_2} \|$

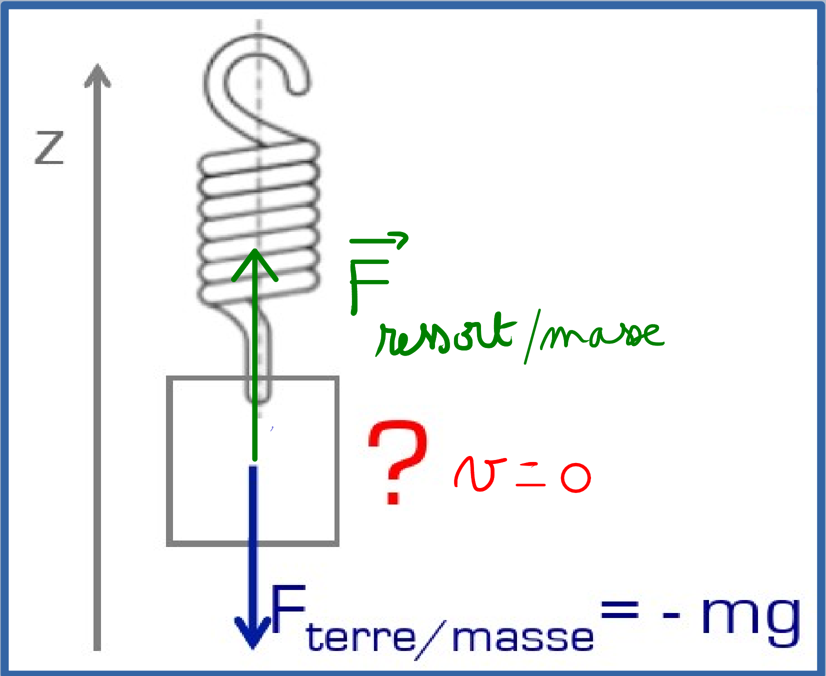


$$\boxed{r_{12} = r_{terre} + h \approx r_{terre} \text{ si } h << r_{terre} = 6400 \text{ km}}$$

$\rightarrow g = \frac{G M_T}{r_{terre}^2}$

5.1.3 Le 3ème principe

Équilibre



$$\vec{F}_{ressort/masse} + \vec{F}_{terre/masse} = \vec{0}$$

EQUILIBRE = objet au repos :

$$\boxed{\vec{v} = \vec{0}}$$

$$\hookrightarrow \quad \vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \boxed{\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}}$$

Condition d'équilibre d'un système ponctuel :

Dans un référentiel *inertiel*, un système ponctuel est à **l'équilibre**

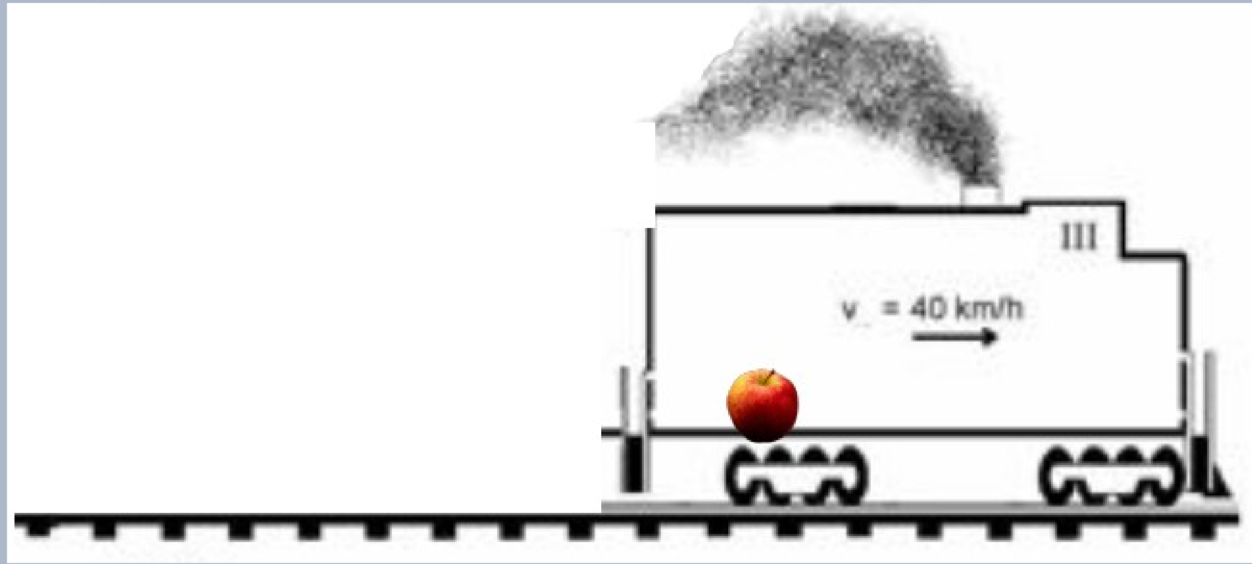
- si la résultante des forces extérieures qui s'applique sur lui est nulle et

- **si sa vitesse est nulle**.

5.1.3 Le 3ème principe

Question Flash Card

Une pomme est posée sur un train qui voyage
à vitesse constante.
La pomme est-elle **au repos** ?



A. OUI
B. NON
C. La question est mal posée : Préciser le référentiel inertiel

REM : Si $\mathbf{F}_{tot} = 0$, on peut toujours trouver un référentiel dans lequel l'objet est à l'équilibre !

Équilibre

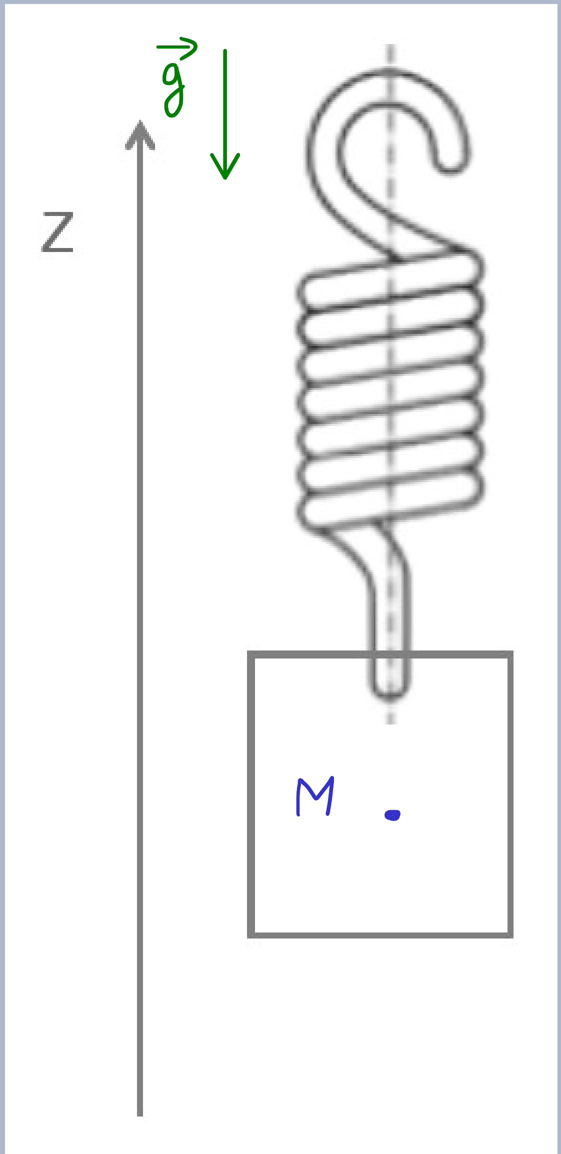


Diagramme Objet Interaction (DOI)

- faire l'inventaire de tous les objets concernés
- faire l'inventaire de toutes les interactions entre objets :

point M ← masse ressort terre

- • interactions directes dites de contact : trait plein
- • interactions indirectes dites à distance : trait pointillé
- entourer sur le diagramme le système étudié.

ici : système $\Sigma = \{$masse, point M$\}$

5.1.3 Le 3ème principe

Équilibre

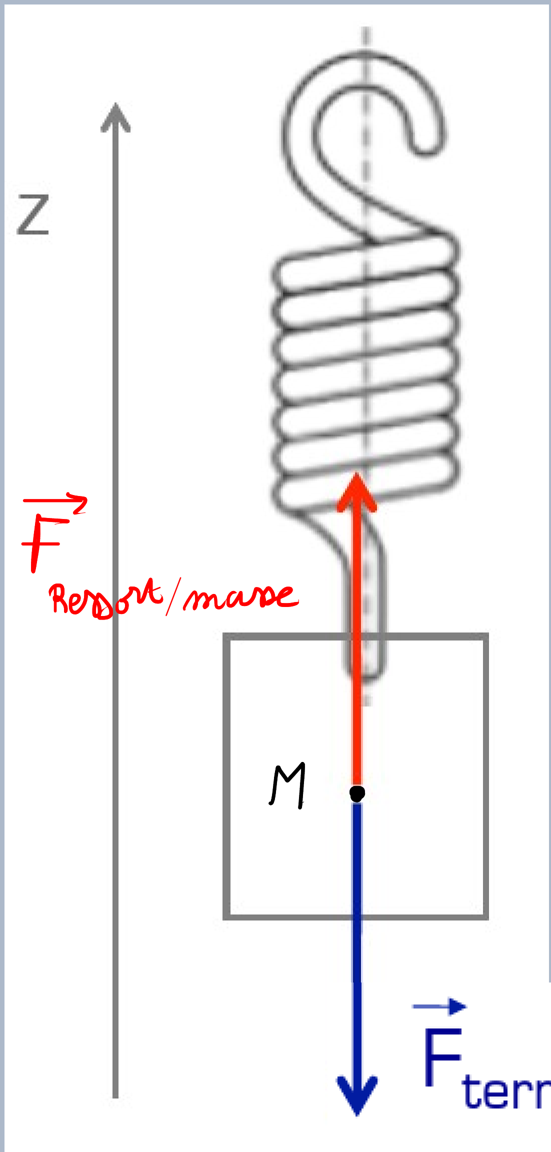


Schéma :

indiquer tous les vecteurs forces

La masse est au repos

$\Rightarrow$ à l'équilibre

$\Rightarrow \vec{F}_{tot} = 0$

$\Rightarrow \boxed{\vec{F}_{ressort/masse} = - \vec{F}_{terre/masse}}$

$\vec{F}_{terre/masse} = - m\vec{g} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{ressort/masse} = + m\vec{g}$

5.1.3 Le 3ème principe

Énoncé

3ème principe ou ou PRINCIPE DES ACTIONS RÉCIPROQUES :

soient deux systèmes ponctuels S1 et S2 et soit $\vec{F}_{1\to 2}$ la force exercée par S1 sur S2.

Alors S2 exerce une force $\vec{F}_{2\to 1}$ sur S1 et l'on a :

$$\boxed{\vec{F}_{1\to 2} = -\vec{F}_{2\to 1}}$$

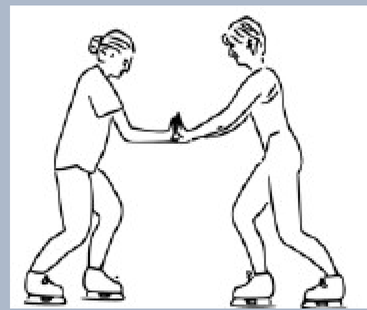
Appelé aussi principe d'action et réaction :

« Pour chaque **action**, il existe une **réaction** égale et opposée »

*REM : On ne parle pas d'équilibre, cette relation est **toujours** réalisée, même s'il y a une dynamique !*

5.1.3 Le 3ème principe

Action et réaction : Exemple : patineurs



https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=WvExCwm_ThE

Le patineur de gauche pèse 72 kg, tandis que le patineur de droite pèse 95 kg.

Puisqu'il y a **action-réaction**, la force appliquée aux deux patineurs est équivalente. Donc, il est normal que le patineur de 95 kg parcourra une distance moindre.

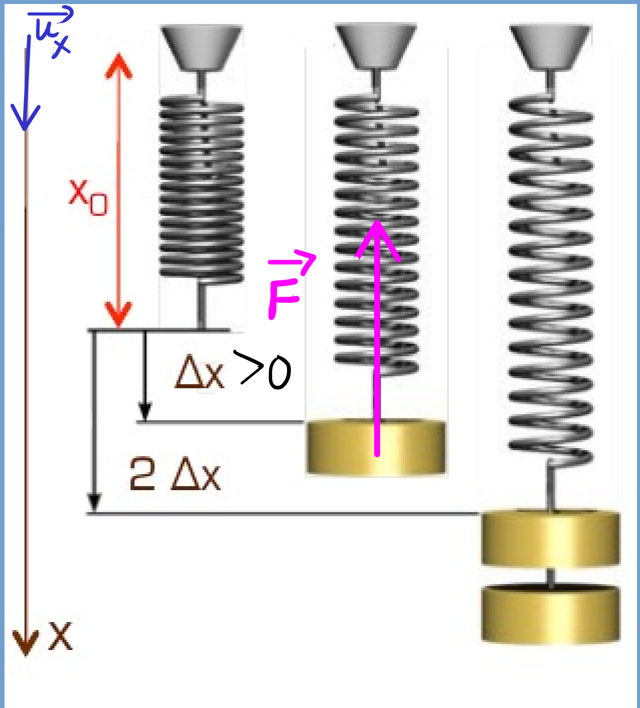
5.2.1 Le ressort

La force d'un ressort

le ressort « s'oppose » à la déformation appliquée

Force exercée par un ressort :

$$\boxed{\vec{F} = -k\,\Delta x\;\vec{u}_x}$$



où Δx = allongement = $x - x_0$ >0 : allongement
<0 : compression

x_0 longueur au repos (ressort non étiré ni comprimé)

donc:

$$|| \vec{F} || = k\,\Delta x$$

direction opposée à Δx

k = constante de raideur du ressort (dépend du ressort considéré)

(en $N.m^{-1}$ ou $kg.s^{-2}$)

REM : aussi en compression

5.2.1 Le ressort

La force d'un ressort

dynamomètre : un ressort étalonné pour mesurer des forces

Force :

Dimensions :
$[F] = [ma] = ?$ $M L T^{-2}$

Unité : Newton (N)
$1\ N = ?$ $kg\ m\ s^{-2}$
$[k] = ?$ $M T^{-2}$
$kg.s^{-2}$ ou $N.m^{-1}$

5.2.1 Le ressort

La force d'un ressort

dynamomètre

Force :

Dimensions :
$[F] = [ma] = M\ L\ T^{-2}$

Unité : Newton (N)
$1\ N = 1kg \times 1m \times (1s)^{-2}$
$[k] = M\ T^{-2}$

5.2.2 F=ma : équation différentielle

Résumé

Question centrale de la dynamique :
déterminer la dynamique d'un objet = déterminer son mouvement, prédire l'évolution de sa position

Plusieurs cas possibles :

a. repos : l'objet ne bouge pas ($v = 0$)

b. mouvement rectiligne uniforme (v = cte)

$$\boxed{a = 0 \leftrightarrow F = 0}$$

c. tout autre mouvement où v varie → $a \neq 0 \quad \leftrightarrow \quad F \neq 0$
(en norme, en direction, les deux…)

quoi faire ?

5.2.2 F=ma : équation différentielle

Question centrale de la dynamique

déterminer la dynamique d'un objet = déterminer son *mouvement,*
prédire l'évolution de sa position : **x(t)**

« F = ma »

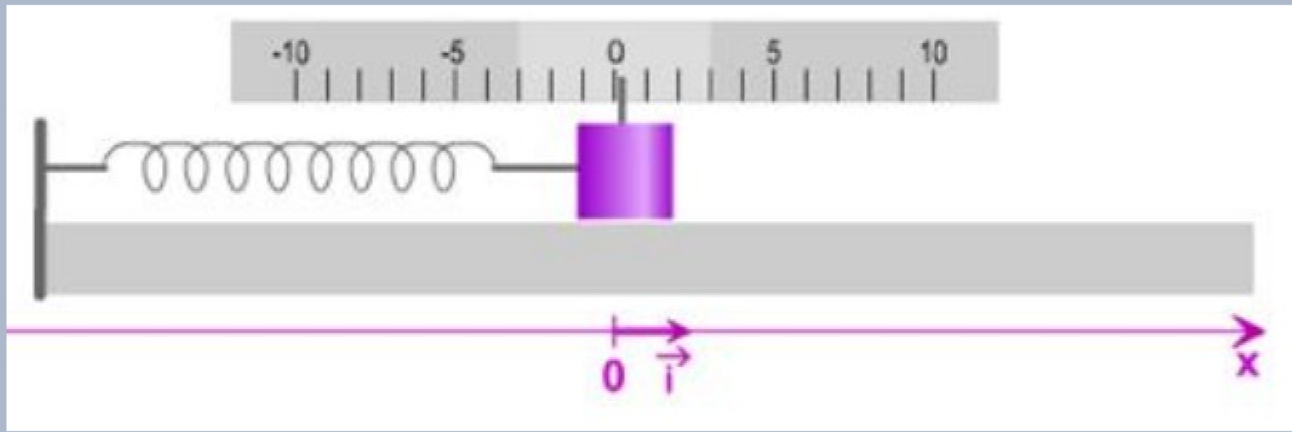
$\Updownarrow$

$$F\left(x(t),\ \frac{dx(t)}{dt}\right) = m\ \frac{d^2x(t)}{dt^2}$$

équation différentielle du second ordre à résoudre pour obtenir la fonction x(t)

5.2.2 F=ma : équation différentielle

Exemple 1 : ressort en mouvement



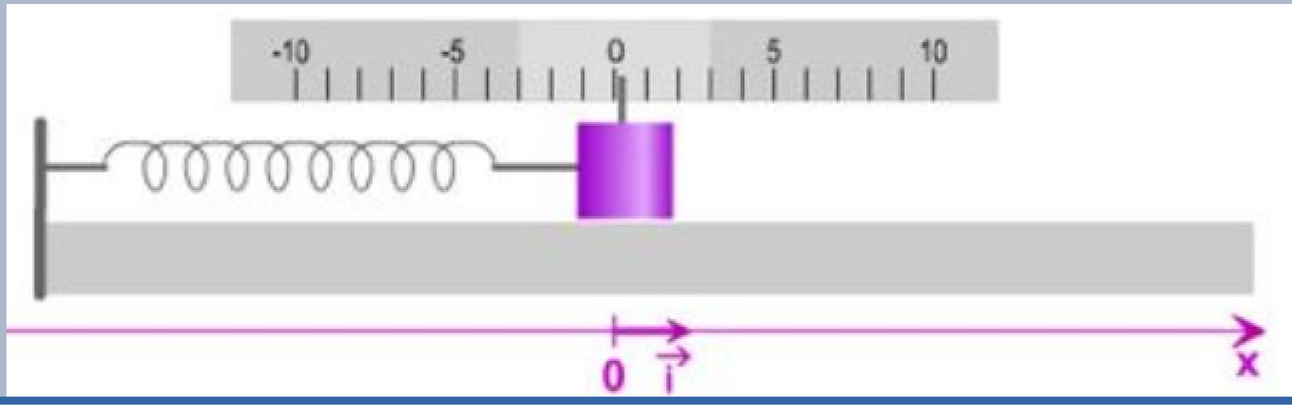
Animation

(depuis le site «!Figures animées pour la physique!»)

Question : **déterminer x(t)**

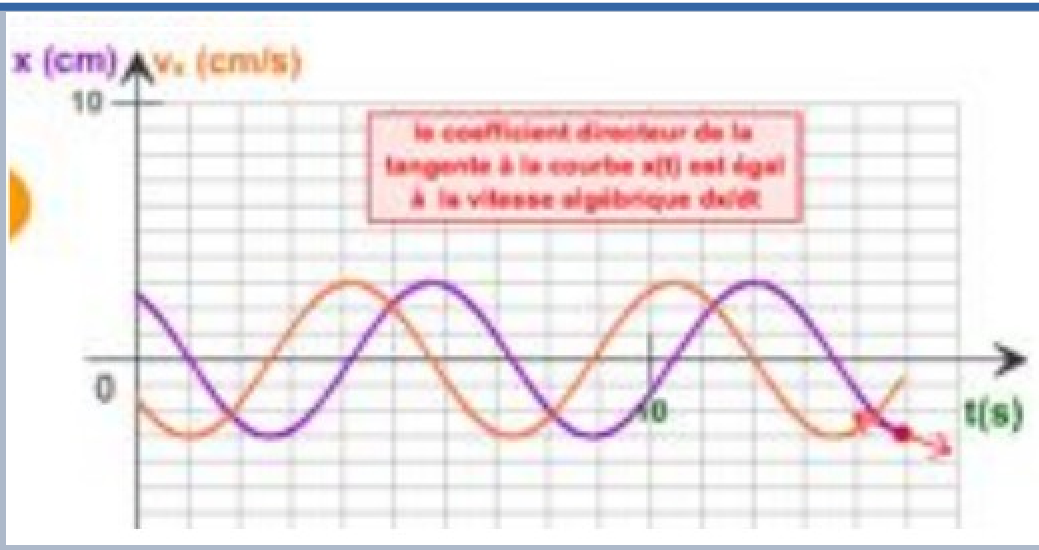
5.2.2 F=ma : équation différentielle

Exemple 1 : ressort en mouvement



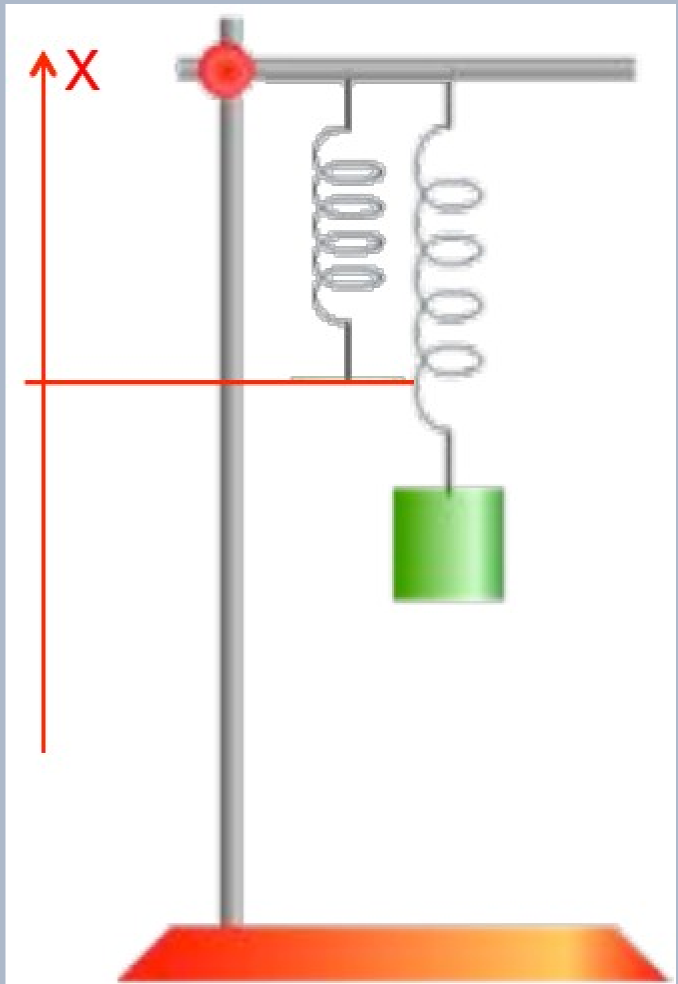
équation différentielle : $F\left(x(t),\ \frac{dx(t)}{dt}\right) = -kx \quad \Rightarrow \quad \boxed{m\ \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -kx(t)}$

solution générale : $\boxed{x(t) = A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t)\,, \qquad \omega = \sqrt{k/m}}$



5.2.2 F=ma : équation différentielle

Exemple 2 : ressort vertical



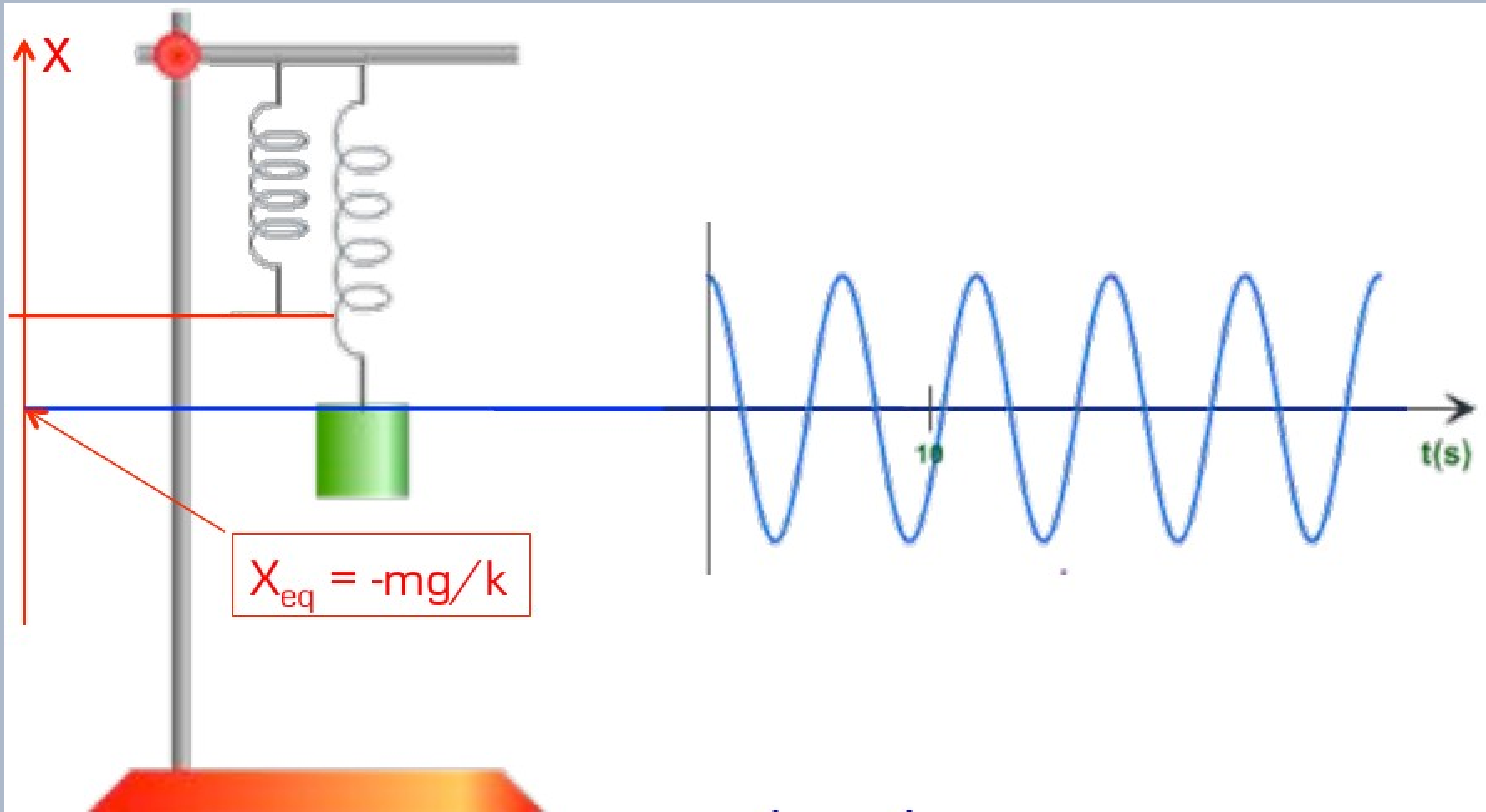
Animation

(depuis le site «!Figures animées pour la physique!»)

Question : **déterminer x(t)**

5.2.2 F=ma : équation différentielle

Exemple 2 : ressort vertical



Bibliographie

- [1]Polycopié de cours
- [2] Maria Barbi - 1P001 Concepts et Methodes de la Physique - groupes MIPI
- [3] David Sénéchal - Mécanique I - D. Senechal -PHQ114
- [4] Claude Pasquier - Mécanique
- [5] pour la suite : Khan Academy , Unisciel etc...