PCM

Livret 3

Mouvements et interactions

Séquence 1	**De l'action mécanique à la force**	RETOUR AU SOMMAIRE

A. Notion de force

A.1. L'action mécanique

• Lorsqu'un système A agit sur un autre système B, on dit qu'il exerce une action mécanique.

Cette action exercée par A peut :

- provoquer ou modifier le mouvement de B
- déformer B
- maintenir à l'équilibre B

Exemple : *Une pomme est attachée à un arbre par sa tige ; la tige casse, la pomme tombe. Au contact du sol, la pomme se tale.*

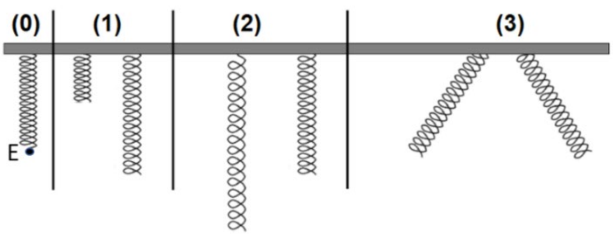
Action exercée par différents systèmes A sur la pomme (système B)		
La tige	**La terre**	**Le sol**
La tige exerce une action sur la pomme.	*Lorsque la tige casse, la pomme tombe car la Terre exerce une force attractive sur la pomme.*	*Lorsque la pomme arrive au sol, la pomme se tale car le sol exerce une action sur la pomme*
Cette action maintient la pomme à l'équilibre	***Cette action met la pomme en mouvement***	***Cette action déforme la pomme***

A.2. Représentation de l'action mécanique : notion de force

• Un ressort est attaché au plafond. Son extrémité est notée E

- Il pend librement (fig 0)

- On exerce sur l'extrémité E une action qui déforme le ressort qui prend les allures données par les fig 1, 2 et 3.

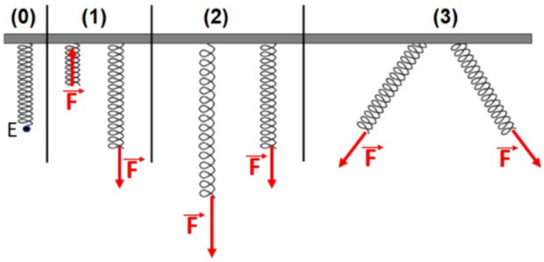


Mais comment représenter sur la figure cette action mécanique exercée par la main??

- Dans le cas (1) : le ressort s'allonge (si on tire dessus) ou se rétrécît (si on pousse le ressort). L'allure du ressort dépend donc du **sens de l'action** exercée par la main
- Dans le cas (2) : le ressort s'allonge plus ou moins suivant si on tire plus ou moins fort. L'allure du ressort dépend donc de **l'intensité de l'action** exercée par la main
- Dans le cas (3) : la direction du ressort change suivant **la direction de l'action** exercée par la main

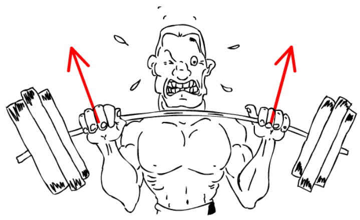
↳ Pour représenter sur un schéma l'action exercée par un corps sur un autre corps, on dessine une flèche ayant une certaine direction (*suivant la direction de l'action exercée*), un certain sens (*suivant le sens de l'action exercée*), une certaine longueur (*suivant l'intensité de l'action exercée*).

Cette flèche est appelée « vecteur force » ou plus simplement « force »



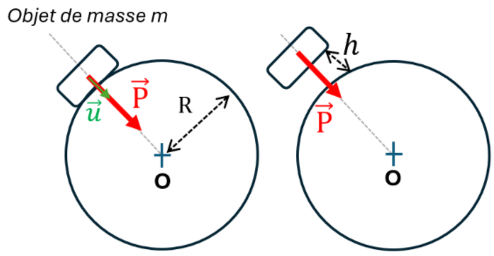
♦ **Une force est un vecteur qui modélise une action. Ses caractéristiques sont les suivantes :**

- **son origine est le point d'application représentant le système ;**
- **sa direction et son sens sont ceux de l'action ;**
- **sa valeur (ou intensité) est exprimée en newton (N).**



B. Quelques forces particulières

B.1. Le poids d'un objet



♦ **Le poids d'un objet, noté $\vec{P}$, est la force attractive exercée par la Terre sur cet objet, que l'objet soit sur le sol ou à une certaine hauteur h**

↳ Cette force est dirigée du centre de l'objet vers le centre de la Terre. On peut donc écrire : $\vec{P} = P \times \vec{u}$

avec $\vec{u}$ un vecteur unitaire dirigée du centre de l'objet vers le centre de la Terre

↳ sa valeur P dépend :

- de la masse m de l'objet : si la masse de l'objet double, la force attractive a une valeur 2 fois plus grande.
- de la distance D séparant le centre de gravité de l'objet du centre de la Terre :

♦ **La valeur (ou intensité) du poids P (en N) d'un objet de masse m est donnée par la relation : $P = m \times g$**

Avec : *m (kg) : masse de l'objet*

g : intensité de la pesanteur (N.kg^{-1})

Notation	Point d'application	Direction	Sens	valeur (N)
$\vec{P}$	*centre de gravité*	*verticale*	*Du centre de gravité de l'objet, vers le centre de la Terre*	$\mathbf{P = m \times g}$

♦ **Le vecteur $\vec{g} = g \times \vec{u}$ est appelé « champ de pesanteur »**

Vecteur d'intensité g et dirigé vers le centre de la Terre

Valeur de l'intensité de la pesanteur

La valeur de g est donnée par la relation $g = \frac{G \times M_{Terre}}{D^2}$

Avec : M_{terre} = 5,9736.10^{24} kg
G = 6,67428.10^{-11} N.m^2.kg^{-2}

• La valeur de g dépend donc de la distance D entre le centre de l'objet et le centre de la Terre.

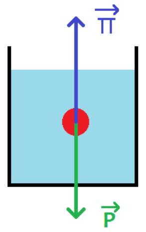
La Terre n'étant pas rigoureusement sphérique, cette distance (*même si l'objet est à la surface de la Terre*) change suivant la position de l'objet sur la Terre.

Elle change également si l'objet se trouve à une certaine altitude h de la surface de la Terre

A l'équateur	**A Paris**	Aux pôles	Au sommet de l'Everest
D = 6378,1 km	D = 6375 km	D = 6356,8 km	D = 6379,8 km
g = 9,800….. N.kg^{-1}	**g = 9,810….. N.kg^{-1}**	g = 9,866….. N.kg^{-1}	g = 9,779….. N.kg^{-1}

B.2. La poussée d'Archimède

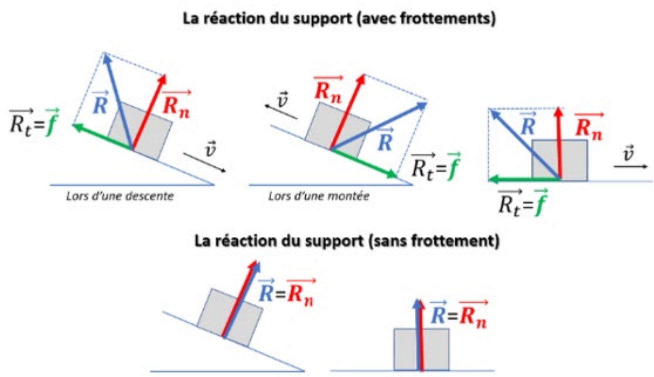
• Lorsqu'un plongeur s'immerge, il subit deux forces qui s'opposent : son poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède qui a tendance à le faire remonter



Notation	Point d'application	Direction	Sens	Intensité (N)
$\vec{\Pi}$	*centre de gravité*	*verticale*	*vers le haut*	$\boldsymbol{\Pi = \rho \times V \times g}$

Avec : *ρ (kg/m^3) : masse volumique du liquide ; V (m^3) : volume de l'objet immergé*
g : intensité de la pesanteur (N.kg^{-1})

B.3. La réaction du support



• La force exercée par un support sur un objet est notée $\vec{R}$.

Cette force a deux actions :

- elle empêche l'objet de « rentrer » dans le sol (sous l'action de son poids $\vec{P}$) **:**

cette action est représentée par la composante $\overrightarrow{R_n}$

- elle empêche l'objet de glisser lorsque l'objet est en mouvement :

cette action est représentée par la composante $\vec{f}$

$\vec{R} = \overrightarrow{R_n} + \vec{f}$	
$\overrightarrow{R_n}$	$\vec{f}$
Réaction normale	*Force de frottements*
Perpendiculaire au déplacement	Opposée au déplacement

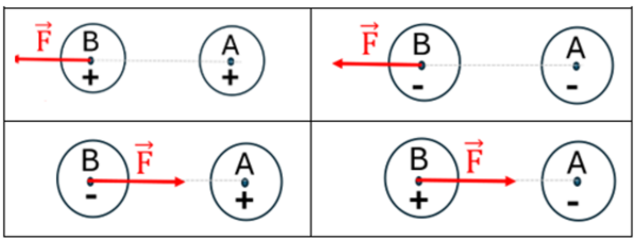
remarque : *Lorsqu'il n'y a pas de frottement, on a $\vec{R} = \overrightarrow{R_n}$: $\vec{R}$ est donc perpendiculaire au support*

B.4. La force électrostatique

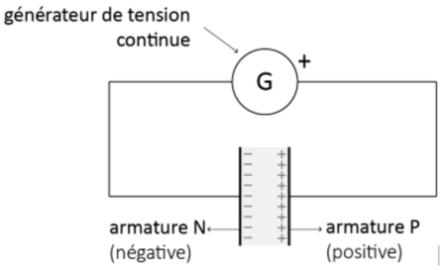
♦ La force électrostatique, notée $\vec{F}$, est la force (attractive, ou répulsive) exercée par une charge électrique sur une autre charge électrique

- Si les 2 charges sont de même signe, la force est répulsive

- Si les 2 charges sont de signe opposé, la force est attractive



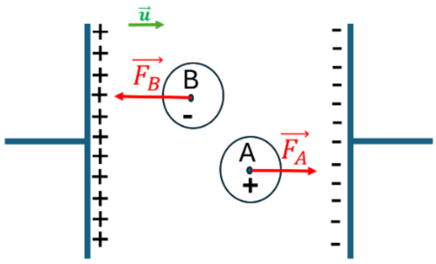
Le condensateur plan



• On appelle condensateur plan l'ensemble de deux armatures conductrices pouvant porter des charges électriques de signes opposés, séparées par un matériau isolant. Expérimentalement, on obtient un condensateur chargé à l'aide du dispositif ci-contre :

• Plaçons une particule chargée A (*de charge q_A positive*) et une particule chargée B (de charge q_B négative) entre les plaques d'un condensateur plan :

Les particules A et B subissent une force électrostatique.



soit $\vec{u}$ un vecteur unitaire dirigée de la plaque positive vers la plaque négative

↳ La particule A subit une force $\vec{F_A}$ dirigée dans le même sens que $\vec{u}$, tandis que la particule B subit une force $\vec{F_B}$ dirigée dans le sens opposé de $\vec{u}$

↳ l'intensité des forces dépend :

- De la valeur de la charge q
- De la tension U entre les 2 plaques du condensateur
- De la distance d, entre les 2 plaques du condensateur

♦ La valeur (ou intensité) de la force électrostatique F (en N) subit par une charge électrique q placée entre les plaques d'un condensateur plan est donnée par la relation :

$$F = q \times \frac{U}{d}$$

Notation	Point d'application	Direction	Sens	valeur (N)
$\vec{F}$	*centre de la particule*	*Perpendiculaire aux plaques du condensateur*	*Dépend du signe de la charge électrique q*	$F = q \times \frac{U}{d}$

<u>Avec :</u> *q (C) : charge électrique de la particule*

$U(V)$: tension électrique entre les plaques du condensateur

d (m) : distance séparant les 2 plaques du condensateur

♦ On appelle « champ électrostatique » le vecteur : $\vec{E} = \frac{U}{d} \times \vec{u}$

♦ On a alors la relation : $\vec{F} = q \times \vec{E}$

			Anion		Cation	
particule	électron	proton	Cl^-	SO_4^{2-}	Cu^{2+}	Al^{3+}
Charge q	**- e**	**e**	**- e**	**- 2 e**	**2 e**	**3 e**

on appelle charge élémentaire la valeur **e = 1,6.10^{-19} C**

Séquence 2	**Etude du mouvement d'un solide**	RETOUR AU SOMMAIRE

A. Poser le cadre d'étude

A.1. Choix du système

♦ **Le système est l'objet d'étude**. Pour simplifier l'étude, cet objet sera assimilé à un point matériel (en général le centre de masse ou centre d'inertie) de masse « m » .
Le système est généralement noté entre { }.

A.2. Choix du référentiel

▪ Pour pouvoir étudier la position d'un objet au cours du temps donc son mouvement, il faut définir un référentiel d'étude.

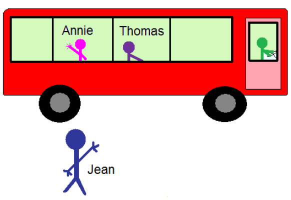
Le référentiel est donc un repère spatial qui nous permet de repérer la position d'un objet au cours du temps. En $1^{ère}$ on se restreint à l'utilisation de 3 référentiels particuliers :

- **Le référentiel terrestre** est le référentiel lié au sol terrestre. Par extension, tout objet immobile par rapport au sol terrestre définit un référentiel terrestre.

- **Le référentiel géocentrique** est lié au centre de la Terre et est indépendant de la rotation de celle-ci.

- **Le référentiel héliocentrique** (ou référentiel de Copernic) est lié au centre du Soleil (peu utilisé)

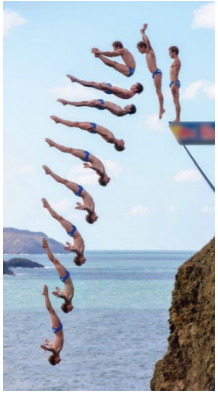
▪ Suivant un observateur, un même objet peut être soit en mouvement, soit immobile



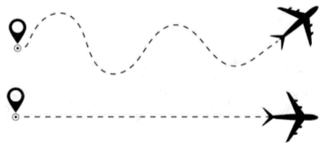
Exemple :
→ *Dans le référentiel terrestre Annie est en mouvement*
→ *Dans le référentiel lié au bus, Annie est immobile*

♦ Pour décrire le mouvement d'un objet, il faut préciser par rapport à quel corps de référence s'effectue l'étude. **Le corps de référence choisi est appelé « référentiel »**

♦ L'état de mouvement ou de repos d'un corps dépend du référentiel choisi. On dit que le mouvement d'un système est relatif au référentiel : **c'est la relativité du mouvement.**



B. Quelques mouvements simples



▪ Pour étudier les corps en mouvement, on utilise la technique de la chronophotographie : *technique qui consiste à enregistrer sur un même film photographique, les images successives d'un corps en mouvement, à des intervalles de temps réguliers, par exemple toutes les 1/10 de seconde.*

↳ La chronophotographie va permettre de caractériser **la vitesse du corps** en mouvement ainsi que **sa trajectoire**

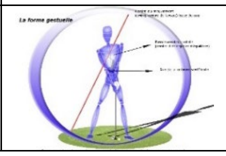
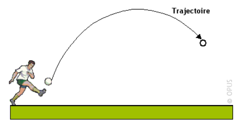
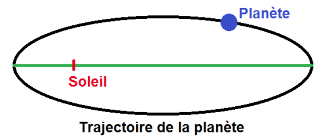
B.1. La trajectoire

▪ La trajectoire d'un objet en mouvement est la courbe formée par l'ensemble des positions successives de ce point

♦ Si la trajectoire est une droite, **le mouvement est dit rectiligne**

♦ Si la trajectoire est un cercle (ou arc de cercle), **le mouvement est dit circulaire**

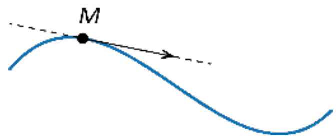
♦ Si la trajectoire est quelconque, **le mouvement est dit curviligne**

Trajectoire	*rectiligne*	*circulaire*	*parabolique*	*elliptique*
Représentation				

Remarque :

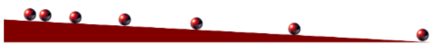
- La trajectoire d'un point en mouvement dépend du référentiel d'étude.

- La direction du mouvement est la droite tangente à la trajectoire.



B.2. Le mouvement uniforme, accéléré ou ralenti

▪ Sur une chronophotographie, en étudiant la distance entre 2 positions successives de l'objet, on peut caractériser sa vitesse

Si l'espace entre les différentes positions de l'objet est le même	*Si l'espace entre les différentes positions de l'objet augmente*	*Si l'espace entre les différentes positions de l'objet diminue*
		
La vitesse de l'objet de l'objet est constante (*car le système a parcouru une même distance pendant une même durée*)	La vitesse de l'objet augmente (*car le système a parcouru une distance de plus en plus grande pendant une même durée*)	La vitesse de l'objet diminue (*car le système a parcouru une distance de plus en plus petite pendant une même durée*)
Le mouvement est dit uniforme	**Le mouvement est dit accéléré**	**Le mouvement est dit ralenti**

C. Vitesse et accélération

C.1. Vitesse et accélération moyennes

La vitesse moyenne	L'accélération moyenne
▪ Pour caractériser le mouvement d'un objet, on a besoin de connaitre sa vitesse : on peut donner sa vitesse moyenne	▪ L'accélération d'un véhicule indique comment évolue la vitesse d'un système au cours du temps. ***Si l'accélération est nulle*** : la vitesse est constante ***Si l'accélération est positive :*** la vitesse augmente ***Si l'accélération est négative (on parle de décélération)*** : la vitesse diminue
Une vitesse s'exprime en m/s $1\ m.s^{-1} = 3{,}6\ km.h^{-1}$	**Une accélération s'exprime en m.s^{-2}** $\mathbf{1\ m.s^{-2} = 1\ m/s^2 = \frac{1m/s}{s}}$
Exemple : *Une vitesse de 3 m.s^{-1} (= 3 m/s) signifie que la distance du véhicule augmente de 3 m toutes les secondes*	**Exemple :** *Une accélération de 3 m.s^{-2} (= 3 m.s^{-1}/s) signifie que la vitesse du véhicule augmente de 3 m.s^{-1} toutes les secondes* *Une accélération de - 3 m.s^{-2} signifie que la vitesse du véhicule diminue de 3 m.s^{-1} toutes les secondes*
♦ **La vitesse moyenne d'un solide** est le quotient de la distance parcourue $\boldsymbol{d}$ par la durée $\Delta \boldsymbol{t}$ du trajet $$\boldsymbol{v_{moy}(m.s^{-1}) = \frac{d(m)}{\Delta t(s)}}$$	♦ **L'accélération moyenne d'un solide** est le quotient de la variation de la vitesse $\Delta \boldsymbol{v}$ par la durée $\Delta \boldsymbol{t}$ de cette variation $$\boldsymbol{a_{moy}(m.s^{-2}) = \frac{\Delta v(m.s^{-1})}{\Delta t(s)}}$$
Exemple :  *Une voiture parcourt 200 km (=200 000 m) en 2h10min (=7800s) :* $v_{moy} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{200000}{7800} = 25{,}6\ m.s^{-1}$ $v_{moy} = 92{,}3\ km.h^{-1}$	**Exemple :** *une voiture passe de 50 km.h^{-1} à 90 km.h^{-1} en 4 s* $\boldsymbol{\Delta v = 90 - 50 = 40\ km.h^{-1} = 11{,}1\ m.s^{-1}}$ $\boldsymbol{a_{moy} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{11{,}1}{4} = 2{,}8\ m.s^{-2}}$ *Si la voiture passe 90 km.h^{-1} à 50 km.h^{-1} en 4 s, on a alors a_{moy} = - 2,8 m.s^{-2}*

C.2. Vitesse et accélération instantanées

▪ La vitesse ou l'accélération moyennes d'un automobiliste ne donne aucune indication sur les changements d'allures que le véhicule a subi au cours du voyage. Pour respecter les limitations de vitesse, le conducteur doit savoir sa vitesse à chaque instant (= vitesse instantanée) qui est donnée par le compteur de vitesse.

Etude d'un document ponctué

▪ En physique on utilise des documents ponctués obtenus par chronophotographie pour déterminer des vitesses et accélérations instantanées (*voir les activités expérimentales et dirigées*)

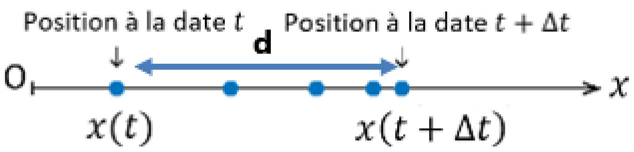
Utilisation d'équations horaires

▪ En mathématiques, la grandeur y varie en fonction de x : on a alors une fonction $y(x)$.

▪ Les grandeurs physiques (*position d'un objet, vitesse ou accélération de cet objet*) varient, elles, en fonction du temps t : on a les fonctions $x(t)$, $y(t)$, $d(t)$, $v(t)$ ou $a(t)$

↳ On parle alors d'«**équations horaires du mouvement** »

Etudions un mouvement rectiligne



On considère un point M en mouvement le long d'un axe (Ox). À la date t il occupe la position de coordonnée $x(t)$ et à la date $t + \Delta t$ il occupe la position $x(t + \Delta t)$.

→ Posons $\boldsymbol{d = x(t + \Delta t) - x(t)}$, la distance qu'il a parcourue pendant la durée Δt.

Sa vitesse moyenne vaut : $v_{x,moy} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{x(t+\Delta t)-x(t)}{\Delta t}$

Plus la durée Δt est courte, plus cette vitesse moyenne tend vers la valeur de la vitesse à la date t. Celle-ci vaut donc : $v_x(t) = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{x(t+\Delta t)-x(t)}{\Delta t}$

On peut alors écrire, par définition mathématique : $v_x(t) = \frac{dx}{dt}(t)$

De même, on peut montrer : $a_x(t) = \frac{dv_x}{dt}(t)$

<table>
<tr><th>La vitesse instantanée</th><th>L'accélération instantanée</th></tr>
<tr><td>♦ L'équation horaire de la vitesse $v_x(t)$ est obtenue par dérivée de l'équation horaire de la position $x(t)$
$$\boldsymbol{v_x(t) = \frac{dx}{dt}(t)}$$</td><td>♦ L'équation horaire de l'accélération $a_x(t)$ est obtenue par dérivée de l'équation de la vitesse $v_x(t)$
$$\boldsymbol{a_x(t) = \frac{dv_x}{dt}(t)}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Exemple :
Le mouvement rectiligne d'un point est défini par l'équation : $x(t) = 2t^3 - 9t^2 + 12t + 1$</td></tr>
<tr><td>L'équation horaire définissant la vitesse en fonction du temps est $\boldsymbol{v(t)} = \frac{dx}{dt} = \boldsymbol{6t^2 - 18t + 12}$</td><td>L'équation horaire définissant l'accélération en fonction du temps est $\boldsymbol{a(t)} = \frac{dv}{dt} = \boldsymbol{12t - 18}$</td></tr>
</table>

Séquence 3	**Vecteurs vitesse et accélération**	RETOUR AU SOMMAIRE

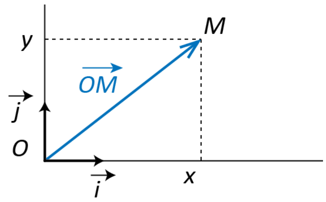
▪ La seule valeur de la vitesse d'un véhicule (ou de son accélération) est insuffisante pour caractériser complétement son mouvement : on a besoin de connaitre la direction, ainsi que le sens du mouvement.

↳ Ces renseignements vont être fournis grâce à un outil mathématique : le vecteur

A. Des vecteurs au service de l'étude d'un mouvement

A.1. Le vecteur position

▪ Pour repérer les positions d'un point en mouvement, le référentiel choisi doit être muni d'un repère dont l'origine O est immobile et les axes (Ox) et (Oy) munis de vecteurs unitaires $\vec{\imath}$ et $\vec{\jmath}$.
La position d'un point M en mouvement est alors donnée par **ses coordonnées** x et y.



♦ On appelle vecteur-position $\overrightarrow{\boldsymbol{OM}}$ le vecteur qui relie l'origine du repère au point M étudié.
On note $\overrightarrow{OM}(x; y) \leftrightarrow \overrightarrow{OM} = x\vec{\imath} + y\vec{\jmath}$

x et y sont **les coordonnées** du point M donc aussi celle du vecteur-position $\overrightarrow{OM}$

Vecteur position $\overrightarrow{\boldsymbol{OM}}$	
Coordonnées du vecteur:	*Norme ou valeur du vecteur:*
$\overrightarrow{\boldsymbol{OM}}\binom{\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{y}}$	$\lVert\overrightarrow{\boldsymbol{OM}}\rVert = \boldsymbol{OM}(\boldsymbol{t}) = \sqrt{\boldsymbol{x}(\boldsymbol{t})^2 + \boldsymbol{y}(\boldsymbol{t})^2}$

A.2. Le vecteur vitesse

▪ Dans le cas d'un mouvement plan, le vecteur-vitesse possède **deux coordonnées** dont les expressions sont les dérivées des coordonnées de position x et y.

♦ **Le vecteur-vitesse est dérivé du vecteur position :**

Vecteur vitesse $\vec{\boldsymbol{v}}(\boldsymbol{t}) = \frac{\boldsymbol{d}\overrightarrow{\boldsymbol{OM}}}{\boldsymbol{dt}}(\boldsymbol{t})$	
Coordonnées du vecteur:	*Norme ou valeur du vecteur:*
$\vec{\boldsymbol{v}}(\boldsymbol{t}) \begin{cases} \boldsymbol{v_x} = \frac{\boldsymbol{dx}}{\boldsymbol{dt}}(\boldsymbol{t}) \\ \boldsymbol{v_y} = \frac{\boldsymbol{dy}}{\boldsymbol{dt}}(\boldsymbol{t}) \end{cases}$	$\boldsymbol{v}(\boldsymbol{t}) = \lVert\vec{\boldsymbol{v}}(\boldsymbol{t})\rVert = \sqrt{\boldsymbol{v_x}(\boldsymbol{t})^2 + \boldsymbol{v_y}(\boldsymbol{t})^2}$

Remarque : *Voir comment tracer un vecteur-vitesse avec les activités expérimentales et dirigées*

A.3. Le vecteur accélération

♦ **Le vecteur-accélération** est un vecteur qui traduit la variation du vecteur-vitesse en fonction du temps. **Ses coordonnées sont donc les dérivées de celles du vecteur-vitesse, et donc les dérivées secondes des coordonnées de position.**

Vecteur accélération	
$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}(t)$	$\vec{a}(t) = \frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2}(t)$
Coordonnées du vecteur:	
$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt}(t) \\ a_y = \frac{dv_y}{dt}(t) \end{cases}$	$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x = \frac{d^2x}{dt^2}(t) \\ a_y = \frac{d^2y}{dt^2}(t) \end{cases}$

Remarque : *Voir comment tracer un vecteur-accélération avec les activités expérimentales et dirigées*

B. Les lois de Newton

▪ Les deux premières lois de Newton telles que nous les abordons au lycée ne sont valables que dans certains référentiels appelés **les référentiels galiléens**.

- pour des expériences de laboratoire usuelles, les référentiels terrestre, géocentrique et héliocentrique peuvent être considérés comme galiléens ;
- tout référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même galiléen.

B.1. La 1ère loi de Newton ou « principe d'inertie »

♦ *Dans un référentiel galiléen :*

Si un système est soumis à des forces qui se compensent, alors son centre d'inertie est au repos ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Réciproquement : **si un système est au repos ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme, il est soumis à des forces qui se compensent.**

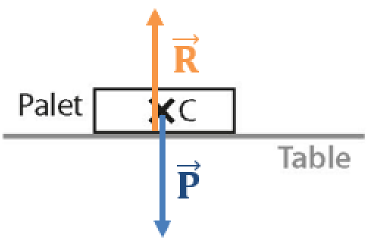
Remarque :

- L'expression « les forces se compensent » signifie que la somme vectorielle ou résultante des forces exercées sur le système est égale au vecteur nul, ce que l'on peut écrire symboliquement : $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Exemple : *Un palet est posé sur une table. Il est soumis à 2 forces : son poids $\vec{P}$ et la réaction du support $\vec{R}$*

Le palet est immobile ; D'après la 1ere loi de Newton on a

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$$



$\vec{P}$ et $\vec{R}$ sont 2 forces qui se compensent : les 2 forces ont même direction, même norme et sont de sens opposé

B.2. 2ème loi de Newton ou « relation fondamentale de la dynamique »

♦ *Dans un référentiel galiléen :* **la résultante des forces exercées sur le système est égale au produit de sa masse et du vecteur-accélération de son centre d'inertie :**

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$$

Remarque : *Lorsque le mouvement est rectiligne uniforme* $\vec{v} = \overrightarrow{constante}$.

Il n'y a donc pas d'accélération $\vec{a} = \vec{0}$: $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} = \vec{\mathbf{0}}$

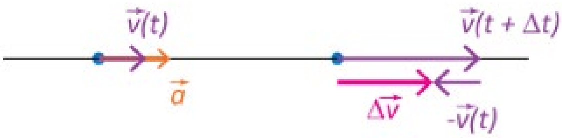
↳ on retrouve alors le principe d'inertie

B.3. Application à quelques mouvements particuliers

Le mouvement rectiligne uniforme

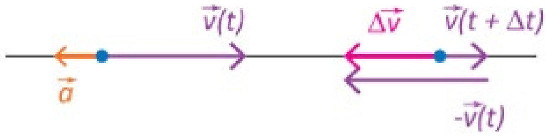
▪ Le mouvement rectiligne uniforme est caractérisé par un vecteur-vitesse constant *(en valeur, direction et sens)*. Le vecteur-accélération est donc nul.

Le mouvement rectiligne accéléré



▪ Le mouvement rectiligne accéléré est caractérisé par un vecteur-vitesse de direction et sens constants mais dont la valeur augmente au cours du temps. Le tracé montre donc que le vecteur-accélération est de même direction et de même sens que le vecteur-vitesse.

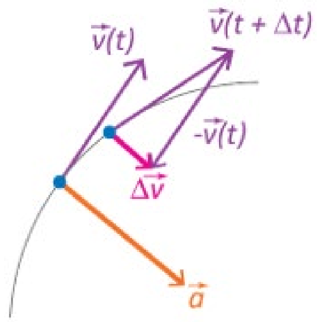
Le mouvement rectiligne « décéléré » ou ralenti



▪ Le mouvement rectiligne décéléré est caractérisé par un vecteur-vitesse de direction et sens constants mais dont la valeur diminue au cours du temps. Le tracé montre donc que le vecteur-accélération est de même direction que le vecteur-vitesse mais de sens opposé.

Le mouvement décéléré est donc un mouvement accéléré particulier, dont le vecteur-accélération est de sens opposé au mouvement.

Le mouvement circulaire uniforme



▪ Le mouvement circulaire uniforme est caractérisé par un vecteur-vitesse de valeur constante mais dont la direction varie au cours du temps. Le tracé montre que le vecteur accélération est alors perpendiculaire au vecteur-vitesse :

Cet exemple montre que le terme « uniforme » n'est pas le contraire de « accéléré », car le mouvement circulaire uniforme est un mouvement accéléré. Le contraire de « accéléré » est en réalité « rectiligne uniforme ».

Séquence 4	La chute libre	RETOUR AU SOMMAIRE

A. Etude de la chute libre

A.1. Accélération d'un système en chute libre

♦ **On appelle chute libre le mouvement d'un système soumis à une seule force : son poids.**

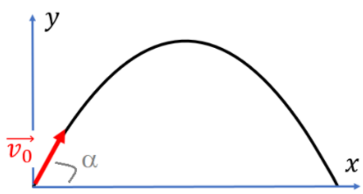
• Une chute libre n'est pas forcément verticale, si le système en chute possède une vitesse initiale non verticale.

Situation étudiée :

On étudie le mouvement d'un système en chute libre, représenté par son centre d'inertie :

- possédant, à la date $t = 0$, une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale ;

- dont la position initiale est le centre O du repère



Les positions du centre d'inertie M sont étudiées dans un repère (O, x, y) défini ci-contre.

Conditions initiales :	
Coordonnées initiales du vecteur-position :	**Coordonnées initiales du vecteur-vitesse :**
$\overrightarrow{\mathbf{OM_0}}\begin{cases}\mathbf{x_0 = 0}\\ \mathbf{y_0 = 0}\end{cases}$	$\overrightarrow{v_0}\begin{cases}v_{0x} = v_0\cos\alpha\\ v_{0y} = v_0\sin\alpha\end{cases}$

• L'application de la 2ème loi de Newton au système en chute libre donne :

$\sum \vec{F} = m \times \vec{a}$	*Énoncé de la deuxième loi de Newton*
$\vec{P} = m \times \vec{a}$	*car le système est en chute libre, donc la seule force qui s'exerce sur l'objet est son poids*
$m \times \vec{g} = m \times \vec{a}$	*en tenant compte de l'expression du poids*
$\vec{g} = \vec{a}$	*en simplifiant par « m »*

♦ **Lorsqu'un objet est en chute libre, le vecteur accélération est constant : il est vertical, dirigé vers le bas et de valeur égale au champ de pesanteur terrestre g = 9,81 m.s^{-2} :** $\vec{a}\begin{cases}a_x = 0\\ a_y = -g\end{cases}$

A.2. Les lois horaires du mouvement

Les constantes sont déterminées grace aux conditions initiales

Lois horaires de la vitesse

Vecteur accélération	Vecteur vitesse	Conditions initiales	Vecteur vitesse
$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$	$\vec{v}\begin{cases} v_x = \text{cte} \\ v_y = -gt + \text{cte} \end{cases}$	$\vec{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0\cos\alpha \\ v_{0y} = v_0\sin\alpha \end{cases}$	$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0\cos\alpha \\ v_y = -gt + v_0\sin\alpha \end{cases}$

Les coordonnées du vecteur-vitesse sont des fonctions primitives des coordonnés du vecteur accélération

Les constantes sont déterminées grace aux conditions initiales

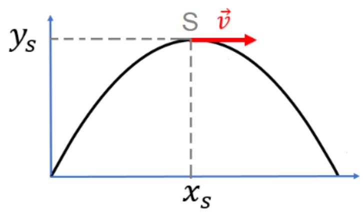
Lois horaires de la position

Vecteur vitesse	Vecteur position	Conditions initiales
$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0\cos\alpha \\ v_y = -gt + v_0\sin\alpha \end{cases}$	$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0\cos\alpha \times t + \text{cte} \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0\sin\alpha \times t + \text{cte} \end{cases}$	$\overrightarrow{OM_0}\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$

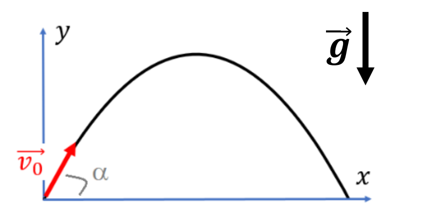
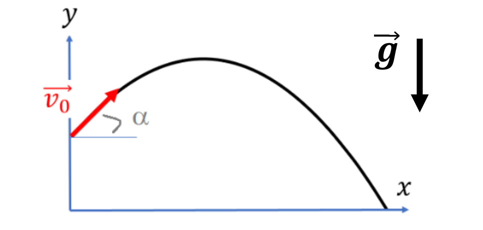
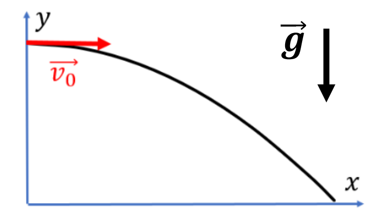
Les coordonnées du vecteur-position sont des fonctions primitives des coordonnés du vecteur vitesse

Vecteur position
$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0\cos\alpha \times t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0\sin\alpha \times t \end{cases}$

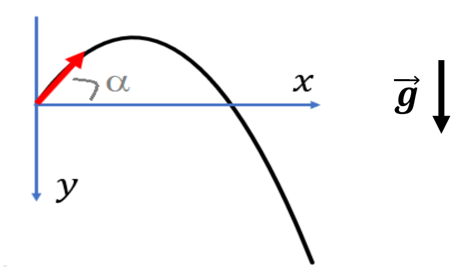
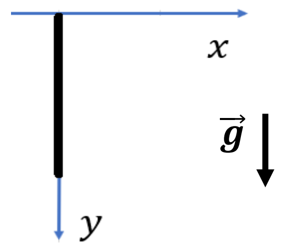
A.3. Quelques valeurs particulières

Position du sommet	Portée de tir
	
Soit S le sommet de la trajectoire. Comment déterminer les coordonnées de ce point S ?	La portée de tir d'un projectile correspond à la distance au sol entre la position initiale du projectile et sa position finale lorsqu'il arrive au sol
▪ Lorsque le projectile atteint le sommet de sa trajectoire , le vecteur vitesse $\vec{v}$ est horizontal : on a alors $v_y = 0$	**▪ Pour déterminer la portée de tir d'un projectile, il faut déterminer l'abscisse du point P lorsque $y = 0$**
Pour déterminer les coordonnées du point S : (1) *On prend l'expression de $v_y(t)$: on écrit $v_y(t) = 0$ puis on calcule la durée t_S au bout de laquelle le projectile se trouve au point S* (2) *On prend l'expression de $x(t)$: on remplace t par t_S : on détermine ainsi l'abscisse x_S du point S* (3) *On prend l'expression de $y(t)$: on remplace t par t_S : on détermine ainsi l'ordonnée y_S du point S*	*Pour déterminer l'abscisse du point P :* (1) *On prend l'expression de $y(t)$: on écrit $y(t) = 0$ puis on calcule la durée t_P au bout de laquelle le projectile se trouve au sol au point P* (2) *On prend l'expression de $x(t)$: on remplace t par t_P : on détermine ainsi l'abscisse x_P du point P*

B. Les différents cas étudiés

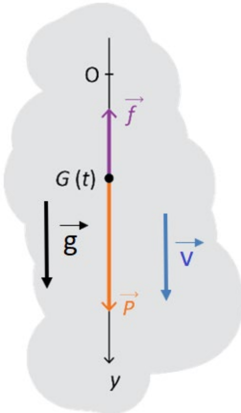
Conditions initiales		
$\overrightarrow{OG_0}\begin{cases}x_0=0\\y_0=0\end{cases}$ $\overrightarrow{v_0}\begin{cases}v_{x0}=v_0\cos\alpha\\v_{y0}=v_0\sin\alpha\end{cases}$	$\overrightarrow{OG_0}\begin{cases}x_0=0\\y_0=h\end{cases}$ $\overrightarrow{v_0}\begin{cases}v_{x0}=v_0\cos\alpha\\v_{y0}=v_0\sin\alpha\end{cases}$	$\overrightarrow{OG_0}\begin{cases}x_0=0\\y_0=h\end{cases}$ $\overrightarrow{v_0}\begin{cases}v_{x0}=v_0\\v_{y0}=0\end{cases}$
		
Equations horaires du mouvement		
$\overrightarrow{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=-g\end{cases}$	$\overrightarrow{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=-g\end{cases}$	$\overrightarrow{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=-g\end{cases}$
$\overrightarrow{v}\begin{cases}v_x=v_0\cos\alpha\\v_y=-gt+v_0\sin\alpha\end{cases}$	$\overrightarrow{v}\begin{cases}v_x=v_0\cos\alpha\\v_y=-gt+v_0\sin\alpha\end{cases}$	$\overrightarrow{v}\begin{cases}v_x=v_0\\v_y=-gt\end{cases}$
$\overrightarrow{OG}\begin{cases}x=v_0\cos\alpha\times t\\y=-\frac{1}{2}gt^2+v_0\sin\alpha\times t\end{cases}$	$\overrightarrow{OG}\begin{cases}x=v_0\cos\alpha\times t\\y=-\frac{1}{2}gt^2+v_0\sin\alpha\times t+h\end{cases}$	$\overrightarrow{OG}\begin{cases}x=v_0\times t\\y=-\frac{1}{2}gt^2+h\end{cases}$

Et attention quand l'axe oy change de sens !!

Conditions initiales			
$\overrightarrow{OG_0}\begin{cases}x_0=0\\y_0=0\end{cases}$	$\overrightarrow{v_0}\begin{cases}v_{x0}=v_0\cos\alpha\\v_{y0}=-v_0\sin\alpha\end{cases}$	$\overrightarrow{OG_0}\begin{cases}x_0=0\\y_0=0\end{cases}$	$\overrightarrow{v_0}\begin{cases}v_{x0}=0\\v_{y0}=0\end{cases}$
			
Equations horaires du mouvement			
$\overrightarrow{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=g\end{cases}$	$\overrightarrow{v}\begin{cases}v_x=v_0\cos\alpha\\v_y=gt-v_0\sin\alpha\end{cases}$	$\overrightarrow{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=g\end{cases}$	$\overrightarrow{v}\begin{cases}v_x=0\\v_y=gt\end{cases}$
$\overrightarrow{OG}\begin{cases}x=v_0\cos\alpha\times t\\y=\frac{1}{2}gt^2-v_0\sin\alpha\times t\end{cases}$		$\overrightarrow{OG}\begin{cases}x=0\\y=\frac{1}{2}gt^2\end{cases}$	

Séquence 5	**Chute verticale avec frottements**	RETOUR AU SOMMAIRE

A. Situation étudiée



Situation étudiée :

Le système étudié et un objet en mouvement de chute dans un fluide visqueux, sans vitesse initiale.
Son mouvement est étudié dans un repère (Oy), vertical et orienté vers le bas, dont l'origine coïncide avec la position initiale de son centre d'inertie.

$$\vec{V}\begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = v \end{cases}$$

Forces exercées sur le système

Comme le système étudié est en mouvement dans un fluide, celui-ci exerce une **force de frottement**.
Nous envisageons ici le cas où la force de frottement a une valeur proportionnelle à celle de la vitesse du système

Le système est donc soumis à 2 forces :

Son poids	*La force de frottement visqueux*
$\vec{P} = m\vec{g}$	$\vec{f} = -k \times \vec{v}$ avec $\vec{V}\begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = v \end{cases}$
$\vec{P}\begin{cases} P_x = 0 \\ P_y = mg \end{cases}$	$\vec{f}\begin{cases} f_x = 0 \\ f_y = -kv \end{cases}$

Le mouvement se fait uniquement suivant l'axe y dirigé vers le bas

Remarque : *dans l'expression de la force de frottement, k est une constante qui dépend du fluide et de la forme de l'objet en mouvement.*
Dans certains exercices, on tiendra compte également de la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ telle que
$\Pi = \rho_{liquide} \times V_{objet} \times g$

Rappel :

Forme de l'équation différentielle	Solution de l'équation différentielle
$y' + ay = 0$	$y = k \times e^{-ax}$
$ay' + by = 0 \Leftrightarrow y' + \frac{b}{a}y = 0$	$y = k \times e^{-\frac{b}{a}x}$
$y' + ay = b$	$y = k \times e^{-ax} + \frac{b}{a}$

B. Etude quantitative du mouvement

B.1. Variation de la vitesse au cours du mouvement

Énoncé de la deuxième loi de Newton	$\sum \overrightarrow{F} = m \times \overrightarrow{a}$ $\overrightarrow{P} + \overrightarrow{f} = m \times \overrightarrow{a}$
Projection sur l'axe Oy	$mg - kv = m \times a$ $mg - kv = m \times \frac{dv}{dt}$ $g - \frac{k}{m}v = \frac{dv}{dt}$ $\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g$
Solution de l'équation différentielle	$v(t) = A \times e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{mg}{k}$
Détermination de la constante A grâce à la condition initiale v(0)=0 (l'objet est lâché sans vitesse initiale)	$v(0) = A \times e^{-\frac{k}{m}\times 0} + \frac{mg}{k} = 0$ $A \times 1 + \frac{mg}{k} = 0$ ↳ $A = -\frac{mg}{k}$
Solution de l'équation différentielle	$v(t) = -\frac{mg}{k} \times e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{mg}{k}$ $v(t) = \frac{mg}{k}(1 - e^{-\frac{k}{m}t})$
Lorsque t → ∞	$v_{lim} = v(t \to \infty) = \frac{mg}{k}(1 - e^{-\frac{k}{m}t}) = \frac{mg}{k}$ La vitesse atteint une vitesse limite : $v_{lim} = \frac{m \times g}{k}$
Solution de l'équation différentielle	$v(t) = v_{lim} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ **avec** $\tau = \frac{m}{k}$ **et** $v_{lim} = \frac{m \times g}{k}$

Remarque : *recherchons l'unité de τ ....*

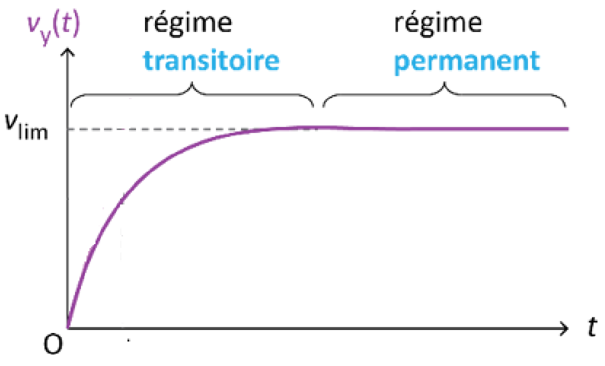
$v_{lim} = g \times \tau \to \tau = \frac{v_{lim}}{g}$ *Analyse dimensionnelle :* $[\tau] = \frac{[v_{lim}]}{[g]} = \frac{L.T^{-1}}{L.T^{-2}} = T$

L'équation aux dimensions d'une formule physique est une « équation de grandeurs », qui a la même forme que la formule physique initiale, mais dans laquelle on ne tient pas compte des nombres, des constantes numériques sans dimension ; interviennent uniquement les grandeurs physiques.

↳ La grandeur τ est un temps, elle s'exprime en s : elle est nommée « constante de temps » ou « temps caractéristique »

B.2. Régime transitoire et régime permanent

- Le mouvement peut être décomposé en deux phases :



- une phase de mouvement accéléré, appelé **régime transitoire**
- une phase de mouvement uniforme, appelée **régime permanent**. La vitesse alors atteinte est appelée **vitesse limite** et notée v_{lim}.

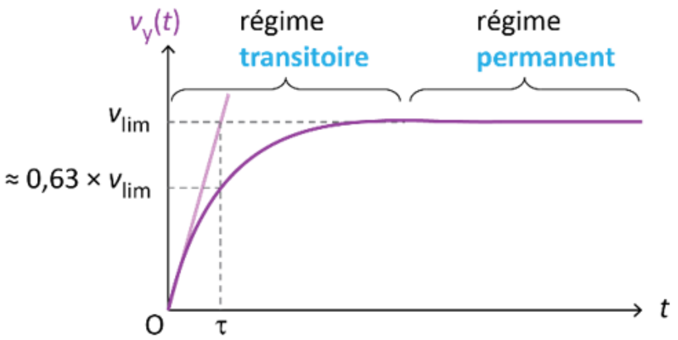
B.3. La constante de temps τ

- La solution de l'équation différentielle est donc : $v(t) = v_{lim} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

Lorsque t = τ ➪ $v(\tau) = v_{lim} \times \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}\right) = v_{lim} \times \left(1 - e^{-1}\right) \approx 0{,}63 v_{lim}$

On peut évaluer graphiquement la valeur de la constante de temps par deux méthodes :

- c'est la durée au bout de laquelle la vitesse atteint 63% de sa valeur limite ;
- c'est l'abscisse du point où la tangente à la courbe $v_y(t)$ à la date $t = 0$ coupe la droite horizontale d'ordonnée v_{lim}.



On estime que le régime permanent est atteint lorsqu'il s'est écoulé une durée égale à 5τ