

1. Définitions

1.1. Cinématique

La cinématique est la science qui étudie le mouvement des objets sans considérer les causes qui le produisent.

1.2. Point matériel

Un point matériel ou "particule" est un objet de dimension extrêmement petite telle que sa position peut être repérée comme celle d'un point géométrique. Il est caractérisé par sa masse (m).

1.3. Solide

Un solide est un corps indéformable.

On peut considérer un solide comme étant constitué d'une infinité de points matériels qui conservent entre eux des distances fixes quel que soit son mouvement.

Dans la suite, lorsqu'on étudiera le mouvement d'un solide, on se limitera à décrire le mouvement d'un seul de ses points.

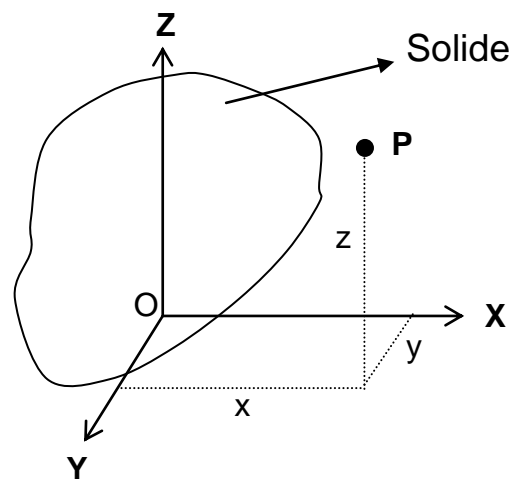
Autrement dit, la position du solide sera repérée par celle de l'un des points matériels qui le constituent.

1.4. Système de référence

Un système de référence est un solide par rapport auquel on peut repérer la position d'un autre corps et, ainsi, étudier son mouvement.

La position d'un point matériel (P) dans l'espace est repérée, par exemple, en fixant sur le solide de référence un ensemble de trois axes rectangulaires orientés (OX , OY , OZ).

Les **coordonnées** (x , y , z) du point P déterminent entièrement sa position. Le solide de référence est choisi de manière à simplifier au maximum l'étude des mouvements.



- Dans la plupart des problèmes courants, le solide de référence est la terre ou un objet fixe par rapport à la terre (bâtiment).



- Lorsqu'on étudie le mouvement d'un objet dans un véhicule en mouvement, le solide de référence peut être ce véhicule.
- Pour l'étude du mouvement des planètes du système solaire on utilise le soleil comme système de référence.

1.5. Repos, mouvement, trajectoire

Un point matériel est au **repos** lorsque sa position dans le système de référence choisi ne change pas (ses coordonnées sont, alors, constantes); il est en **mouvement** dans le cas contraire.

La **trajectoire** d'un point matériel est l'ensemble des positions occupées par ce point au cours du temps.

La forme de la trajectoire d'un point matériel peut avoir une forme très complexe mais dans de nombreux cas elle peut être une courbe géométrique bien précise (trajectoires rectiligne, circulaire, elliptique, parabolique, ...).

1.6. Mesure du temps

La description du mouvement d'un objet consiste à indiquer sa position (dans le système de référence choisi) à chaque instant.

Chaque instant doit donc être repéré par un nombre qui sera la variable temps indiquée par la lettre **t**.

Ceci nécessite le choix d'une **échelle de temps**.

C'est-à-dire:

- Choix d'un instant "zéro" (**t = 0**): c'est l'instant où, par exemple, on déclenche le chronomètre.
- Choix d'un système d'unités.

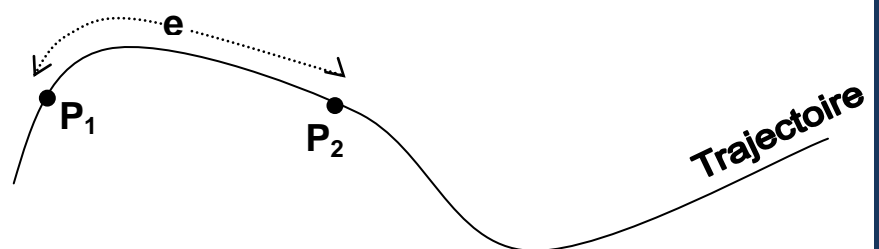
Dans le **Système International des Unités (S.I.)**, l'unité de temps est la **seconde (s)**.

On appelle **durée** un intervalle de temps entre deux instants donnés; on la note **Δt** .

Ainsi si un événement se produit entre deux instants **t₁** et **t₂**, il a une durée: **$\Delta t = t_2 - t_1$**

1.7. Espace parcouru

L'espace parcouru par un objet entre deux instants est la longueur de la trajectoire parcourue entre ces deux instants. C'est donc une grandeur **positive**.



On le note **e**.

P₁: position de l'objet à l'instant initial t₁

P₂: position de l'objet à l'instant t₂

e: espace parcouru par l'objet entre ces deux instants.

1.8. Relativité

Les notions de repos, de mouvement, de trajectoire, de déplacement (et, aussi, celles de vitesse et d'accélération que l'on verra plus tard) sont des notions relatives car elles dépendent du système de référence que l'on a choisi.



Exemples:

- Une objet immobile par rapport à la terre décrit une trajectoire quasi circulaire par rapport au soleil.
- Une personne assise dans un train en mouvement est immobile par rapport à celui-ci et en mouvement par rapport au rail.
- La pointe de lecture d'un tourne-disque décrit une trajectoire en arc de cercle par rapport au meuble, en spirale par rapport au disque et est immobile par rapport au bras.

2. Vitesse

2.1. Vitesse moyenne

La vitesse moyenne d'un objet entre deux instants est le quotient de l'espace parcouru entre ces deux instants par la durée de ce parcours.

e: espace parcouru entre les instants **t₁** et **t₂** .

V_m: vitesse moyenne entre les instants **t₁** et **t₂** .

Δt = **t₂** - **t₁** : durée du parcours.

$$V_m = \frac{e}{\Delta t}$$

2.2. Vitesse instantanée

La notion de vitesse instantanée d'un véhicule est très familière, c'est la vitesse qu'on lit à un instant donné sur son compteur de vitesse (ou tachymètre).

C'est aussi la vitesse mesurée par le radar de la police.

Cette vitesse peut varier d'un instant à l'autre, c'est donc une fonction du temps. On la note **v(t)**, **v_t** ou, simplement, **v**.

Ainsi, si, par exemple, la vitesse instantanée augmente, on dit que le véhicule accélère; si elle diminue, on dit que le véhicule ralentit.

La vitesse instantanée d'un objet à un instant t donné est définie comme étant sa vitesse moyenne pendant un intervalle de temps "extrêmement" court qui suit l'instant t. Mathématiquement, on dit que l'intervalle de temps "tend vers zéro". La définition rigoureuse de la vitesse instantanée fait intervenir la notion mathématique de "dérivée". La vitesse est la dérivée par rapport au temps de l'espace parcouru.

Remarque:

Ainsi définies, les vitesses moyenne et instantanée sont des grandeurs **positives**.



2.3. Unités de vitesse

La vitesse étant exprimée par le quotient d'une longueur et d'un temps, une unité de vitesse doit être le quotient d'une unité de longueur par une unité de temps.

Systeme International

Unité de longueur: **le mètre (m)**

Unité de temps: **la seconde (s)**

Unité de vitesse: **le mètre par seconde (m/s)**

Le mètre par seconde est la vitesse d'un objet qui parcourt un mètre à chaque seconde.

Autres unités

Le kilomètre par heure: km/h

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

Le mile par heure (unité anglo-saxonne): mph

$$1 \text{ mph} = 1,609 \text{ km/h}$$

Le nœud (mille marin par heure; unité utilisée dans la marine)

$$1 \text{ nœud} = 1,852 \text{ km/h}$$

2.4. Quelques vitesses remarquables

<http://hypertextbook.com/facts/index-topics.shtml>

2.5. Vecteur vitesse

Certaines grandeurs physiques sont des grandeurs scalaires, elles sont entièrement définies par leur valeur:

Ainsi sont la température, l'énergie, la durée, la puissance, la longueur...

D'autres sont vectorielles: elles sont définies par leur valeur, leur direction, leur sens.

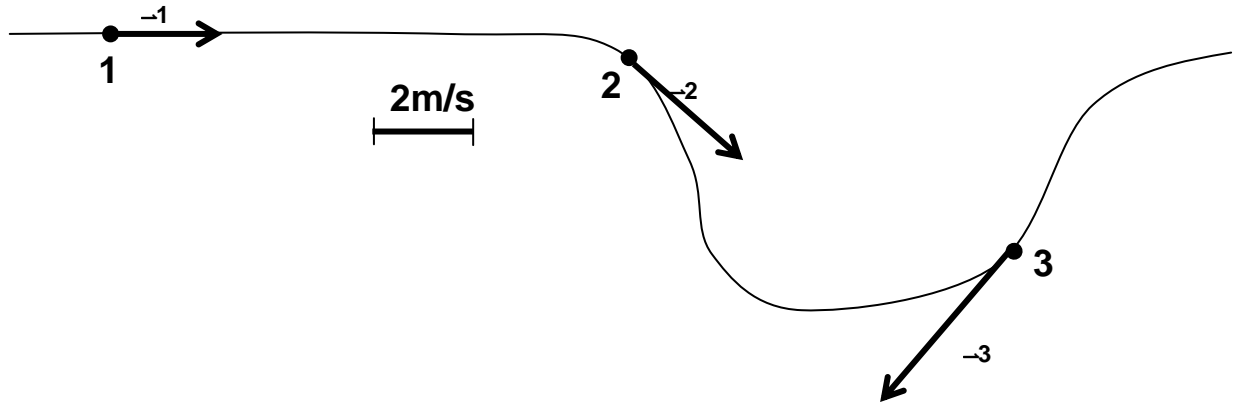
Ainsi sont la force, le déplacement, mais aussi la vitesse, l'accélération...



Le **vecteur vitesse** (\vec{v}) indique la direction et le sens de déplacement d'un point matériel à un instant donné.

Caractéristiques du vecteur vitesse:

- direction: tangente à la trajectoire;
- sens: sens de déplacement du point;
- grandeur: grandeur de la vitesse scalaire.



Le point **1** se déplace vers la droite à la vitesse de 2 m/s.

Le point **2** se déplace vers la droite à la vitesse de 3 m/s.

Le point **3** se déplace vers la gauche à la vitesse de 4 m/s.

3. Le mouvement uniforme

3.1. Définition

Un mouvement uniforme est un mouvement à vitesse constante.

3.2. Lois du mouvement uniforme

e est l'espace parcouru depuis l'instant initial ($t = 0$) jusqu'à l'instant t .

$$e = v t$$

Dans un mouvement uniforme, l'espace parcouru est proportionnel à la durée du parcours.

3.3. Exemples

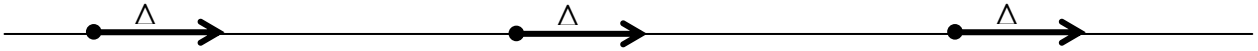
- Un mouvement rigoureusement uniforme n'est que très rarement réalisé. Néanmoins, dans de nombreux cas, les lois du mouvement uniforme peuvent être utilisées avec une approximation suffisante. C'est le cas, par exemple, dans les problèmes de trains (horaires, croisements, dépassements, ...) dont on suppose le mouvement uniforme entre deux stations, les phases d'accélération au départ et de freinage à l'arrivée étant carrément négligées.



- **Le mouvement rectiligne uniforme (M.R.U.)**

C'est un mouvement en ligne droite et à vitesse constante.

C'est le seul mouvement dont le vecteur vitesse est constant en grandeur, direction et sens.

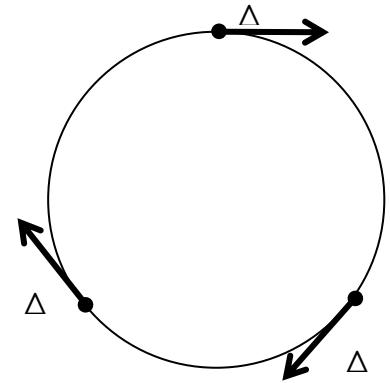


- **Le mouvement circulaire uniforme (M.C.U.)**

C'est un mouvement à vitesse constante et dont la trajectoire est circulaire.

C'est, approximativement, celui de la plupart des planètes autour du soleil. Leurs trajectoires étant, en réalité, légèrement elliptiques.

C'est aussi le mouvement de tous les points d'un solide tournant "régulièrement" autour d'un axe fixe. (manège, roue d'un véhicule...)

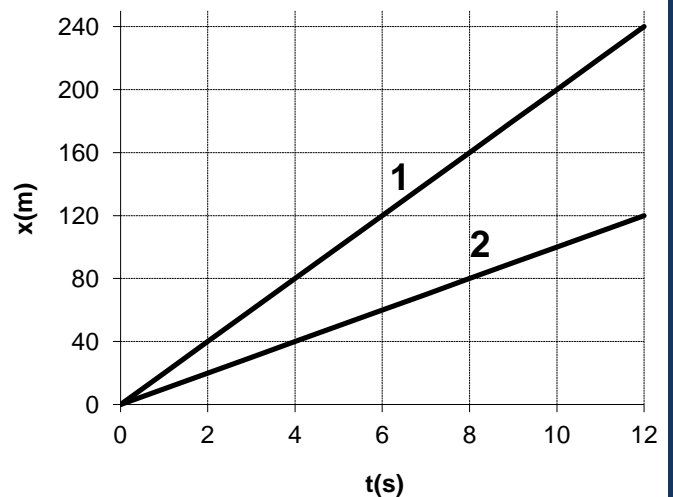


3.4. Graphiques

Sur les graphiques, la position sur la trajectoire est représentée par la fonction $x(t)$, coordonnée mesurée à partir d'un point d'origine arbitraire.

Ci-contre le graphique représente le mouvement de 2 véhicules décrivant un mouvement **uniforme** sur une **même trajectoire** et partant du **même endroit** en **même instant**.

- Le véhicule **1** parcourt 240 m en 12 s, il a donc une vitesse constante de **20 m/s**.
- Le véhicule **2** parcourt 120 m en 12 s, il a donc une vitesse constante de **10 m/s**.



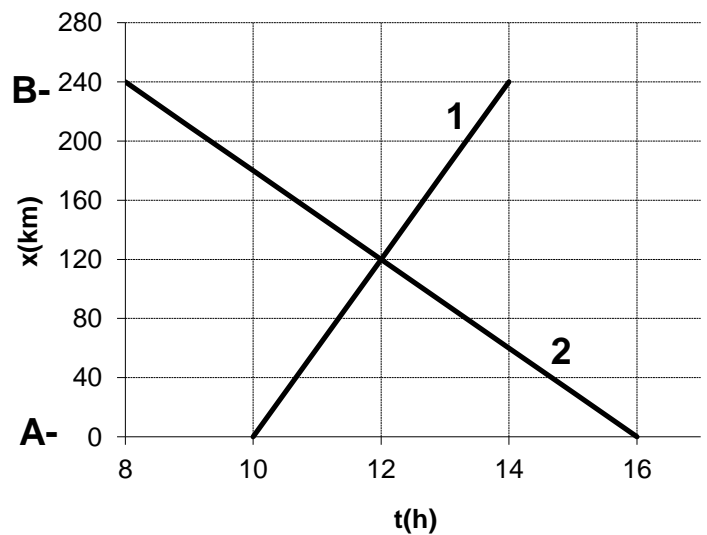
Plus la vitesse est grande, plus la pente de la droite $x(t)$ est grande.



On peut aussi représenter, sur un même graphique, les mouvements de plusieurs véhicules circulant sur le même parcours, dans les deux sens.

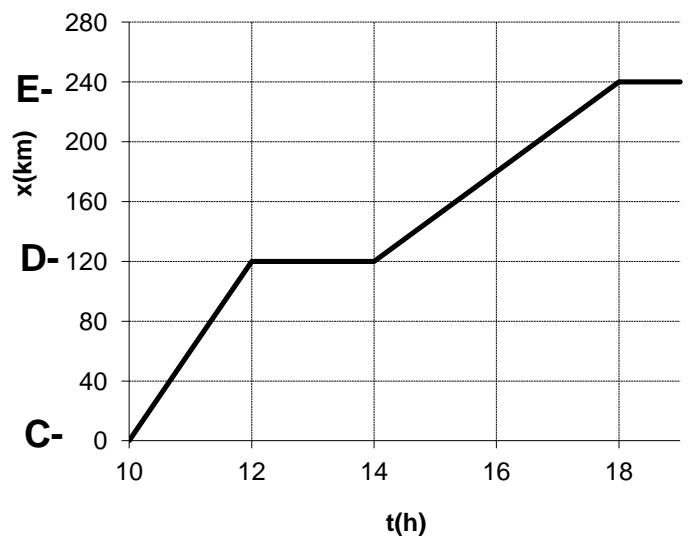
Ci-contre:

- le véhicule **1** se rend de la ville **A** à la ville **B** distante de **240 km**. Il part de **A** à **10 h**, arrive en **B** à **14h**. Il se déplace à la vitesse constante de **60 km/h**.
- le véhicule **2** se rend de la ville **B** à la ville **A**. Il part de **B** à **8 h**, arrive en **A** à **16h**. Il se déplace à la vitesse constante de **40 km/h**.
- Les deux véhicules se croisent à **12 h** à **120 km** de **A**.



Le graphique ci-contre représente le mouvement d'un véhicule qui:

- part de la ville **C** à **10 h**.
- roule à la vitesse constante de **60 km/h**
- s'arrête 2h à la ville **D**.
- repart à 14 h à la vitesse constante de **30 km/h**.
- s'arrête à la ville **E** à **18 h**.



4. Accélération

4.1. Introduction

Dans le langage courant, on dit qu'un objet subit une accélération lorsque sa vitesse augmente.

Mais on parlera aussi d'accélération lorsque la **vitesse diminue**. Dans ce cas, l'accélération est **négative**.

*En cinématique, la notion d'accélération est plus générale: un objet est soumis à une **accélération** lorsque **son vecteur vitesse varie**.*

*Donc, un objet est soumis à une **accélération** lorsque:*

- la vitesse augmente.
- la vitesse diminue.
- la direction du mouvement change.

Ainsi, par exemple, un mouvement circulaire uniforme (c'est-à-dire, à vitesse constante) est un mouvement accéléré puisque la direction de son mouvement est modifiée à chaque instant.

Le seul mouvement non accéléré est le mouvement rectiligne uniforme.

L'accélération est une grandeur vectorielle ($\vec{a} \rightarrow \sim$ définie à partir du vecteur vitesse).

On s'en tiendra aux **mouvements rectilignes** et on définira une **accélération scalaire** qu'on note **a**.

4.2. Exemples

4.2.1. Des chiffres

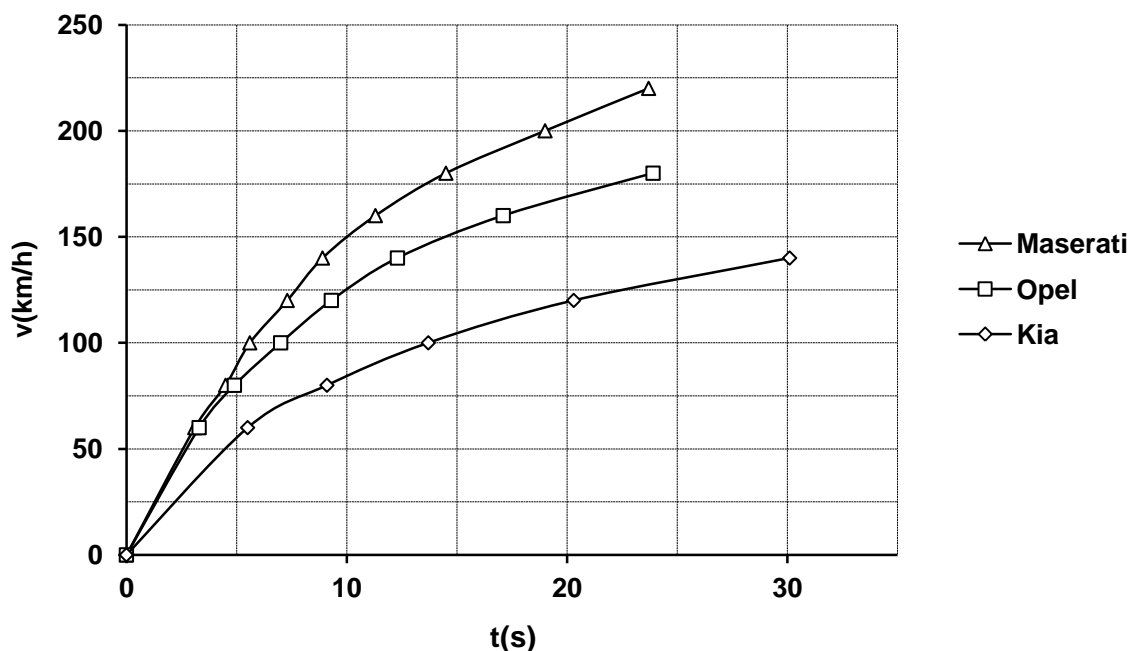
Une revue automobile bien connue teste les voitures et publie leurs performances. A la rubrique "**accélération**" on trouve, pour trois voitures de marques différentes, des chiffres repris dans le tableau ci-dessous:

	Kia	Opel	Maserati
0 - 60 km/h	5,5 s	3,3 s	3,1 s
0 - 80 km/h	9,1 s	4,9 s	4,5 s
0 - 100 km/h	13,7 s	7,0 s	5,6 s
0 - 120 km/h	20,3 s	9,3 s	7,3 s
0 - 140 km/h	30,1 s	12,3 s	8,9 s
0 - 160 km/h	-	17,1 s	11,3 s
0 - 180 km/h	-	23,9 s	14,5 s
0 - 200 km/h	-	-	19,0 s
0 - 220 km/h	-	-	23,7 s



4.2.2. Un graphique

Le tableau ci-dessus est traduit dans le graphique ci-dessous qui montre l'évolution de la vitesse des 3 voitures lorsqu'elles démarrent.



4.2.3. Examen des mesures

- Pour atteindre la vitesse de **100 km/h** il faut:
 - A la Kia: **13,7 s.**
 - A l'Opel: **7,0 s.**
 - A la Maserati: **5,6 s.**

L'accélération de la Maserati est la plus grande parce qu'il lui faut le moins de temps pour atteindre 100 km/h.
Celle de la Kia est la plus petite.

- De même on constate qu'après **20 s** les vitesses atteintes sont, environ, de:
 - Pour la Kia: **120 km/h.**
 - Pour l'Opel: **170 km/h.**
 - Pour la Maserati: **205 km/h.**

La conclusion est la même: l'accélération de la Maserati est la plus grande parce qu'en 20 s la vitesse atteinte est la plus grande.

- L'accélération des trois voitures diminue avec le temps.
Ainsi, par exemple, pour que la vitesse de la Maserati augmente de **60 km/h** il faut de plus en plus de temps:
 - De 0 à 60 km/h: **3,1 s.**
 - De 60 à 120 km/h: **4,2 s.**
 - De 120 à 180 km/h: **7,2 s.**



4.3. Définitions

4.3.1. Accélération moyenne

Comme on l'a vu, l'accélération d'un véhicule est d'autant plus grande que:

- La variation de sa vitesse pendant une durée donnée est grande.
- Ou, la durée d'une augmentation de vitesse donnée est petite.

L'accélération moyenne (a_m) d'un objet pendant un intervalle de temps donné est le quotient de la variation de sa vitesse (Δv) par la durée de cette variation (Δt).

C'est donc la variation moyenne de la vitesse par unité de temps.

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

4.3.2. Accélération instantanée

L'accélération instantanée d'un objet est son accélération à un instant donné.

L'accélération instantanée d'un objet à un instant t donné est définie comme étant son accélération moyenne pendant un intervalle de temps extrêmement court qui suit l'instant t . Mathématiquement, on dit que l'intervalle de temps "tend vers zéro". La définition rigoureuse de l'accélération instantanée fait intervenir la notion mathématique de "dérivée". L'accélération est la dérivée par rapport au temps de la vitesse.

4.4. Unité d'accélération

L'unité d'accélération est le quotient de l'unité de vitesse par l'unité de temps.

Systeme International

Unité de vitesse: **le mètre par seconde (m/s)**

Unité de temps: **la seconde (s)**

Unité d'accélération: **le mètre par seconde par seconde (m/s/s)**

ou

le mètre par seconde carré (m/s²)

Le mètre par seconde carré est l'accélération d'un objet dont la vitesse varie d'un mètre par seconde à chaque seconde.



4.5. Signe de l'accélération

- L'accélération est positive lorsque la vitesse augmente.
- L'accélération est négative lorsque la vitesse diminue.
- L'accélération est nulle lorsque la vitesse est constante.

4.6. Calculs

- Calculs de l'accélération moyenne des trois voitures lorsque leur vitesse passe de **0 à 60 km/h**.
 - $\Delta v = 60 \text{ km/h} = 16,7 \text{ m/s}$.
 - Kia: $\Delta t = 5,5 \text{ s}$
 $a_m = 16,7/5,5 = \mathbf{3,0 \text{ m/s}^2}$
 - Opel: $\Delta t = 3,3 \text{ s}$
 $a_m = 16,7/3,3 = \mathbf{5,1 \text{ m/s}^2}$
 - Maserati: $\Delta t = 3,1 \text{ s}$
 $a_m = 16,7/3,1 = \mathbf{5,4 \text{ m/s}^2}$
- Calcul de l'accélération moyenne des trois voitures lorsque leur vitesse passe de **100 à 120 km/h**.
 - $\Delta v = (120 - 100) \text{ km/h} = 20 \text{ km/h} = 8,3 \text{ m/s}$.
 - Kia: $\Delta t = (20,3 - 13,7) \text{ s} = 6,6 \text{ s}$
 $a_m = 8,3/6,6 = \mathbf{1,3 \text{ m/s}^2}$
 - Opel: $\Delta t = (9,3 - 7,0) \text{ s} = 2,3 \text{ s}$
 $a_m = 8,3/2,3 = \mathbf{3,6 \text{ m/s}^2}$
 - Maserati: $\Delta t = (7,3 - 5,6) = 1,7 \text{ s}$
 $a_m = 8,3/1,7 = \mathbf{4,9 \text{ m/s}^2}$

4.7. Quelques valeurs approximatives de l'accélération

- Démarrage d'un train: $0,3 \text{ m/s}^2$.
- Démarrage d'une voiture: 3 m/s^2 .
- Démarrage d'une formule 1: 13 m/s^2 .
- Démarrage d'un dragster: 25 m/s^2 .
- Décollage d'un avion: $4,5 \text{ m/s}^2$.
- Accélération d'un objet en chute libre dans le vide: $9,8 \text{ m/s}^2$.
- Freinage d'une automobile:
 - route sèche: -6 m/s^2
 - route mouillée: -3 m/s^2
- <http://hypertextbook.com/facts/index-topics.shtml>



5. Le mouvement rectiligne uniformément varié (MRUV)

5.1. Définition

Un mouvement rectiligne uniformément varié est un mouvement en ligne droite dont l'accélération est constante.

La vitesse varie **proportionnellement** au temps.
La vitesse est une fonction **linéaire** du temps.

Remarque: on utilise aussi l'appellation "mouvement rectiligne uniformément accéléré". (MRUA)

5.2. Vitesse initiale

C'est la vitesse l'instant initial **0**.
On la note v_0 .

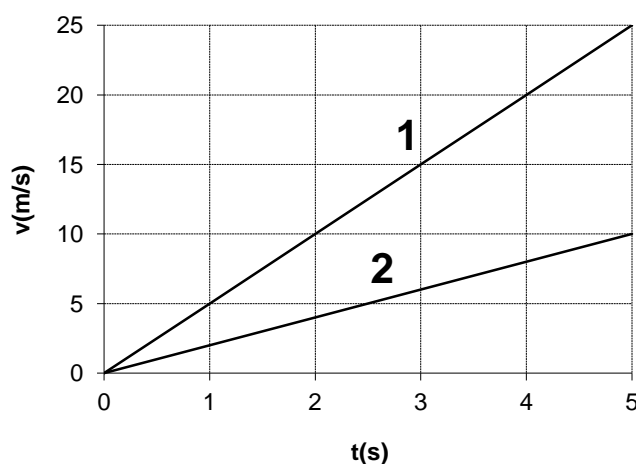
Exemples:

- Si un véhicule démarre et accélère, sa vitesse initiale est nulle ($v_0 = 0$)
- Si un véhicule roulant à une certaine vitesse se met à freiner ou à accélérer, il a, alors, une vitesse initiale non nulle. ($v_0 \neq 0$)

5.3. Graphiques de la vitesse

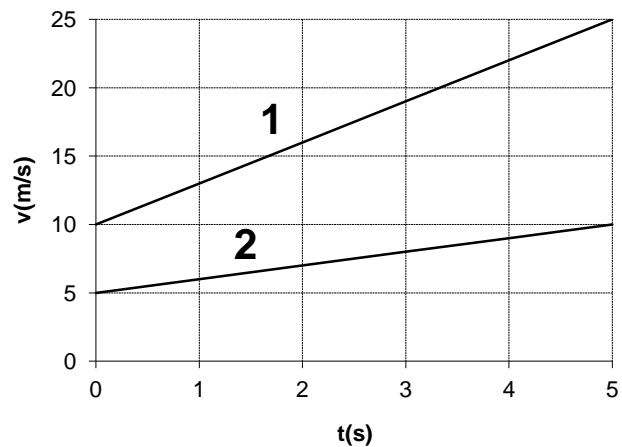
5.3.1. Vitesse initiale nulle, accélération positive

- Véhicule **1** :
 - $v_0 = 0$ m/s
 - $a = 5$ m/s²
- Véhicule **2** :
 - $v_0 = 0$ m/s
 - $a = 2$ m/s²



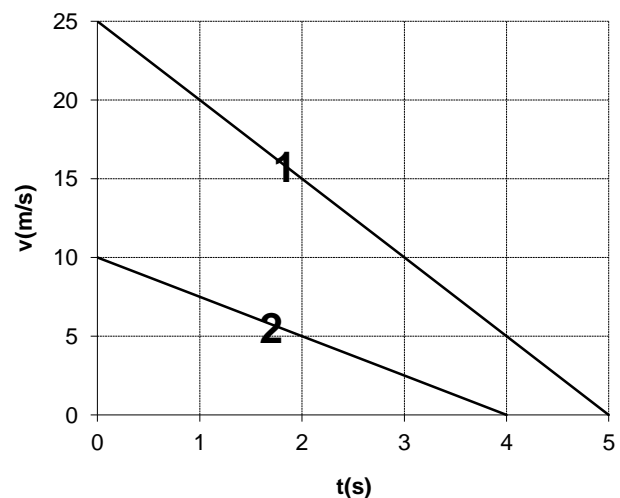
5.3.2. Vitesse initiale non nulle, accélération positive

- Véhicule **1** :
 - $v_0 = 10 \text{ m/s}$
 - $a = 3 \text{ m/s}^2$
- Véhicule **2** :
 - $v_0 = 5 \text{ m/s}$
 - $a = 1 \text{ m/s}^2$



5.3.3. Vitesse initiale non nulle, accélération négative

- Véhicule **1** :
 - $v_0 = 25 \text{ m/s}$
 - $a = -5 \text{ m/s}^2$
- Véhicule **2** :
 - $v_0 = 10 \text{ m/s}$
 - $a = -2,5 \text{ m/s}^2$



5.4. Lois du MRUV

5.4.1. Loi de la vitesse

v_0 : vitesse initiale (à l'instant 0)

v : vitesse à l'instant t

a : accélération constante

$$\text{on a : } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - 0}$$

donc:

$$\boxed{v = v_0 + at}$$

Cette loi permet de calculer la vitesse à chaque instant quand on connaît la vitesse initiale et l'accélération constante.

Cas particulier: mouvement sans vitesse initiale ($v_0 = 0$)

$$\boxed{v = at}$$



5.4.2. Loi de l'espace

Dans un mouvement uniformément varié, la vitesse varie à chaque instant.
Pour connaître l'espace parcouru e depuis l'instant 0 jusqu'à l'instant t il faudrait connaître la vitesse moyenne V_m entre ces deux instants.

Prenons un exemple:

Soit un mouvement pour lequel $v_0 = 7 \text{ m/s}$ et $a = 2 \text{ m/s}^2$.

Tableau des vitesses entre $t = 0 \text{ s}$ et $t = 4 \text{ s}$.

t(s)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
v(m/s)	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Calcul de la vitesse moyenne:

- en prenant la vitesse toutes les secondes:
 $V_m = (7 + 9 + 11 + 13 + 15) / 5 = 55/5 = 11 \text{ m/s}$
- en prenant la vitesse toutes les demi-secondes:
 $V_m = (7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 + 13 + 14 + 15) / 9 = 99/9 = 11 \text{ m/s}$
- en prenant les deux vitesses extrêmes:
 $V_m = (7 + 15) / 2 = 22/2 = 11 \text{ m/s}$

Conclusions:

On trouve toujours la même valeur.

On peut donc en conclure que:

Dans un MRUV, la vitesse moyenne entre deux instants est toujours égale à la moyenne arithmétique entre la vitesse à l'instant initial et la vitesse à l'instant final.

Donc:

V_0 : vitesse initiale (à l'instant 0)

v : vitesse à l'instant t

a : accélération constante

V_m : vitesse moyenne entre les instants 0 et t

$$V_m = (v_0 + v) / 2$$

$$e = V_m t = (v + v_0) t / 2 \quad \text{avec} \quad v = v_0 + at$$

donc

$$e = (v_0 + at + v_0) t / 2$$

$$e = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Cette loi permet de calculer l'espace parcouru depuis l'instant 0 connaissant la vitesse initiale et l'accélération constante.

Cas particulier: mouvement sans vitesse initiale ($v_0 = 0$)

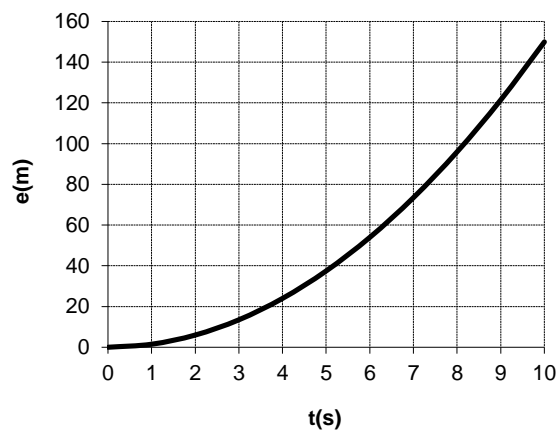
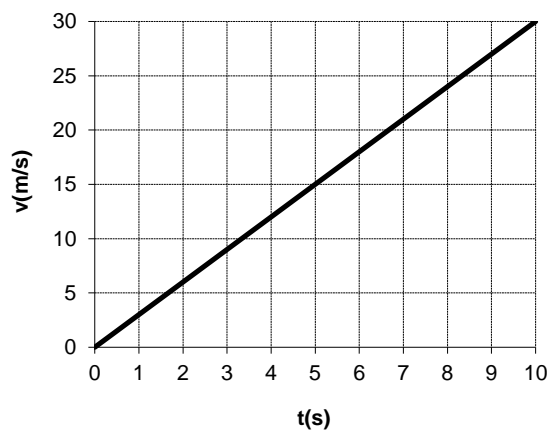
$$e = \frac{1}{2} a t^2$$



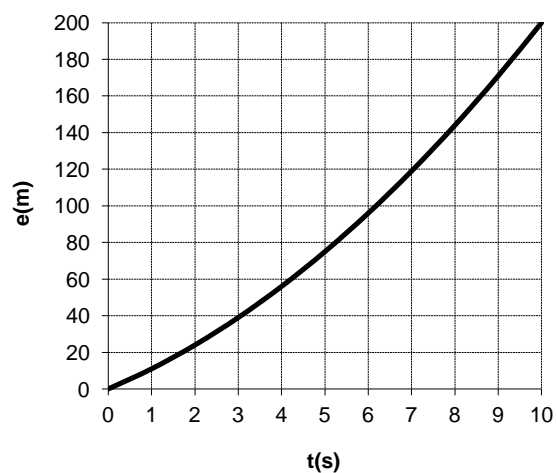
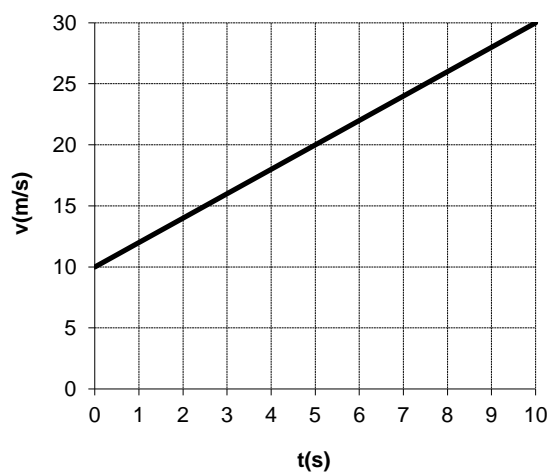
5.5. Graphiques de la vitesse de l'espace parcouru

La fonction $e(t)$ est une fonction du second degré, son graphique est une **parabole**.

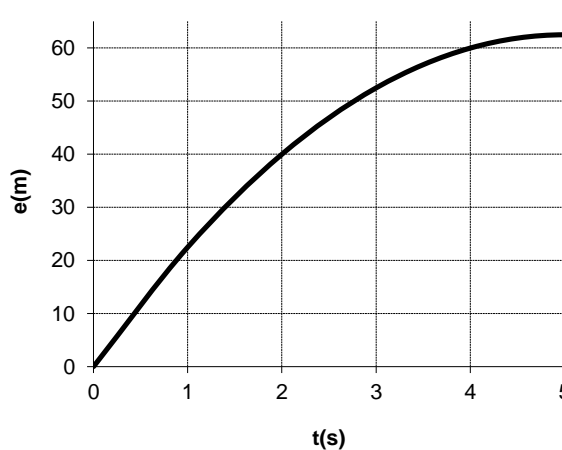
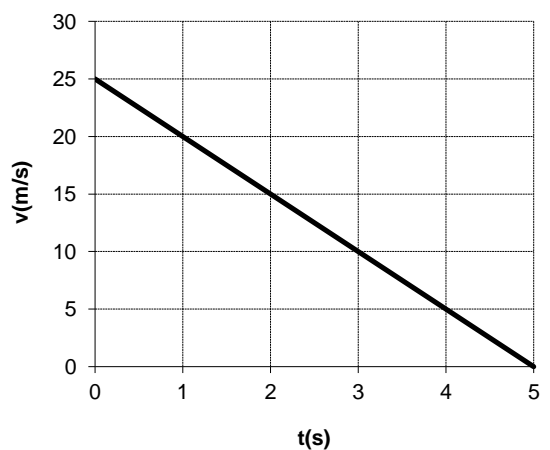
$$v_0 = 0 \text{ m/s} \quad a = 3 \text{ m/s}^2$$



$$v_0 = 10 \text{ m/s} \quad a = 2 \text{ m/s}^2$$



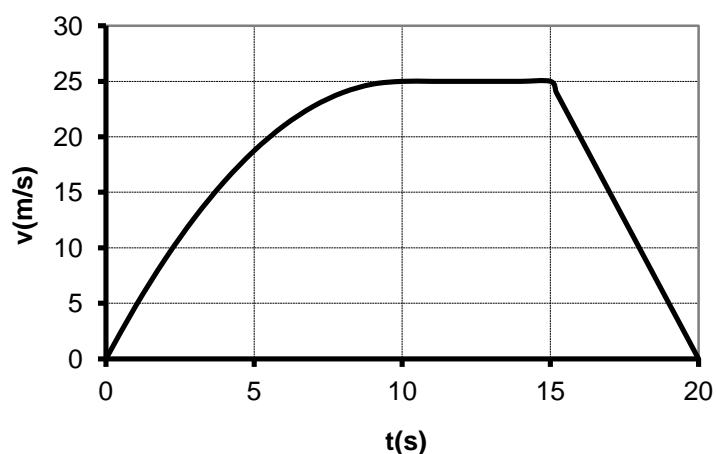
$$v_0 = 25 \text{ m/s} \quad a = -5 \text{ m/s}^2$$



6. Deux autres exemples de mouvements, graphiques de la vitesse

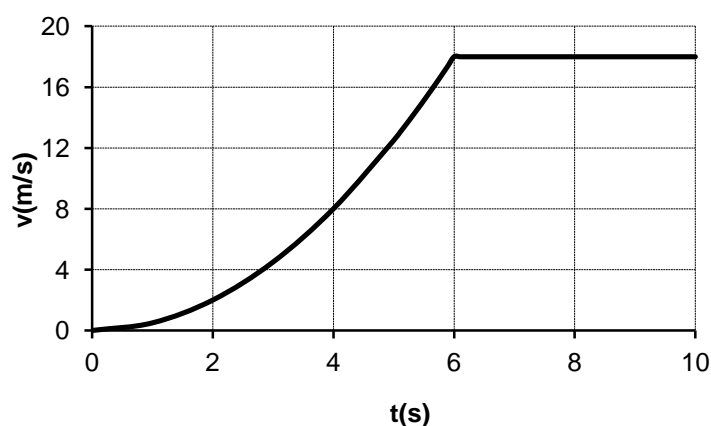
La vitesse initiale est nulle.

- Entre $t=0s$ et $t = 10s$
L'accélération est **positive** et **diminue** progressivement jusqu'à 0.
- Entre $t=10s$ et $t=15s$
L'accélération est **nulle**.
- Entre $t=15s$ et $t=20s$
L'accélération est **constante** et **négative**.



La vitesse initiale est nulle

- Entre $t=0s$ et $t = 6s$
L'accélération est **positive** et **augmente**.
- Entre $t=6s$ et $t=10s$
L'accélération est **nulle**.



7. Freinage et arrêt d'une voiture

7.1. Introduction

La distance nécessaire à un véhicule pour s'arrêter (D_A) dépend de nombreux facteurs comme, l'état des freins et des pneus, l'état de la route, le poids du véhicule...

Elle est égale à la distance parcourue pendant le temps de réaction (D_R) + la distance parcourue pendant le freinage (D_F).

$$D_A = D_R + D_F$$



En se servant des lois du MRUV, on peut calculer la distance de freinage (D_F) pour une vitesse initiale v_0 et une accélération négative de module $|a|$:

$$D_F = \frac{v_0^2}{2|a|}$$

La distance de freinage est proportionnelle au **carré** de la vitesse du véhicule. Lorsque la vitesse d'un véhicule est multipliée par **2**, sa distance de freinage est multipliée par **4**.

7.2. Quelques chiffres

Pour les calculs, on peut se baser, par exemple, sur les hypothèses suivantes:

- L'accélération (négative) est constante pendant le freinage.
- Elle peut valoir approximativement:
 - - **6m/s²** sur route sèche.
 - - **3m/s²** sur route mouillée

Le temps de réaction est de **1 s**.

- Sur route sèche:

v_0 (km/h)	D_R (m)	D_F (m)	D_A (m)
50	14	16	30
90	25	52	77
120	33	93	126
140	39	126	165
180	50	208	258

- Sur route mouillée:

v_0 (km/h)	D_R (m)	D_F (m)	D_A (m)
50	14	32	46
90	25	104	129
120	33	185	219
140	39	252	291
180	50	417	467



7.3. Un graphique

Evolution de la vitesse d'un véhicule lorsque le conducteur effectue un freinage d'urgence après avoir aperçu un obstacle.

Vitesse initiale du véhicule : **90 km/h = 25 m/s**

Accélération constante lors du freinage : **- 6 m/s²**

Temps de réaction : **1 s**

Durée du freinage : $25/6 = 4,17 \text{ s}$

