1 Vecteur variation de vitesse

› Lors d’un mouvement, le vecteur vitesse instantanée peut varier en direction, en sens et en norme. On définit alors le vecteur variation de vitesse instantanée entre un instant t et un instant t' :

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}.$$

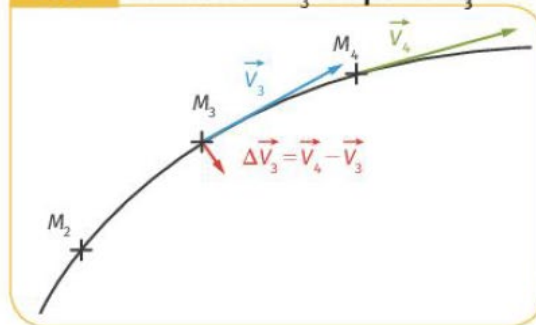
› En pratique, on ne peut pas mesurer la vitesse d’un point à deux instants infiniment proches, séparés d’une durée Δt infiniment petite. Comme on mesure la vitesse moyenne entre deux points, on définit le vecteur variation de vitesse moyenne entre deux points.

Le vecteur variation de vitesse moyenne $\Delta\vec{v}_3$ au point M_3 a pour expression : $\Delta\vec{v}_3 = \vec{v}_4 - \vec{v}_3$.
Il s’obtient graphiquement en ajoutant le vecteur $\vec{v}_4$ à l’opposé du vecteur $\vec{v}_3$ au point M_3 → Fiche méthode 4, p. 385.

Le vecteur variation de vitesse moyenne calculé entre deux points est, en première approximation, appelé vecteur variation de vitesse.

Remarque :
Pour des valeurs de Δt importantes, le calcul de la vitesse donne de meilleurs résultats en prenant les points M_{i-1} et M_{i+1} que les points M_{i+1} et M_i.

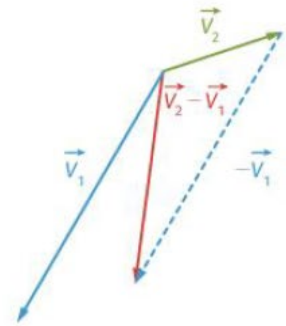
Doc. 1 Vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}_3$ au point M_3



Éviter les erreurs

→ La norme d’une somme de vecteurs n’est en général pas égale à la somme des normes, mais :

$$\| \vec{v}_2 - \vec{v}_1 \| \geqslant \| \vec{v}_2 \| - \| \vec{v}_1 \|.$$



2 Effet d’une force sur le mouvement

A Résultante des forces

› Lorsque plusieurs forces s’exercent sur un système, on définit le vecteur résultante des forces $\vec{F}_{\text{résultante}}$.

Le vecteur résultante des forces $\vec{F}_{\text{résultante}}$. est égal à la somme des forces extérieures qui s’appliquent sur le système.

On peut donc aussi l’écrire plus simplement $\Sigma\vec{F}$.

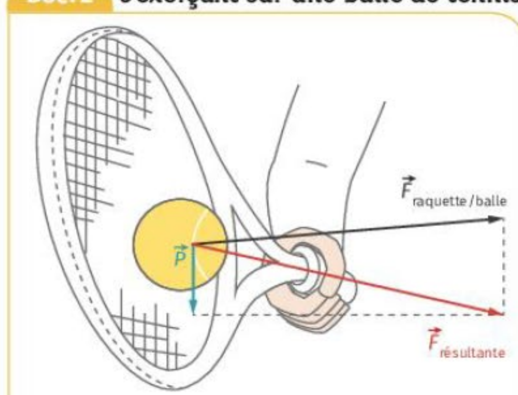
B Effet d’une force sur un mouvement

› Alors que la cinématique est la science purement descriptive du mouvement, la dynamique est la science qui relie les caractéristiques du mouvement à ses causes. Dans ce chapitre, on modélise le système étudié par un point matériel situé en son centre de gravité.

En l’absence de force, ou si les forces se compensent, le système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. C’est la première loi de Newton, appelée aussi principe d’inertie.
Si $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$, alors $\Delta\vec{v} = \vec{0}$.

Exemple :
Dans le film *Gravity*, après la rupture du câble qui la reliait à la station spatiale, l’astronaute Ryan Stone, jouée par Sandra Bullock, dérive en mouvement rectiligne uniforme dans le vide car soumis à aucune force (**doc. 3**).

Doc. 2 Résultante des forces s’exerçant sur une balle de tennis



$\vec{F}_{\text{résultante}} = \vec{F}_{\text{raquette/balle}} + \vec{P}$

Doc. 3 Une astronaute dans l’espace

Loin de tout corps environnant, une astronaute a un mouvement rectiligne uniforme.

> Au contraire, l'action d'une force permet de sortir un objet de son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme.

> Lors d'un service au tennis (**doc. 4**), la balle est lancée verticalement vers le haut. La force exercée par la raquette sur la balle modifie sa trajectoire et accélère son mouvement, le vecteur vitesse de la balle varie : $\Delta\vec{v} \neq \vec{0}$.

Ainsi, une force a pour effet de modifier la trajectoire et/ou la valeur de la vitesse d'un objet.

Un ensemble de forces dont la résultante $\Sigma\vec{F}$ est non nulle est responsable de la variation du vecteur vitesse $\vec{v}$ du système.

Si $\Sigma\vec{F} \neq \vec{0}$, alors $\Delta\vec{v} \neq \vec{0}$.

C Référentiel galiléen

> Les lois de Newton s'appliquent dans des référentiels dits galiléens uniquement.

Un référentiel est dit galiléen si le principe d'inertie est vérifié dans celui-ci.

Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des études de mouvement de durée faible par rapport à la durée de rotation complète de la Terre (24 h).

3 Approche de la deuxième loi de Newton

A Variation de vitesse et résultante des forces

> On peut relier la variation de la vitesse d'un système par rapport au temps à la somme des forces qui agissent sur lui.

> Soit un point matériel M animé d'une vitesse $\vec{v}$, soumis à un ensemble de forces dont la somme vaut $\Sigma\vec{F}$ à un instant t. Les forces appliquées au point matériel induisent un changement de vitesse.

La variation de vitesse instantanée d'un système par rapport au temps est proportionnelle à la résultante des forces qui s'appliquent sur lui : $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = k \cdot \Sigma\vec{F}$ où k est un réel positif normal.

En pratique, pour obtenir la résultante des forces qui s'exercent sur le point matériel à la date t_2, on mesure la variation de vitesse entre deux dates proches, t_2 et t_3.

Exemple :

Doc. 5 La variation de vitesse au point M_2 par rapport au temps est proportionnelle à la résultante des forces appliquées au point M_2.

$$\frac{\Delta\vec{v}_2}{t_3 - t_2} = k \cdot \Sigma\vec{F}.$$

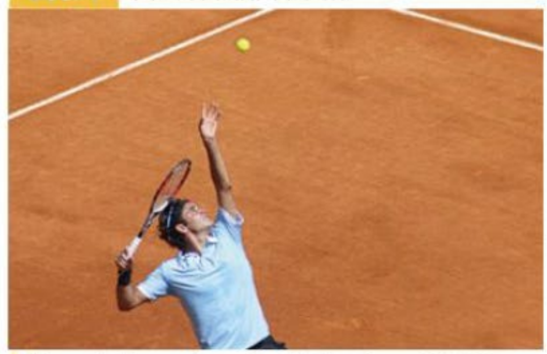
Pas de malentendu

- Une force n'est pas nécessaire pour maintenir un objet en mouvement. D'après le principe d'inertie, en l'absence de forces ou si les forces se compensent, l'objet est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme.

Vocabulaire

- **Point matériel :** point modèle contenant la masse du système, situé en son centre de gravité.

Doc. 4 Service au tennis

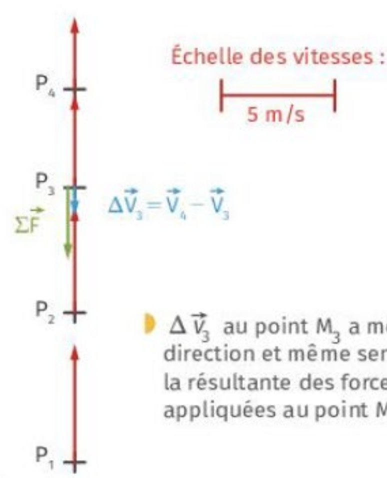


Roger Federer, champion de tennis, avril 2008.
Lors d'un service, la force exercée par le joueur sur la balle modifie la direction et la valeur de sa vitesse.

Éviter les erreurs

- t_2 et t_1 sont des dates tandis que τ est une durée. La durée est définie comme le temps séparant deux dates, par exemple : $\Delta t = t_2 - t_1$.
- La durée séparant deux positions sur une chronophotographie est souvent notée τ.

Doc. 5 Le vecteur variation de vitesse et force résultante



$\Delta\vec{v}_3$ au point M_3 a même direction et même sens que la résultante des forces $\Sigma\vec{F}$ appliquées au point M_3.

Par conséquent, le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}_2$ au point M_2 est de même direction et de même sens que la résultante des forces $\Sigma\vec{F}$ s'appliquant au système à l'instant t_2 et sa valeur Δv_2 est proportionnelle à l'intensité de $\Sigma\vec{F}$.

Numérique

Retrouvez une vidéo sur le tracé d'un vecteur variation de vitesse.
LLS.fr/PC1P261

B Rôle de la masse

› On définit l'inertie comme la tendance d'un corps à conserver sa vitesse. Plus la masse d'un objet est importante, plus son inertie est grande. La force qu'il faut fournir à un objet pour le porter d'une vitesse v_1 à une vitesse v_2 est, en un intervalle de temps Δt donné, proportionnelle à la masse de l'objet (**doc. 6**).

Cette force résultante $\Sigma\vec{F}$ qui est proportionnelle à $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ est aussi proportionnelle à la masse m de l'objet.

C Relation approchée de la deuxième loi de Newton

Cette relation réunit les considérations précédentes (cf. A. et B.) :

$$m\cdot\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\Sigma\vec{F}$$

avec $\Sigma\vec{F}$ en N, Δv en $m\cdot s^{-1}$, Δt en s et m en kg.

Connaissant la masse et le vecteur variation de vitesse d'un système à un instant donné, cette relation permet de déduire la direction, le sens et l'intensité de la résultante des forces qui s'appliquent à cet instant, et réciproquement.

Remarque :

$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ est donc inversement proportionnel à la masse : $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{1}{m}\Sigma\vec{F}$.

D Cas d'une chute libre

On dit qu'un objet est en chute libre s'il est soumis uniquement à son poids $\vec{P}$.

Comme $\vec{P}=m\cdot\vec{g}$, alors la relation approchée de la deuxième loi de Newton s'écrit : $m\cdot\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=m\cdot\vec{g}$ soit $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\vec{g}$.

Ainsi, dans le cas d'une chute libre, la variation du vecteur vitesse par rapport au temps $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ est égale au champ de pesanteur $\vec{g}$.
Le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ d'un système en chute libre est vertical, dirigé vers le bas et sa valeur ne dépend pas de sa masse.

Doc. 6 Lancer de poids

Nafissatou Thiam, championne du monde d'heptathlon 2017, effectuant un lancer de poids.

Plus la masse de la boule à lancer est élevée, plus la force exercée par l'athlète doit être élevée pour la porter à une vitesse donnée.

Analyse dimensionnelle

→ $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ s'exprime en $(m\cdot s^{-1})\cdot s^{-1}$ donc en $m\cdot s^{-2}$.
D'après la relation approchée de la deuxième loi de Newton, la valeur de la force résultante qui s'exprime en N peut aussi s'exprimer en $kg\cdot m\cdot s^{-2}$.
Ces unités sont donc équivalentes. $1\ N = 1\ kg\cdot m\cdot s^{-2}$.

Pas de malentendu

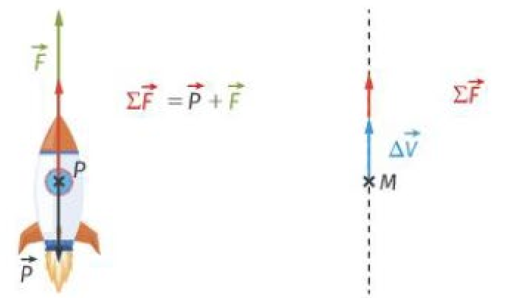
→ En parachutisme, l'expression chute libre désigne la phase de la chute précédant l'ouverture du parachute. En réalité, durant cette phase, le parachutiste est soumis, non seulement à son poids, mais aussi aux frottements de l'air qui ne sont pas négligeables puisque le parachutiste cesse d'accélérer et atteint une vitesse limite de 200 $km\cdot h^{-1}$.

Doc. 7 Saut en parachute

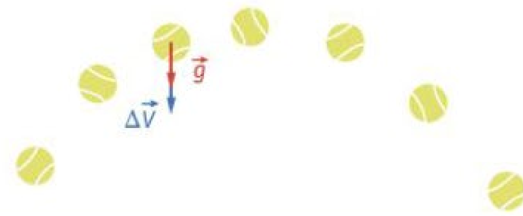
* L'essentiel *

Principales notions

- Relation approchée de la deuxième loi de Newton : $m \cdot \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \Sigma \vec{F}$.
  - Le vecteur variation de vitesse du système $\Delta \vec{v}$ est de même direction et même sens que la résultante des forces appliquées $\Sigma \vec{F}$.
  - La valeur du vecteur variation de vitesse du système Δv est inversement proportionnelle à la masse m du système.



- Dans le cas d'une chute libre, le système est par définition soumis seulement à son poids $\vec{P}$: $m \cdot \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \cdot \vec{g} \Rightarrow \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}$.
  - Le vecteur variation de vitesse du système $\Delta \vec{v}$ est vertical, orienté vers le bas et il ne dépend pas de la masse du système.



Les éléments essentiels de la modélisation

- **Le point matériel**

Pour étudier simplement le mouvement d'un système, on le modélise par un point contenant toute sa masse et situé en son centre de gravité.
La dynamique du point matériel permet d'expliquer le mouvement du centre de gravité de l'objet.

- **Du comportement cinématique au bilan des forces**

La connaissance du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ d'un système pendant un intervalle de temps Δt ainsi que sa masse permettent de connaître la direction, le sens et la valeur de la résultante des forces $\Sigma \vec{F}$ appliquées.

- **La chute libre**

Le modèle de chute libre permet de simplifier l'étude du mouvement d'un système car les forces de frottement de l'air sont négligées par rapport au poids.

Les limites de la modélisation

› Le point matériel

- Le modèle du point matériel ne permet pas d'expliquer le mouvement des systèmes en rotation sur eux-mêmes (effets sur une balle de tennis, etc.).

› Le référentiel galiléen

- Les lois de Newton s'appliquent dans un référentiel galiléen. Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des études de mouvement de durée restreinte. Tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est aussi galiléen. Si on souhaite étudier les mouvements dans un référentiel non galiléen, il faut utiliser des pseudo-forces.

› Comportement cinématique et bilan des forces

- L'étude cinématique permet de déterminer le bilan des forces mais pas le détail de chacune d'elles.
- On ne peut pas connaître la force à l'origine du mouvement rectiligne uniforme d'un système si on n'en connaît que sa vitesse.
- L'expression approchée de la deuxième loi de Newton s'applique pour une durée Δt petite. Elle serait d'autant plus précise si la durée Δt tendait vers zéro. L'étude de cette limite sera abordée en terminale seulement.