La mécanique de Newton

I – Rappel : forces et mouvements

1) Système mécanique

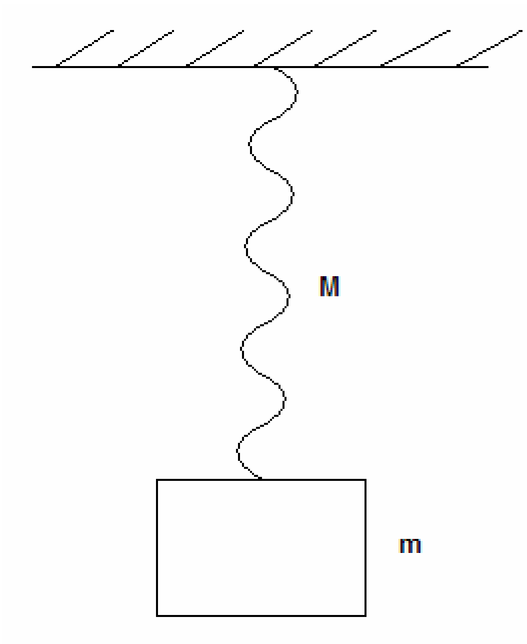
Un système mécanique est un objet ou un ensemble d'objets considéré(s) du point de vue de leur mouvement et des forces qu'ils subissent.

2) Référentiels et repères

- Le référentiel est le solide de référence par rapport auquel on définit le mouvement du système (choix arbitraire).
- Le repère est un système d'axes dans lequel on pourra écrire les coordonnées d'un point du système. Le choix d'un repère est indépendant du choix du référentiel.
- Un référentiel galiléen est un référentiel où les lois de Newton sont vérifées.

3) Bilan de forces

On considère un objet de masse m accroché à un ressort lui-même suspendu verticalement.



Système étudié : objet de masse m

- **Poids :** $\vec{P}$

Point d'application : centre d'inertie
Direction : verticale
Sens : vers le bas
Valeur : $P = mg$ en N (newton)

- **Force exercée par le ressort sur le système :** $\vec{F}$

Point d'application : point de contact entre objet et ressort
Direction : verticale
Sens : vers le haut
Valeur : ?

Système étudié : ressort

- **Poids :** $\vec{P'}$

Point d'application : centre d'inertie
Direction : verticale
Sens : vers le bas
Valeur : $P' = Mg$

- **Force exercée par l'objet de masse m sur le ressort :** $\vec{F}$

Point d'application : point de contact entre objet et ressort
Direction : verticale
Sens : vers le bas
Valeur : ?

- **Force exercée par le support sur le ressort :** $\vec{F'}$

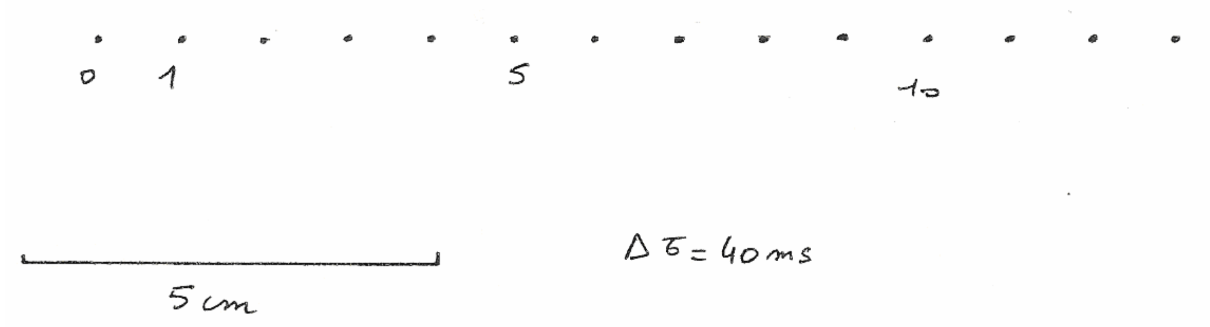
Point d'application : point de contact entre ressort et support
Direction : verticale
Sens : vers le haut
Valeur : ?

4) Mouvement et trajectoire

- Dans un référentiel donné, la trajectoire d'un point est l'ensemble des positions successives occupées par ce point au cours de son mouvement.
- Un mouvement se caractérise par une trajectoire et une vitesse dans un référentiel donné.

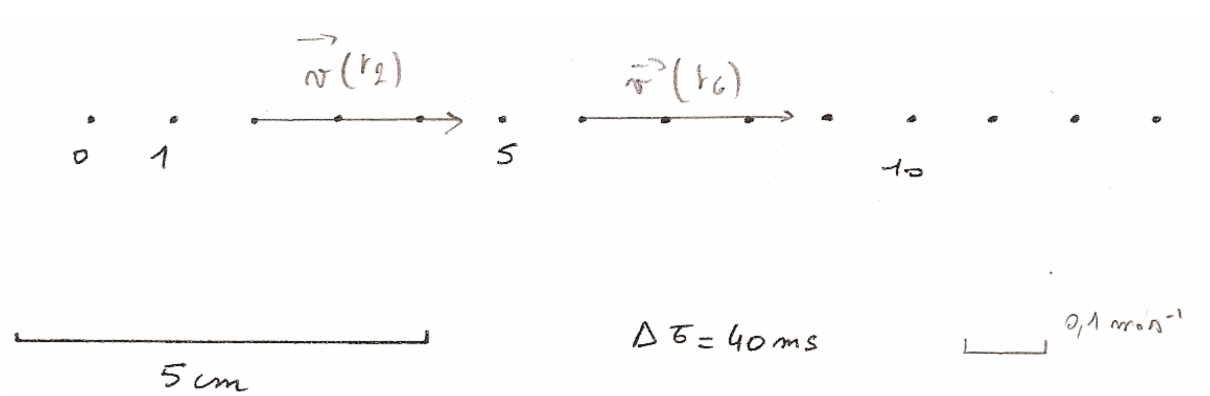
5) Vecteur vitesse

- Le vecteur vitesse est caractérisé par :
    - Un point d'application : le centre d'inertie du système à la date considérée.
    - Une direction : tangente à le trajectoire.
    - Un sens : celui du mouvement.
    - Une valeur : la vitesse instantanée, assimilée à la vitesse moyenne du système entre deux instants très proches l'un de l'autre.
- Exemple :



$$\|\vec{v}(t_2)\| = \frac{M_1M_3}{2\Delta t} = \frac{2.10^{-2}}{2.40.10^{-3}} = 0{,}25\ m.s^{-1}$$

$$\|\vec{v}(t_6)\| = \frac{M_5M_7}{2\Delta t} = \frac{2.10^{-2}}{2.40.10^{-3}} = 0{,}25\ m.s^{-1}$$



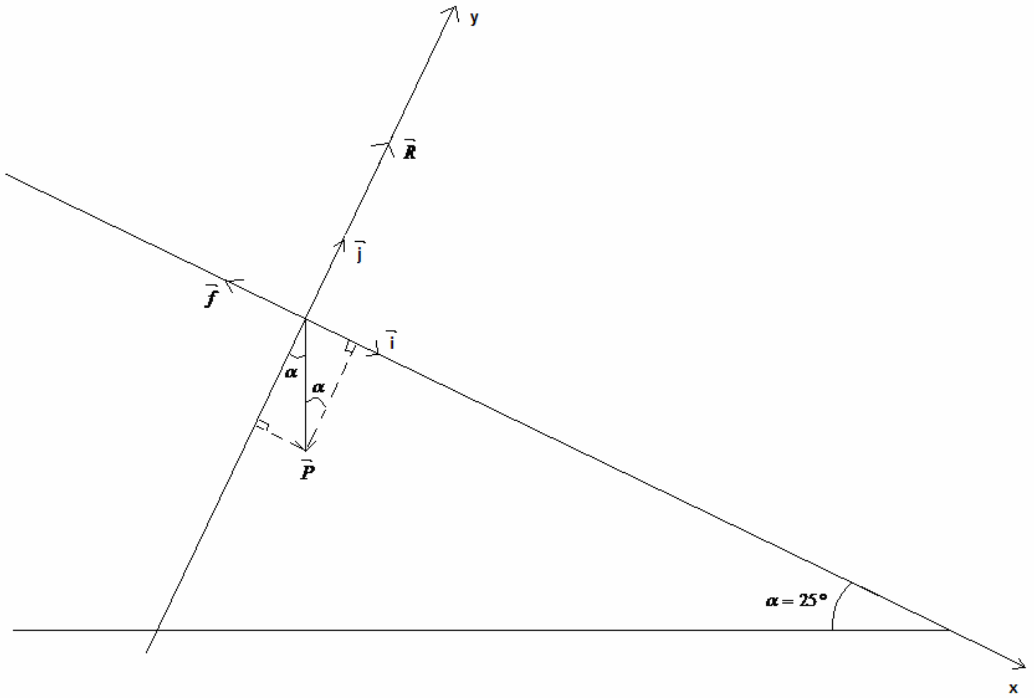
Sur le schéma : la vitesse est constante. La trajectoire du centre d'inertie du système est une droite. Le mouvement du système est rectiligne uniforme.

II – Rappel : les lois de Newton

1) Première loi de Newton : principe de l'inertie

- Dans un référentiel galiléen, si la somme vectorielle des forces qui s'appliquent à un système est nulle, le centre d'inertie de ce système est :
    - Soit immobile.
    - Soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

- Dans le référentiel Terrestre, on considère un surfeur de masse m = 60 kg sur une pente inclinée d'un angle $\alpha = 25°$ par rapport à l'horizontale. Le surfeur descend la piste en ligne droite à vitesse constante.
  Le référentiel Terrestre est supposé galiléen.
  Le système étudié est le surfeur.
  Bilan des forces
  - $\vec{P}$: le poids.
  - $\vec{R}$: la force exercée par la piste sur le surf.
  - $\vec{f}$: la force de frottement.



Le mouvement est rectiligne uniforme, donc d'après la première loi de Newton : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{f} = \vec{0}$.

Choix d'un repère de projection : $(O, \vec{i}, \vec{j})$.

Dans ce repère : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{f} = \vec{0} \Leftrightarrow P_x + R_x + f_x = 0$ et $P_y + R_y + f_y = 0$.

Coordonnées des vecteurs dans ce repère :

$$\vec{R}\left|\begin{array}{l} R_x = 0 \\ R_y = R \end{array}\right. \quad ; \quad \vec{f}\left|\begin{array}{l} f_x = -f \\ f_y = 0 \end{array}\right. \quad ; \quad \vec{P}\left|\begin{array}{l} P_x = P.\sin\alpha \\ P_y = -P.\cos\alpha \end{array}\right. .$$

$P.\sin\alpha + 0 - f = 0 \Rightarrow f = P.\sin\alpha$,

$-P.\cos\alpha + R + 0 = 0 \Rightarrow R = P.\cos\alpha$.

Or P = mg.

Donc $f = mg.\sin\alpha = 249\text{ N}$, $R = mg.\cos\alpha = 530\text{ N}$.

2) Deuxième loi de Newton

Enoncé

On considère un palet auto-porteur sur une table à coussin d'air. Ce palet est accroché à un ressort qui est fixé à un point O sur la table. On enregistre le mouvement du palet. On obtient le document 2.

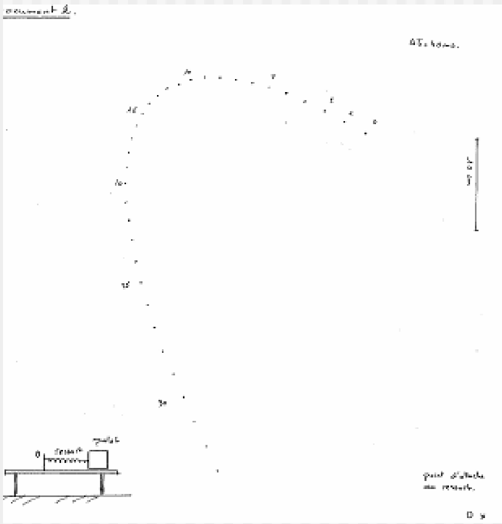
Tracer sur le document 2 les vecteurs vitesses instantanées aux dates t_9 et t_{11}.

Tracer alors les vecteurs variations de vitesse $\Delta\vec{v}_{10}$

Que constate-t-on ?

Comparer la direction et le sens de la résultante des forces exercées sur le système à la direction et au sens du vecteur variation de vitesse.

Retrouver alors l'intitulé de la deuxième loi de Newton vue en classe de première



La construction d'un vecteur variation de vitesse en quelques étapes

L'objectif de l'activité est de construire à partir de l'enregistrement fourni, le vecteur variation de vitesse du centre d'inertie du mobile à la date t_{10}

1 ère étape : Déterminer la valeur de la vitesse aux dates t_9 et t_{11}.

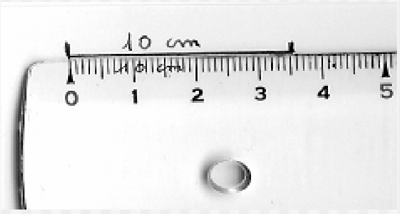
2 ème étape: Tracer les vecteurs vitesses aux dates t_9 et t_{11}

3 ème étape : Tracer alors le vecteur variation de vitesse à la date t_{10} tel que $\Delta\vec{v}_{10} = \vec{v}_{11} - \vec{v}_9$

$1^{\text{ère}}$ étape : Détermination des valeurs de la vitesse instantanée du centre d'inertie du mobile aux dates t_9 et t_{11}

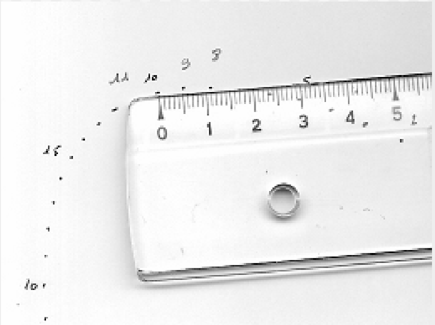
Détermination de la valeur de v_9

Par définition : $v_9 = \dfrac{M_8M_{10}}{2\tau}$



Rq : ici on parle de la valeur de la vitesse, on ne parle pas de vecteur.
τ représente la durée séparant deux points consécutifs. Ici 2τ représente la durée entre M_8 et M_{10} (d'après le doc. $\tau = 40$ ms)

Dans ce type d'exercice il faut faire attention à l'échelle ici 3,5 cm représente 10 cm réels



Graphiquement :

$$M_8M_{10} = \frac{1{,}1 \times 10}{3{,}5} = 3{,}1\,\text{cm}$$

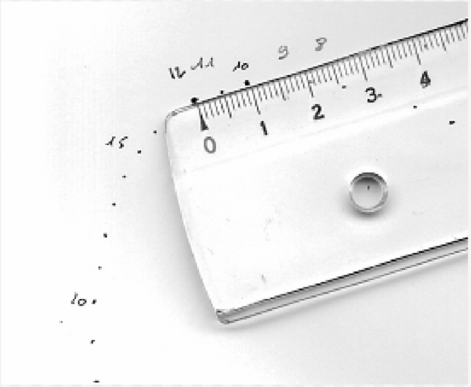
On en déduit alors la valeur de la vitesse instantanée à la date t_9 (en U.S.I)

$$v_9 = \frac{3{,}1 \cdot 10^{-2}}{0{,}080} = 0{,}39 \text{ m/s}$$

Détermination de la valeur de v_{11}

Par définition

$$v_{11} = \frac{M_{10}M_{12}}{2\tau}$$



Graphiquement :

$$M_{10}M_{12} = \frac{0{,}95 \times 10}{3{,}5} = 2{,}7\,\text{cm}$$

D'où la valeur de la vitesse à la date t_{11} (en U.S.I)

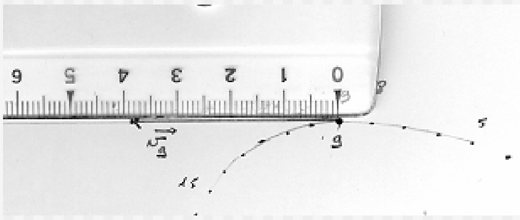
$$v_{11} = \frac{2{,}7 \cdot 10^{-2}}{0{,}080} = 0{,}34 \text{ m/s}$$

2

$2^{ème}$ étape : Tracé des vecteurs vitesses aux dates choisies

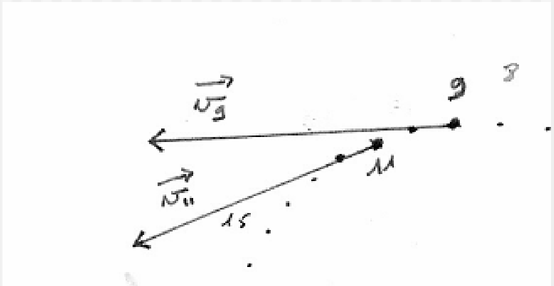
Le vecteur vitesse est :

- appliqué au centre d'inertie du système à la date considérée.
- tangent à la trajectoire.
-dans le sens du mouvement



Pour tracer ce vecteur on choisit une échelle de représentation :
Ici : 1 cm représente 0,1 m/s.

On trace ainsi les vecteurs vitesses $\vec{v}_9$ et $\vec{v}_{11}$



$3^{ème}$ étape : Tracé du vecteur variation de vitesse à la date t_{10}

Par définition : $\Delta\vec{v}_{10} = \vec{v}_{11} - \vec{v}_9$

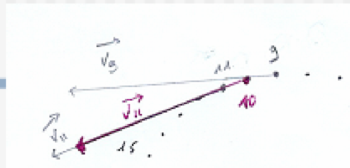


fig1

Cette relation est une relation vectorielle. Il ne faut surtout pas déterminer la valeur de Δv_{10} par soustraction des valeurs de v_{11} et v_9

Il faut d'abord tracer le vecteur $\Delta\vec{v}_{10}$ puis déterminer sa valeur en utilisant l'échelle choisie dans l'étape 2


fig2

- **Méthode :**

- Reporter à la date t_{10} le vecteur $\vec{v}_{11}$ (fig1)

- A l'extrémité de $\vec{v}_{11}$ tracer le vecteur $-\vec{v}_9$ (fig2)

- Tracer alors le vecteur $\Delta\vec{v}_{10}$ (fig3)

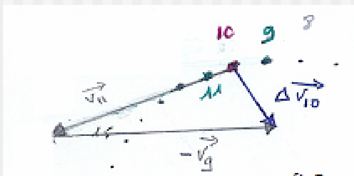


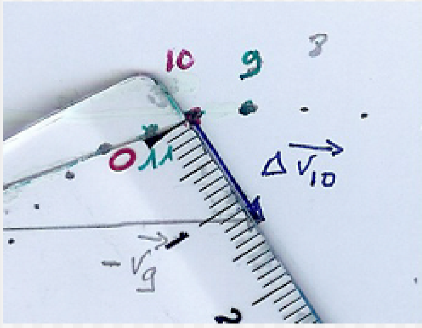
fig3

Exploitation des résultats

Détermination de la valeur de $\Delta\vec{V}_{10}$

Méthode :

On mesure la longueur du vecteur tracé puis à l'aide de l'échelle choisie dans l'étape 2 on détermine la valeur de la variation de vitesse à la date t_{10}



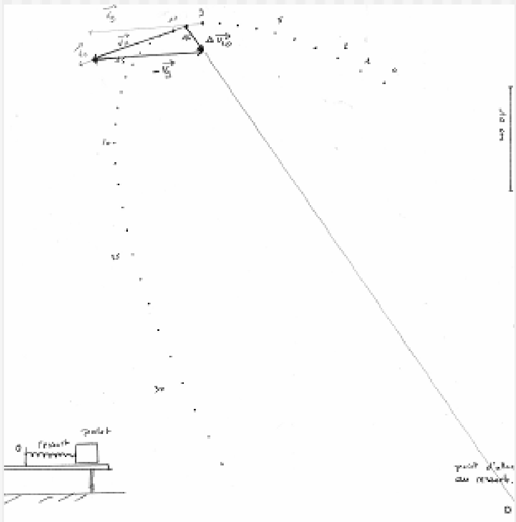
Graphiquement et d'après l'échelle :

1 cm représente 0,1 m/s

$\Delta v_{10} = 0{,}13$ m/s

Détermination de la direction et du sens de $\Delta\vec{V}_{10}$

En traçant proprement le vecteur $\Delta\vec{V}_{10}$ on constate que ce vecteur est sur la droite (OM_{10}) et qu'il est dirigé vers O (le point de fixation du ressort)



Si on trace de la même manière différents vecteurs variations de vitesse à différentes dates, on constate que tous ces vecteurs sont dirigés vers le point O.

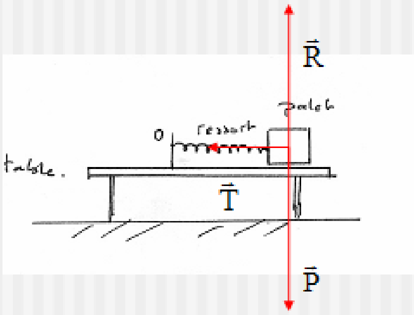
Bilan des forces

Référentiel :

L'étude est réalisée dans le référentiel Terrestre considéré galiléen

Système :

On étudie le système palet



Bilan des forces extérieures exercées sur le système :

$\vec{P}$: Poids du palet

$\vec{R}$: Force exercée par le coussin d'air

$\vec{T}$: Force exercée par le ressort

Le mouvement du palet étant horizontal, les composantes verticales de l'ensemble des forces exercées se compensent. On constate alors que la résultante des forces est égale à $\vec{T}$

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{T}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{T}$$

Conclusion : énoncé de la 2ème loi de Newton (Version 1 ère S)

On constate que :

- Les vecteurs variations de vitesse sont tous dirigés vers O quelle que soit la date considérée.
- La force exercée par le ressort est toujours dirigée vers O. (Point d'attache du ressort)
- La force exercée par le ressort est égale à la résultante des forces exercées sur le palet.

On en conclue que :

$\Delta \vec{v}$ et $\sum \vec{F}_{ext}$ sont colinéaires et de même sens.

Conclusion : **Énoncé de la 2 ème loi de Newton**

Dans un référentiel galiléen, la résultante des forces extérieures, exercées sur un système mécanique, est colinéaire et de même sens que le vecteur variation de vitesse instantanée du centre d'inertie de ce système

3) Troisième loi de Newton

Soient deux points A et B. Si $\{A\}$ exerce une force sur $\{B\}$ $\overrightarrow{F_{A/B}}$, alors $\{B\}$ exerce une force sur $\{A\}$ égale en valeur et opposée en sens telle que $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$.