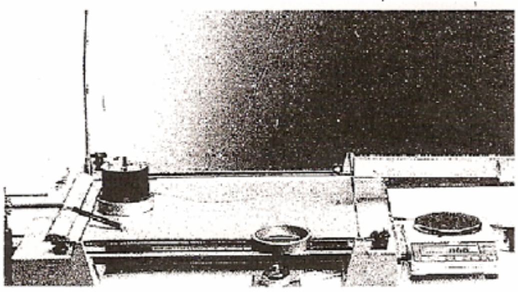
La deuxième loi de Newton

I - Etude expérimentale de la relation entre $\sum \vec{F}_{ext}$ et $\Delta \vec{V}_G$

Le dispositif expérimental étudié ci-dessous est un mobile autoporteur pouvant glisser sans frottement sur une table horizontale. Il est tiré par un fil qui exerce sur lui, grâce à un dispositif approprié une force $\vec{F}$ constante.
On étudie la trace de l'électrode centrale du mobile enregistrée à intervalles de temps égaux. On assimile le mouvement enregistré à celui du centre d'inertie G du palet autoporteur.

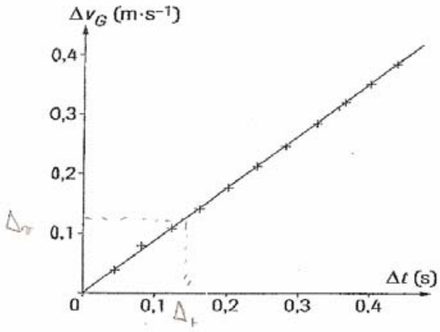


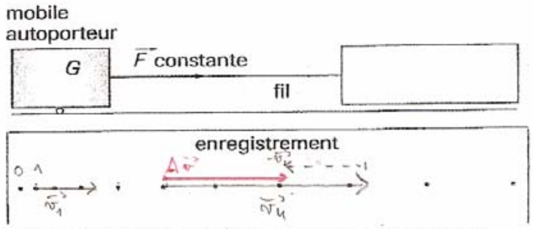
Bilan des forces exercées sur le mobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

- $\vec{P}$: poids du palet.
- $\vec{R}$: force exercée par le coussin d'air.
- $\vec{F}$: force de traction du palet.

1) Expérience 1 : étude de l'influence de la durée d'action de $\vec{F}$

On libère le mobile et on enregistre le mouvement. On construit à différentes dates, le vecteur vitesse $\vec{V_G}$ puis $\Delta \vec{V_G}$ pour différentes durées Δt et on mesure sa valeur. On trace alors le graphique donnant les variations de ΔV_G en fonction de Δt.





Représentation graphique des variations de ΔV_G en fonction de Δt. F reste constante

Grandeurs constantes dans cette expérience :

m : masse du palet

F : valeur de la force de traction.

Valeur de v_1 : $v_1 = \dfrac{M_0M_2}{2\tau} = 8,3 \times 10^{-2}$ m.s⁻¹

valeur de v_4 : $v_4 = \dfrac{M_3M_5}{2\tau} = 19 \times 10^{-2}$ m.s⁻¹

Δt est la durée séparant t_1 et t_4 :

$\Delta t = t_4 - t_1 = 3\tau = 0,12$ s $= 120$ ms.

Graphiquement : $\Delta_v = 0,11$ m.s⁻¹

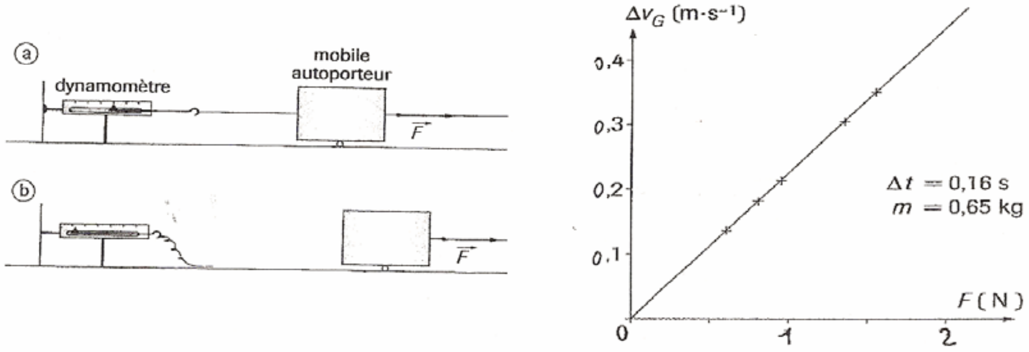
On obtient le graphique et la valeur de $\Delta_{\vec{V}}$ correspondant à la durée Δt y est placée.

C'est une droite croissante passant par l'origine. On conclue donc que la valeur de $\Delta_{\vec{v}_G}$ est proportionnelle à Δ_t : la durée d'action de la force : $\Delta v_G = k \times \Delta t$

2) Expérience 2 : étude de l'influence de la valeur de la force $\vec{F}$

On accroche le mobile autoporteur à un dynamomètre. On agit sur le régulateur de l'aspirateur et on lit la valeur de la force $\vec{F}$ sur le dynamomètre (a). On libère alors le mobile et on réalise l'enregistrement (b).

L'expérience est renouvelée pour différentes valeurs F de $\vec{F}$.
On fixe une valeur Δt (la durée d'action de la force) et on construit pour chaque enregistrement le vecteur $\Delta \vec{v}_G$.
On construit alors le graphique donnant les variations de ΔV_G en fonction de F pour Δt fixé.



m est constante et Δt est constant.
La valeur de $\Delta \vec{v}_G$ est proportionnelle à la valeur de $\vec{F}$.

$\Delta v_G = k' \times F$.

3) Expérience 3 : étude de l'influence de la masse du mobile

Pour cette expérience, on fixe la valeur de la force $\vec{F}$, et la durée d'action Δt de cette force. On modifie la masse du mobile en ajoutant sur le palet des surcharges. Après avoir mesuré la masse M du palet à l'aide d'une balance, on réalise l'enregistrement du mouvement. On renouvelle l'expérience pour différentes valeurs de masse M.
Pour une durée d'action de la force $\Delta t = 0{,}16$ s on détermine la valeur du vecteur variation de vitesse et on consigne les résultats dans le tableau ci-dessous.

masse M (kg)	ΔV_G ($m.s^{-1}$)	$M.\Delta V_G$ ($kg.m.s^{-1}$)
0,65	0,14	$9,1 \times 10^{-2}$
0,85	0,11	$9,3 \times 10^{-2}$
0,99	$9,4 \times 10^{-2}$	$9,3 \times 10^{-2}$

$F = 0,60$ N et $\Delta t = 0,16$ s.

Pour une durée d'action de la force et une valeur de la force constantes, la variation de Δv_G est inversement proportionnelle à la masse M du mobile :

$M \times \Delta v_G$ est constant

4) Conclusion de l'étude expérimentale

$$\Delta v_G = k \times \frac{F \times \Delta t}{M} \Rightarrow F = k' \times M \times \frac{\Delta v_G}{\Delta t}$$

En reprenant l'énoncé de la deuxième loi de Newton de la classe de première, on a : $\vec{F} = k' \times M \times \frac{\Delta \vec{v_G}}{\Delta t}$

Détermination de K' à partir de l'expérience 3 :

$$k' = \frac{F \times \Delta t}{M \times \Delta v_G} \quad \begin{cases} k' = \dfrac{0,60 \times 0,16}{9,1 \times 10^{-2}} = 1,05 \\ \\ k' = \dfrac{0,60 \times 0,16}{9,3 \times 10^{-2}} = 1,03 \end{cases}$$

donc $k' = 1$

D'où $\vec{F} = M \times \frac{\Delta \vec{v_G}}{\Delta t}$: $\vec{F}$ est colinéaire et de même sens que $\Delta \vec{v_G}$.

En généralisant, on a :

$$\sum \vec{F}_{ext} = M \times \frac{\Delta \vec{v_G}}{\Delta t}$$

II - Le vecteur accélération

1) Définition

On vient d'établir que la résultante des forces extérieures exercées sur un système est proportionnelle au vecteur $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$

$\frac{\Delta v_G}{\Delta t}$ est la variation de vitesse par unité de temps.

$\frac{\Delta v_G}{\Delta t}$ est le taux de variation de la vitesse.

Si $\Delta t \to 0$: $\lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_G}{\Delta t} = \frac{d v_G}{dt}$

Donc $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{d \vec{v}_G}{dt}$ si Δt est petit.

On définit le vecteur accélération du centre d'inertie du système tel que :

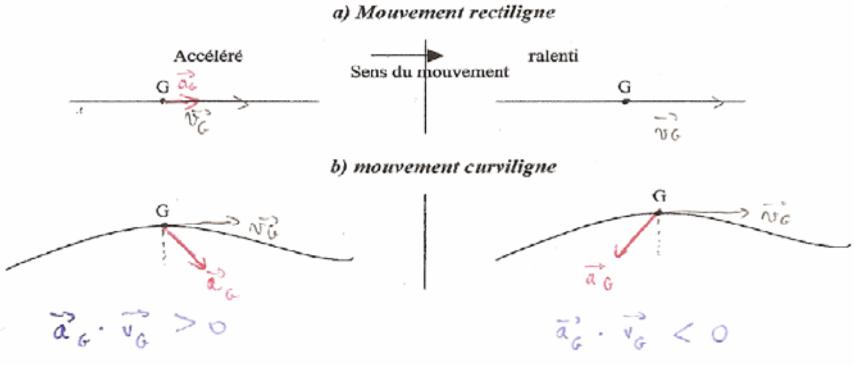
$\vec{a}_G = \frac{d \vec{v}_G}{dt}$ $\left(\text{ou } \vec{a}_G = \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} \text{ si } \Delta t \text{ très petit} \right)$

$[a_G] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{m.s^{-1}}{s} = m.s^{-2}$

L'accélération a_G s'exprime donc en $m.s^{-2}$

2) Vecteur accélération et vecteur vitesse

Le vecteur accélération est toujours dirigé vers l'intérieur de la trajectoire.



III - La deuxième loi de Newton (énoncé définitif)

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures exercées sur un système est éga[le] au produit de la masse du système et du vecteur accélération de son centre d'inertie :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \overrightarrow{a_G}$$