

Les lois de Newton

1. Rappel : la force de pesanteur ou force poids

La force poids G d'un corps est la force qui représente l'attraction que la Terre exerce sur ce corps.

La force G présente les caractéristiques suivantes :

- **Point d'application** = centre de gravité du corps
- **Direction** = la verticale (fil à plomb)
- **Sens** = du centre de gravité au centre de la Terre
- **Intensité ou grandeur** $G = mg$ ou $g = 9,81 \text{ N/kg}$

Le poids d'un corps dépend de sa masse et de la planète où il se trouve.

2. Première loi de Newton : Le principe d'inertie

L'étude de la chute libre nous a montré que tout corps lâché sans vitesse initiale voit sa vitesse augmenter régulièrement au cours du temps. Pourquoi ou à cause de quoi ?

La réponse est simple ; *c'est la force de pesanteur qui est responsable du changement de la vitesse suivant la verticale.*

L'application d'une force sur un corps provoque le changement de sa vitesse mais uniquement de la composante de la vitesse dans la direction de cette force.

Dans l'expérience du tir horizontal, la force dirigée verticalement n'a aucun effet sur la vitesse du mouvement horizontal

D'où la première loi de Newton :

Sans force subie, la vitesse d'un objet ne change pas.

Un autre façon d'énoncer la première loi de Newton est :

Si aucune force n'agit sur un corps :

Si celui-ci était au repos, il reste au repos

Si celui-ci était en mouvement, il prend un mouvement rectiligne uniforme (MRU)

Applications

- Arrêt brusque d'un véhicule
- Démarrage brusque d'un objet
- Jockey sur son cheval qui refuse l'obstacle
- Emmanchement d'un marteau
- Voiture dans un virage
- Objet déposé sur une nappe que l'on tire brusquement
- Lancement du javelot ou du marteau

3. Deuxième loi de Newton ou loi fondamentale de la dynamique

Si la force qui agit sur le corps est constante alors l'accélération qu'elle produit (dans sa direction) est constante.

Quelle relation existe-t-il entre la force F appliquée et l'accélération a qui en résulte ?

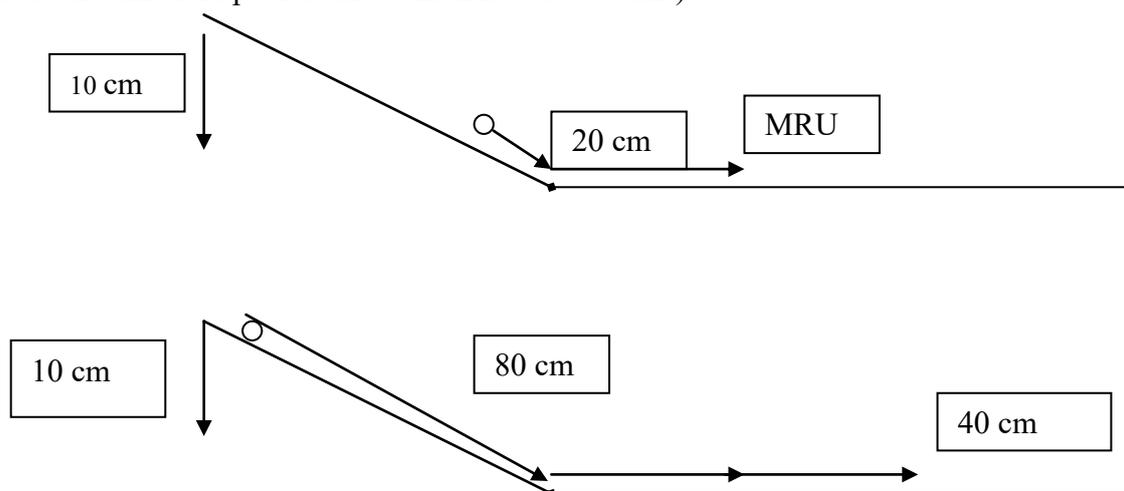
3.1 EXPERIENCES SUR LA LOI DE NEWTON

3.1.1 Influence de la durée Δt d'application de la force F

Mesurer $G_{//1} = G_{//2} = F$

Prendre 2 chariots identiques (masse +/- 50 g), placés sur 2 rails inclinés (10 cm de dénivellation) au bout desquels sont placés 2 rails horizontaux avec deux butoirs à 20 et 40 cm

Les 2 chariots sont placés à des distances différentes (20 cm et 80 cm car en MRUA si $t = 1s$ pour $d = 20$ cm alors pour avoir $t = 2s$ il faut $d = 80$ cm)



👉 Lâcher le chariot 2 et lorsqu'il arrive en 60 , lâcher le chariot 1 pour qu'ils arrivent en bas en même temps.

Les chariots étant lâchés en même temps, ils arrivent à leur butoir en même temps

Dans le C2 possède en bas du rail1 une vitesse double de C1

- *L'augmentation de vitesse ΔV est proportionnelle à la durée Δt d'application de la force*

3.1.2 Influence de la force F appliquée (Mesurer $G_{//2} = 2 G_{//1}$)

Masse du chariot +/- 50 g ($a_1 = 1.1 \text{ m/s}^2$; $a_2 = 2.2 \text{ m/s}^2$; $d_1 = 20 \text{ cm}$; $d_2 = 40 \text{ cm}$, $t_1 = t_2 = 0,6 \text{ s}$)

Les chariots lâchés en même temps arrivent sur leur butoir en même temps
Le C2 à une vitesse double de C1

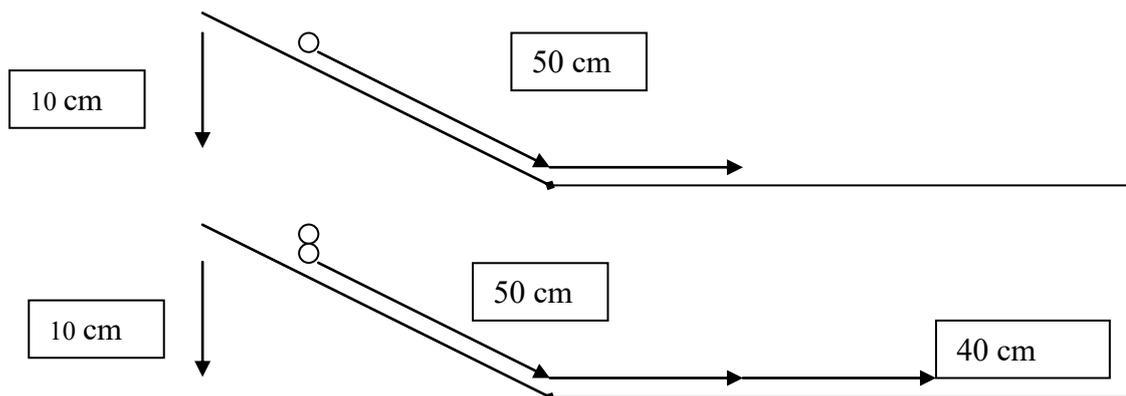
- *L'augmentation de vitesse ΔV est proportionnelle à la force F*

3.1.2 Influence de la masse du chariot

On peut aussi augmenter la force F en augmentant la masse du chariot $m \rightarrow 2m$

Inclinaison identique

$C_1 = m$; $C_2 = 2m$



Le C2 n'a pas une vitesse double de C1 $\rightarrow \text{N}$

On voit vite que la vitesse de C1 et celle de C2 sont les mêmes en bas du rail

***Doubler la force et doubler la masse du chariot ne changent pas la vitesse acquise
Le doublement de la masse du chariot contrebalance l'effet du doublement de la force.***

- *Le doublement de la force double l'augmentation de vitesse*
- *Le doublement de la masse du chariot divise cette augmentation par deux*

La masse est donc la faculté d'un corps de s'opposer à l'augmentation de vitesse

3.3 CONCLUSION

*L'augmentation de vitesse ΔV $\div F ; \Delta t$
inversement $\div m$*

$$\Delta V = F \cdot \Delta t / m$$

$$\Delta V / \Delta t = \text{accélération} = F / m$$

En résumé, *la deuxième loi de Newton*

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

L'application d'une force à un objet provoque le changement de la vitesse dans la direction de la force

Si cette force est constante, l'accélération qu'elle produit est constante, l'augmentation de vitesse est

\div à la force appliquée F

\div à la durée de l'action Δt

inversement \div à la masse m de l'objet.

Unités : F en N / m en kg et a en m/s^2

3.4 SECONDE LOI DE NEWTON : EXERCICES

1. Un corps de 10 kg est en MRUA avec une accélération de $5 m/s^2$. Quelle est la force qui lui est appliquée ? (50N)
2. Une force de 3000N est appliquée à une auto de 1500 kg au repos. Quelle sera son accélération et sa vitesse après 5s d'accélération ? ($2m/s^2$ et 10m/s).
3. Une auto de 1000 kg passe de 10 m/s à une vitesse de 20 m/s en 5s. Quelle est la force qui lui est appliquée ? (2000N).
4. Sur une table parfaitement lisse, un corps de 12 kg, initialement au repos, est entraîné par une force de 20 N. Calculer la vitesse acquise après 2s.
(rép : 3.3m/s)
5. Calculer la force constante qui agit sur une voiture d'une tonne au repos, sachant que celle-ci atteint une vitesse de 100 km/h en 15 s sur une route horizontale. Calculer l'espace parcouru avant d'atteindre cette vitesse.
(rép : 1852 N / 208m)
6. Les freins d'une auto de 1,5 tonne peuvent exercer une force de 4000N. Quel est le temps nécessaire pour ralentir l'auto de 30m/s à 8 m/s ?
Quelle est la distance parcourue pendant ce temps ?
(rép : 8.2s / +- 156 m)
7. Une masse de 10 kg est posée sur une table horizontale. Quelle force constante faut-il lui appliquer pour que la vitesse acquise après 2s soit de 4m/s ? On sait qu'elle part du repos et que les forces de frottement sont évaluées à 4 N dans la direction du mouvement. (rép : 24N)

4. Applications de la deuxième loi de Newton

4.1 Vecteur vitesse

- **La chute verticale d'un corps**

Il subit une force verticale, la pesanteur. C'est parce que cette force est constante durant la chute que l'accélération est constante.

Que se passerait-il au milieu de la chute si la force poids cessait d'agir ?

En fait, si plus aucune force n'était exercée sur le corps, celui-ci continuerait à tomber à la même vitesse. (la vitesse acquise est conservée). En réalité, la force de pesanteur agit continuellement et donc la vitesse continue d'augmenter.

- **Le tir horizontal**

En quittant la table, la bille tombe suivant une parabole.

Si aucune force n'était exercée, elle continuerait en ligne droite, à la même vitesse (principe d'inertie).

La force de pesanteur agit verticalement. La vitesse « *verticale* » de la bille augmente régulièrement au cours du temps (2^{ème} loi de Newton).

Le mouvement continue horizontalement à la même vitesse appelée vitesse « *horizontale* » car dans cette direction aucune force n'agit.(1^{ère} loi de Newton)

La vitesse réelle du mobile a donc deux composantes, l'une horizontale l'autre verticale. Pour cette raison, la vitesse est une grandeur vectorielle

4.2 Poids et masse

La chute de deux billes de masses différentes montre qu'elles tombent en même temps.

Leurs accélérations sont identiques

Rappel → La force sur le 2nd est plus grande mais sa masse est aussi plus importante

La deuxième loi s'écrit ici :

$$F = m \cdot a$$

→ la force F est la force pesanteur G

→ l'accélération a est notée $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

→ **$G = m \cdot g$**

→ G en N ; m en kg

4.3 Résistance de l'air et résultante de forces

- Chute d'objet divers

❖ Prenons **deux feuilles de papier identiques** → une avec bords retournés, l'autre en boule.

Les deux objets dans l'air ne tombent pas de la même manière. Or leur masse et leur poids sont identiques. Quel est le facteur qui fait que l'une va plus vite que l'autre ?

La réponse est l'air ! L'air résiste, on parle *de la résistance de l'air*.

Rappelons-nous l'expérience du tube de Newton qui montre parfaitement l'influence de l'air sur le mouvement des corps en chute.

La force de freinage ou résistance de l'air sur les corps dépend

- de la surface de pénétration de l'objet
- de la vitesse de l'objet

Les forces de freinage sont toujours opposées au sens du mouvement.

Lorsque 2 forces agissent simultanément suivant la même direction, comment doit-on appliquer la 2^{ème} loi de Newton ?

Nous avons une force (le poids) qui tend à augmenter la vitesse et une autre (la résistance) qui tend à la diminuer. Laquelle des deux va l'emporter ? → la plus forte ou la plus grande !

Pour appliquer la 2^{ème} loi de Newton, on fera :

- la différence des deux forces si elles agissent en sens opposés
- la somme si elles agissent dans le même sens
- bref, la ***résultante de ces deux forces***

❖ Prenons **deux boules de même volume mais de masses différentes** (bille en verre et balle de ping-pong)

Laquelle va prendre, lors de sa chute dans l'air, l'avance sur l'autre ? → la plus lourde !

La 2^{ème} loi → $a = (\text{poids} - \text{résistance}) / \text{masse}$

$$a = (mg - R) / m$$

$$a = g - R/m$$

Les boules subissant des résistances R identiques (car même forme), la plus massive possède une accélération plus grande, elle prend donc de l'avance.

5. Troisième loi de Newton : actions réciproques

Première expérience : Envisageons la situation suivante: un élève au repos est en équilibre sur un skateboard (planche à roulettes). Il s'élance vers l'avant, le skateboard est propulsé vers l'arrière (figure 2.22). Puisqu'il est mis en mouvement et qu'il a donc accéléré, l'élève a dû subir une force. Cette force $\vec{F}_{1,2}$ est celle exercée sur l'élève par le skateboard. Initialement au repos, celui-ci est mis en mouvement par une force $\vec{F}_{2,1}$ exercée sur lui par l'élève.

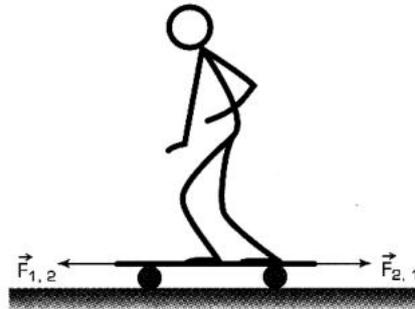
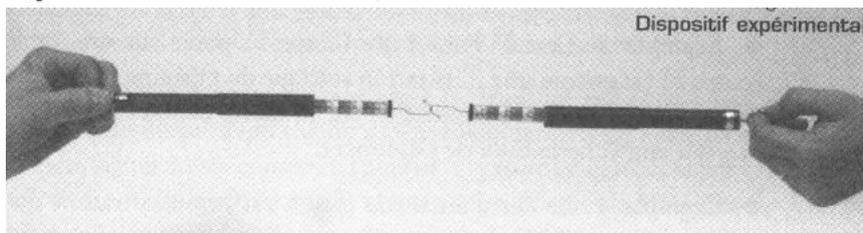


Figure 2.22
Élève s'élançant sur son skateboard

Deuxième expérience : Considérons deux élèves qui se font face, munis chacun d'un dynamomètre. Ils se tiennent par les extrémités des crochets des dynamomètres et tirent leur dynamomètre vers eux (figure 2.23). Ils s'immobilisent alors dans cette position où les dynamomètres sont étirés et nous procédons à une lecture des valeurs qui y sont indiquées. Ces valeurs sont rigoureusement identiques.

L'analyse de cette deuxième expérience montre que l'intensité de l'action $\vec{F}_{1,2}$ exercée par l'élève 1 sur l'élève 2 est égale à l'intensité de la réaction $\vec{F}_{2,1}$ exercée par l'élève 2 sur l'élève 1.



5.1 ENONCE DU PRINCIPE DES ACTIONS RECIPROQUES

Si un corps 1 exerce une force sur un corps 2 notée $F_{1,2}$ alors le corps 2 exerce une force sur le corps 1 notée $F_{2,1}$ d'égale valeur, de même direction mais de sens opposé.

Les points d'application des 2 forces sont toujours différents.

$F_{1,2}$ a son point d'application sur 2 et $F_{2,1}$ a son point d'application sur 1.

5.2 APPLICATIONS

◆ **Exemple 1 :** Le cas d'un lustre (corps 1) suspendu au plafond (corps 2) d'un living est une illustration statique du principe (figure 2.24). Le lustre exerce une action de traction $\vec{F}_{1,2}$ sur son point d'attache, le crochet de suspension transmet la réaction $\vec{F}_{2,1}$ qui empêche le lustre de tomber.

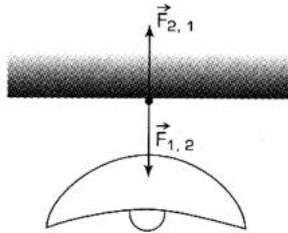


Figure 2.24
Lustre suspendu au plafond

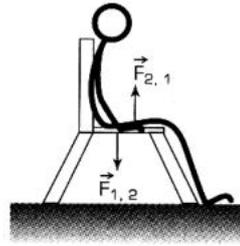


Figure 2.25
Personne assise sur une chaise

◆ **Exemple 2 :** Le cas d'une personne (corps 1) assise sur une chaise (corps 2) est aussi une illustration statique du principe (figure 2.25). La personne exerce une action de poussée ($\vec{F}_{1,2}$) sur sa chaise. La réaction $\vec{F}_{2,1}$ de la chaise empêche la personne de passer à travers elle.

◆ **Exemple 3 :** Le cas d'une bille (corps 1) posée sur une table de billard (corps 2) est encore une illustration statique du principe (figure 2.26). La bille exerce une action de poussée $\vec{F}_{1,2}$ sur la table, celle-ci produit une réaction $\vec{F}_{2,1}$ qui empêche la bille de s'enfoncer.

◆ **Exemple 4 :** Le cas d'un tir de canon est une illustration dynamique du principe (figure 2.27). Le canon (corps 1) par l'intermédiaire des gaz brûlés exerce une action de poussée $\vec{F}_{1,2}$ qui propulse l'obus (corps 2). La réaction $\vec{F}_{2,1}$ se manifeste par le recul du canon. Elle traduit la poussée de l'obus sur les gaz et le fond du canon.

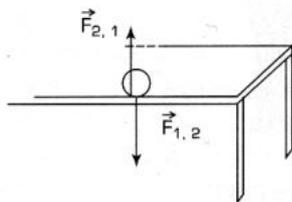


Figure 2.26
Bille sur une table de billard

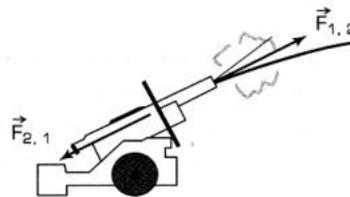


Figure 2.27
Tir et recul d'un canon

◆ **Exemple 5 :** Le cas d'un gymnaste (corps 1) sautant sur un tremplin (corps 2) est aussi une illustration dynamique du principe (figure 2.28). Le gymnaste exerce, par l'intermédiaire de ses pieds, une action de poussée $\vec{F}_{1,2}$ sur la toile tendue. Simultanément, le tremplin réagit en restituant l'impulsion sous la forme d'une réaction $\vec{F}_{2,1}$ exercée vers le haut sur le corps du gymnaste.

◆ **Exemple 6 :** Le cas d'une fusée qui décolle est une autre illustration dynamique du principe (figure 2.29). La fusée (corps 1) exerce une action $\vec{F}_{1,2}$ qui expulse les gaz (corps 2) vers le bas. Les gaz exercent une réaction $\vec{F}_{2,1}$ vers le haut permettant à la fusée de s'élever.

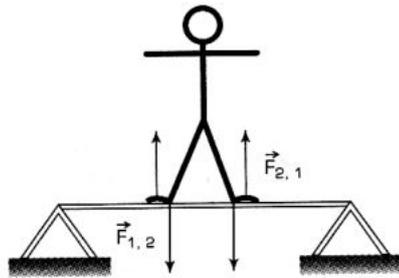


Figure 2.28
Gymnaste sautant sur un tremplin

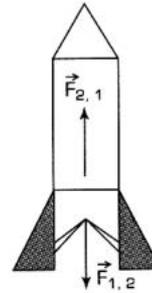


Figure 2.29
Décollage d'une fusée

Le principe de l'action et de la réaction est-il toujours applicable lorsque la fusée a décollé ? Si non, pourquoi ? Si oui, sur quels corps appliquer l'action et la réaction ?

◆ **Exemple 8 :** L'interaction gravifique entre la Terre (corps 1) et la Lune (corps 2) fournit une illustration de forces s'exerçant à distance (figure 2.31). Newton a établi que les intensités des forces exercées par chaque corps sur l'autre sont égales. Aucune de ces deux forces n'étant antérieure à l'autre, il n'est pas possible dans ce cas de distinguer l'action de la réaction.

◆ **Exemple 9 :** L'interaction magnétique de deux aimants voisins disposés de telle sorte que le pôle Nord du premier (corps 1) soit voisin du pôle Sud du second (corps 2) fournit un autre exemple de forces s'exerçant à distance. Nous pouvons réaliser facilement cette expérience en déposant chaque aimant sur 2 craies (figure 2.32). Pour une distance suffisamment faible, les deux aimants se déplacent l'un vers l'autre. L'attraction est immédiate, l'action et la réaction sont simultanées et indiscernables.

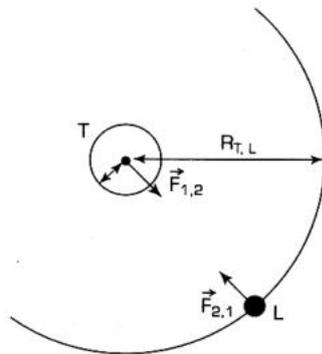


Figure 2.31
Interaction gravifique Terre-Lune

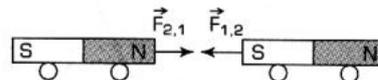


Figure 2.32
Interaction magnétique
de 2 aimants