

# Chapitre 2.1 – Les lois du mouvement de Newton

## De Aristote à René Descartes

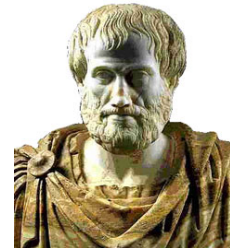
L'explication de la nature du mouvement fut élaborée sur plusieurs siècles. Au 4<sup>e</sup> siècle avant notre ère, **Aristote**<sup>1</sup> élaborera les hypothèses suivantes :

➤ Le **mouvement vertical** d'un objet que l'on lâche s'explique par la tendance naturelle des objets à « retourner vers le centre de l'Univers » situé au centre de la Terre pour l'époque.

Exemple : une pomme tombe vers le sol.

➤ Le **mouvement horizontal** ne peut se produire qu'en présence d'une influence extérieure. Il faut absolument une « poussée » pour qu'un objet puisse se déplacer horizontalement.

Exemple : Il faut un bœuf pour faire avancer une charrette.



Aristote  
(384-322 av. J.C.)

Vers 1650, **René Descartes**<sup>2</sup> formula une explication beaucoup plus simple à la nature du mouvement en introduisant le concept d'inertie :

➤ Sans influence extérieure, le mouvement d'un objet a tout simplement tendance à demeurer inchangé.

➤ Lorsqu'un objet est au repos, il a tendance à demeurer au repos.

➤ L'inertie est une grandeur augmentant la difficulté à modifier l'état de mouvement d'un objet.



René Descartes  
(1596-1650)

## Sir Isaac Newton

En 1687, Sir Isaac Newton<sup>3</sup> publie les *Philosophiæ naturalis principia mathematica* et marque un grand changement dans l'écriture de la physique. Il introduit le calcul différentiel dans l'explication de la nature du mouvement. Il introduit le concept de **force** qu'il relie grâce à **l'inertie** au concept d'**accélération**. C'est également dans cet œuvre qu'il énonce la théorie de l'attraction universelle qui porte le nom maintenant de la **théorie de la gravitation**.



Isaac Newton  
(1643-1727)

<sup>1</sup> Aristote, un philosophe grec, fut l'élève de Platon et s'intéressa aux sciences physiques, biologiques, astronomiques et plusieurs autres.

<sup>2</sup> René Descartes, mathématicien, physicien et philosophe français, fut le fondateur des principes cartésiens.

<sup>3</sup> Sir Isaac Newton, mathématicien, physicien, astronome et philosophe anglais, fut le fondateur de la mécanique Newtonienne.

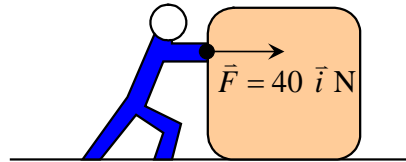
## La force

La **force** représente toute forme d'influence qui agit sur un objet (masse) et qui a **pour effet** de **modifier** son **mouvement naturel** (repos ou vitesse constante). On utilise dans le système SI le newton pour mesurer la force qui est représentée mathématiquement à l'aide d'un **vecteur**.

Exemple : Albert pousse une boîte

Notation mathématique :  $force = \vec{F}$

Unité SI (newton) :  $[\vec{F}] = \text{N}$



## L'inertie

**L'inertie** est la propriété augmentant la difficulté à modifier le mouvement naturel d'un objet. La **masse** est la **quantité physique** définissant l'**inertie** dans un **mouvement rectiligne**. Pour des raisons historiques, c'est le kilogramme qui est utilisé pour mesurer la masse et non le gramme.

Notation mathématique :  $masse = m$

Unité SI (kilogramme) :  $[m] = \text{kg}$



Plume : petite inertie



Camion : grande inertie

## La 1<sup>re</sup> de Newton

La première loi de Newton s'énonce de la façon suivante :

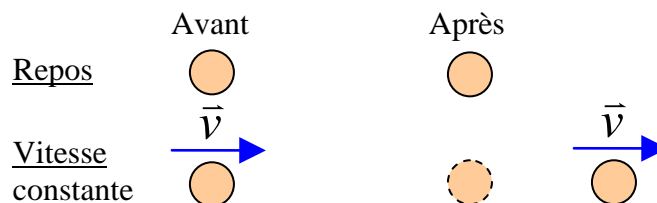
*En l'absence d'influence extérieure, un objet au repos demeure au repos et un objet déjà en mouvement se déplace en ligne droite à vitesse constante.*

Mathématiquement, la 1<sup>re</sup> loi de Newton s'énonce de la façon suivante :

$$\sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} \text{ est constante}$$

où  $\sum \vec{F}$  : Somme de toutes les forces appliquées sur l'objet (force résultante) (N)

$\vec{v}$  : Vecteur vitesse de l'objet (m/s)



## La 2<sup>e</sup> loi de Newton

La deuxième loi de Newton s'énonce de la façon suivante :

*Un objet accélère dans la direction de la force qu'il subit, proportionnellement à la force qu'il subit et en proportion inverse de sa masse.*

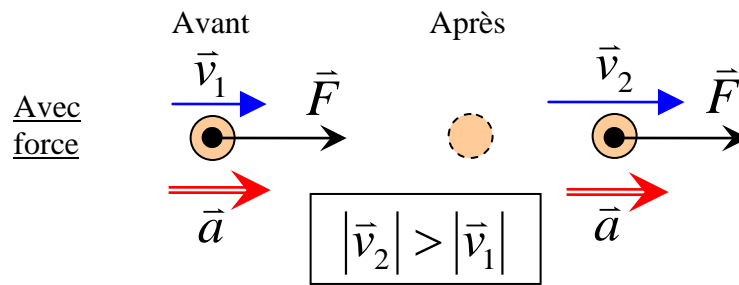
Mathématiquement, nous pouvons résumer la 2<sup>e</sup> loi de Newton de la façon suivante :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

où  $\sum \vec{F}$  : Somme de toutes les forces appliquées sur l'objet (force résultante) (N ou kg m/s<sup>2</sup>)

$m$  : Masse de l'objet qui subit la force (kg)

$\vec{a}$  : Accélération de l'objet qui subit la force (m/s<sup>2</sup>)

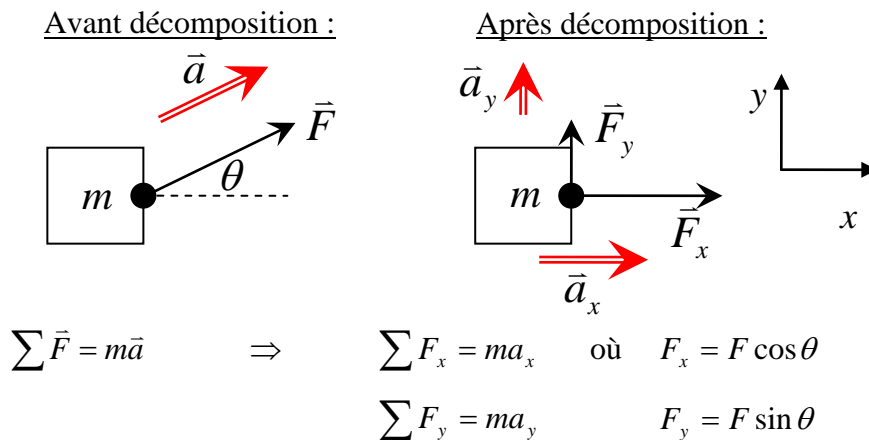


À partir de la 2<sup>ième</sup> loi de Newton, on réalise que l'on peut définir le Newton à partir du kilogramme, du mètre et de la seconde :

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \text{N} = (\text{kg}) \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\text{N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}$$

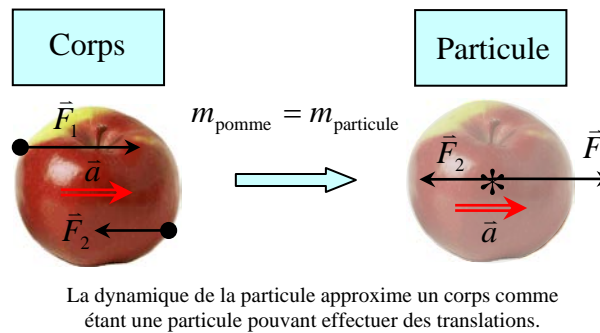
## Décomposition des forces

Pour solutionner des problèmes à l'aide de la 2<sup>e</sup> loi de Newton, on doit décomposer l'équation  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$  qui est vectorielle dans un système d'axe  $xy$ . Voici un exemple de décomposition admissible : (angle exprimé par rapport à l'horizontale)



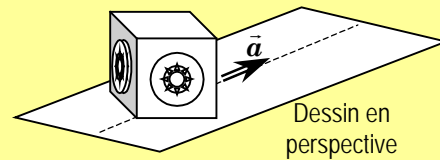
# La dynamique de la particule

En dynamique de la particule, on réduit tout corps à une seule particule ayant la masse totale du corps. Ceci permet d'évaluer l'état de **translation du corps** en évaluant par la **2<sup>e</sup> loi de Newton** l'accélération de la particule en supposant que toutes les forces appliquées sur le corps sont appliquées sur la particule.



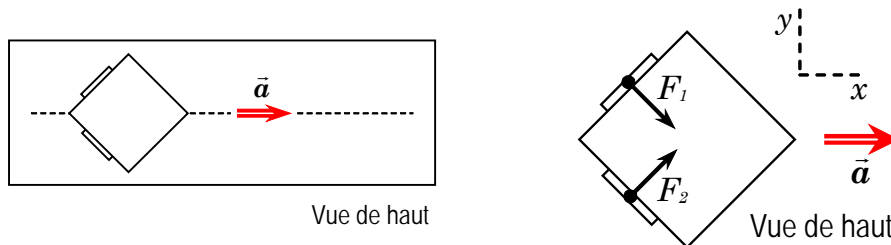
La dynamique de la particule ne permet pas d'évaluer la rotation ni la vibration du corps.

**Situation 1 : La propulsion par ventilateurs.** Un bloc cubique est posé sur une table à air horizontale (frottement négligeable). Sur deux faces verticales adjacentes se trouvent des ventilateurs identiques. Lorsque les deux ventilateurs identiques fonctionnent, on observe que le bloc accélère à  $0,3 \text{ m/s}^2$  selon une orientation définie par la diagonale qui passe entre les deux faces où se trouvent les ventilateurs.

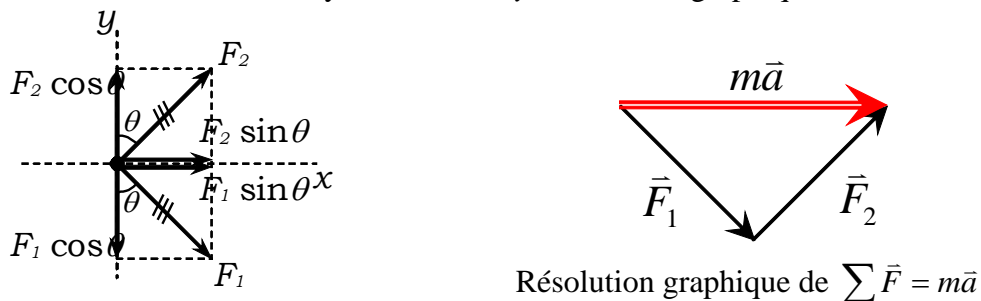


La masse du bloc (avec les ventilateurs) est égale à  $2 \text{ kg}$ . On désire déterminer le module de la force exercée par chaque ventilateur.

Effectuons un diagramme des forces vue de haut : ( $\theta = 45^\circ$  et  $F_1 = F_2 = F$ )



Décomposons nos forces dans le système d'axe  $xy$  et évaluons graphiquement la 2<sup>e</sup> loi de Newton :

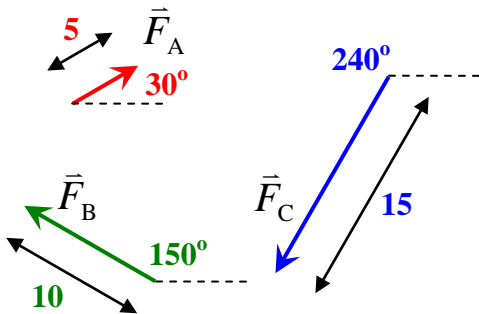


Évaluons la force  $F$  des deux ventilateurs à l'aide des forces selon l'axe  $x$  :

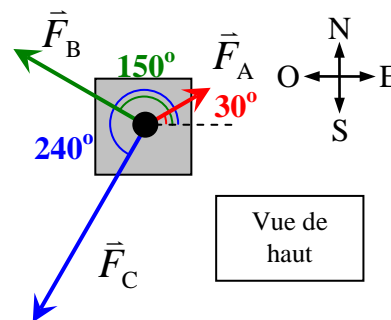
$$\begin{aligned} \sum F_x = ma_x &\Rightarrow F_1 \sin(\theta) + F_2 \sin(\theta) = ma_x && \text{(Remplacer } \sum F_x \text{)} \\ &\Rightarrow 2F \sin(\theta) = ma_x && (F_1 = F_2 = F) \\ &\Rightarrow F = \frac{ma_x}{2 \sin(\theta)} && \text{(Isoler } F \text{)} \\ &\Rightarrow F = \frac{(2)(0,3)}{2 \sin(45^\circ)} && \text{(Remplacer valeurs num.)} \\ &\Rightarrow \boxed{F = 0,424 \text{ N}} && \text{(Évaluer } F \text{)} \end{aligned}$$

**Situation A : Une caisse poussée de tous les côtés.** Une caisse de 10 kg est immobile sur une surface plane. **Albert**, **Béatrice** et **Clovis** pousse sur la caisse simultanément avec des forces différentes en module et en orientation. **Albert** pousse avec une force de **5 N** orienté à **30°** par rapport à l'est, **Béatrice** pousse avec une force de **10 N** orienté à **150°** par rapport à l'est et **Clovis** pousse avec une force de **15 N** orienté à **240°** par rapport à l'est. On désire (a) dessiner qualitativement les trois vecteurs forces, (b) additionner graphiquement les trois vecteurs et évaluer graphiquement la 2<sup>ième</sup> loi de Newton et (c) évaluer le module de l'accélération de la caisse.

(a) Voici les trois vecteurs dessinés :

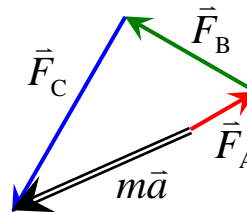


Forces appliquées sur la caisse :



(b) Voici l'addition graphique de la 2<sup>ième</sup> loi de Newton : ( $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ )

$$\vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = m\vec{a}$$



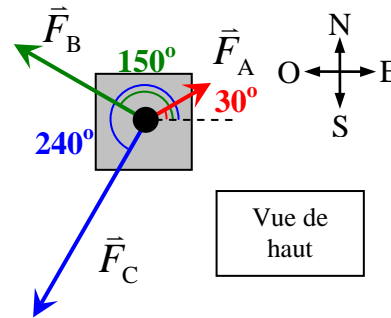
(c) Calculons la force décomposée en  $x$  et en  $y$  :

En  $x$  :

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_A \cos(30^\circ) + F_B \cos(150^\circ) + F_C \cos(240^\circ) \\ &= (5)(0,866) + (10)(-0,866) + (15)(-0,5) \\ &= -11,83 \text{ N}\end{aligned}$$

En  $y$  :

$$\begin{aligned}\sum F_y &= F_A \sin(30^\circ) + F_B \sin(150^\circ) + F_C \sin(240^\circ) \\ &= (5)(0,5) + (10)(0,5) + (15)(-0,866) \\ &= -5,49 \text{ N}\end{aligned}$$



Nous pouvons calculer le module de la force :

$$F_{\text{tot}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(-11,83)^2 + (-5,49)^2} \Rightarrow \boxed{F_{\text{tot}} = 13,04 \text{ N}}$$

Évaluons le module de l'accélération avec la 2<sup>ième</sup> loi de Newton : ( $F = ma$ , version scalaire)

$$F = ma \quad \Rightarrow \quad a = \frac{F}{m} = \frac{(13,04)}{(10)} \quad \Rightarrow \quad \boxed{a = 1,30 \text{ m/s}^2}$$

## Technique pour résoudre des problèmes à l'aide du concept de force

Voici un algorithme de résolution de problème utilisant la 2<sup>ième</sup> loi de Newton :

- 1) Identifier toutes les masses.
- 2) Identifier toutes les forces appliquées sur chaque masse.
- 3) Faire un diagramme des forces pour chaque masse avec un système d'axe  $xy$ .
- 4) Écrire la 2<sup>ième</sup> loi de Newton pour chaque masse ( $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ )
- 5) Décomposer l'équation  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$  dans le système d'axe  $xy$ .
- 6) Résoudre le système d'équation.
- 7) Répondre à la question.



