Mécanique du point

CHAPITRE 2

Dynamique du point dans un référentiel Galiléen

Dr N'CHO Janvier Sylvestre

Introduction

Après avoir étudié la cinématique qui s'intéresse à la description du mouvement d'un corps physique indépendamment de ses causes, nous allons étudier la dynamique, le pilier de la mécanique.

Dynamique = pouvoir, puissance, force. La dynamique a pour objet l'étude des **causes de la modification du mouvement** pour résumer, on peut noter :

$$\boxed{\text{Mécanique} = \text{Cinématique} + \text{Dynamique}}$$

Définitions

Point Matériel

Un système matériel est un ensemble de points matériels. On a :

- **Le système matériel indéformable** : tous les points matériels constituant le système restent fixes les uns par rapport aux autres.
- **Le système matériel déformable** : le système matériel peut subir des actions de ou pas de la part de l'extérieur. On a :

1. **le système matériel isolé** (ou fermé) : il n'existe aucune action de l'extérieur et s'exerçant sur le système.
2. **le système matériel pseudo-isolé** : les actions extérieures agissant sur le système se compensent (tout se passe comme s'il était isolé.

Centre d'inertie (1)

Le centre d'inertie d'un système matériel ou centre de gravitation correspond au barycentre des positions des points matériels affectées de leur masse. Il est noté I (comme inertie) ou plus souvent G (comme gravitation). Pour un système matériel comportant n points matériels noté $M_1, M_2, \ldots \ldots M_i, \ldots \ldots, M_n$ de masses respectives $m_1, m_2, \ldots \ldots m_i, \ldots \ldots, m_n$

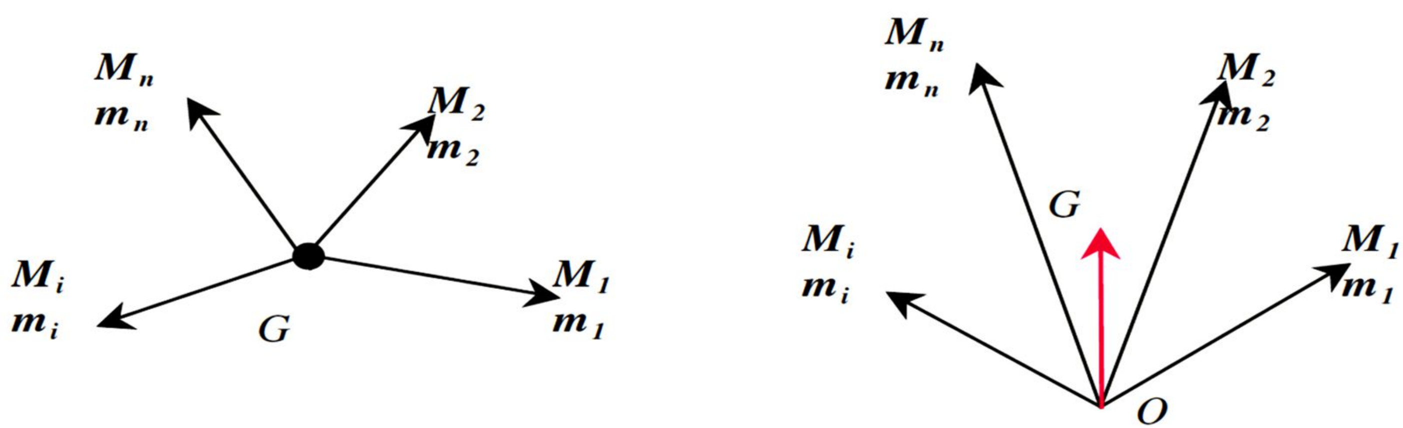


Figure 2.1 Centre d'inertie et barycentre.

Centre d'inertie (2)

Le barycentre est obtenu par la relation

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{GM_i} = \vec{0}$$

Ce point G peut être repéré par rapport à une origine O

$$\boxed{\begin{cases} \boldsymbol{m\,\overrightarrow{OG} = \sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{OM_i}} \\ \textbf{avec} \\ \boldsymbol{m = \sum_{i=1}^{n} m_i} \end{cases}}$$

m est la masse totale du système

Vecteur quantité de mouvement (1)

Le vecteur quantité de mouvement (noté $\vec{p}$) d'u point matériel de masse m se déplaçant avec une vitesse $\vec{v}$ dans un référentiel donné est défini par : $\boxed{\boldsymbol{\vec{p} = m\vec{v}}}$

✓ $\vec{p}$ s'exprime en $kg.m.s^{-1}$

✓ Pour n masses m_i situées aux points M_i et se déplaçant à la vitesse $\vec{v}_i$ on a :

$$\boxed{\boldsymbol{\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} m_i\vec{v}_i = \sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i}}$$

Vecteur quantité de mouvement (2)

Cette relation peut s'écrire en considérant que les masses sont des constantes

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} m_i \frac{d\overrightarrow{OM_i}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{OM_i}\right) = \frac{d}{dt}\left(m\,\overrightarrow{OG}\right)$$

$$= m\frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = m\vec{V}_G$$

Le vecteur quantité de mouvement d'un système matériel est égal au vecteur quantité de mouvement d'un point matériel fictif confondu avec le centre d'inertie du système où serait concentrée la masse totale du système.

Le concept de force : origine de la modification du mouvement

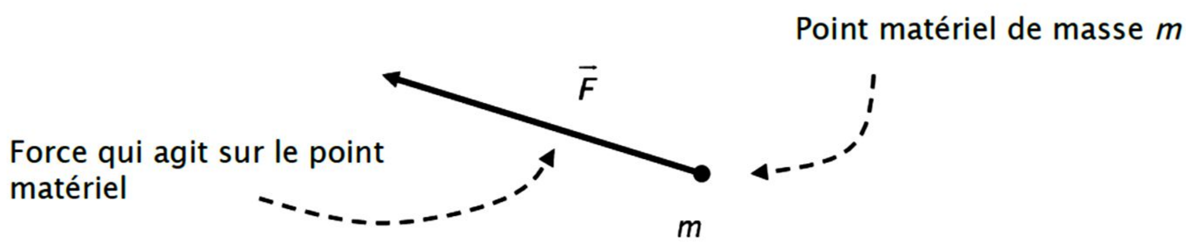
Les idées clés sur le concept de force (1)

• Une force est **une poussée** ou **une traction**, une force exerce une action.

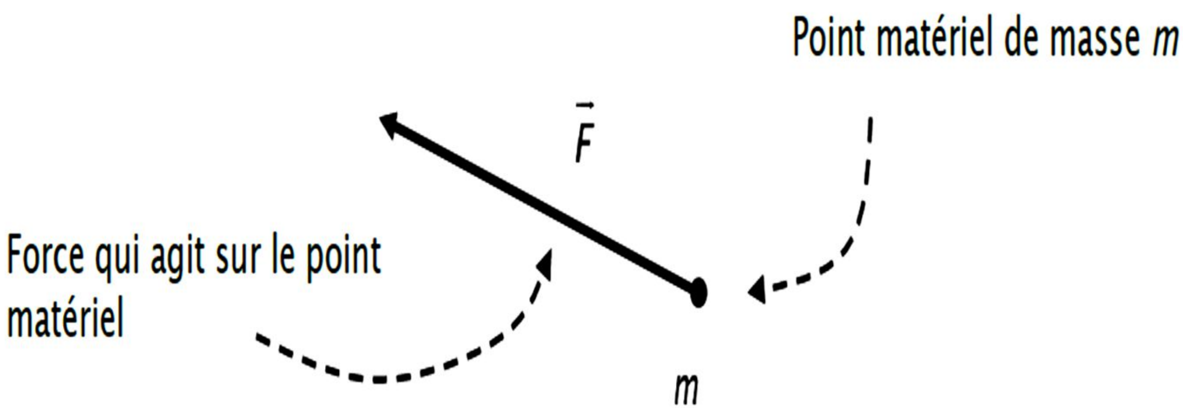
• Une force **agit sur un objet**.

• Une force **nécessite un agent** (quelque chose doit exercer la poussée ou la traction).

• Une force est un **vecteur** (notation usuelle $\vec{F}$). Une force a une direction, un sens, une norme (ou intensité qui s'exprime en Newton, $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg.m.s^{-2}}$



Les idées clés sur le concept de force (2)



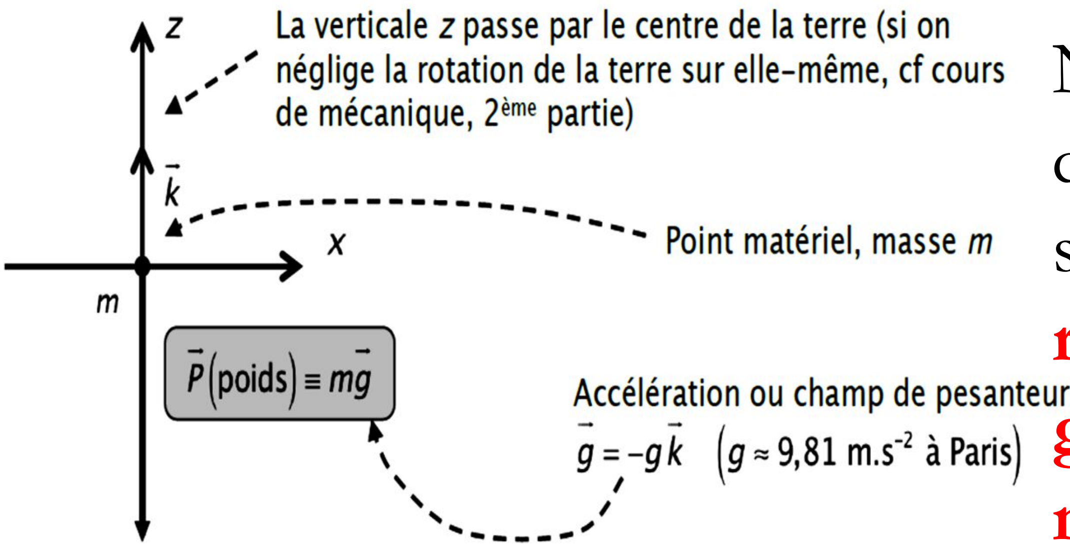
• Une force peut être de **contact** (si l'agent touche physiquement l'objet). Ex : Force de frottement, force de rappel élastique d'un ressort …

• Une force peut être exercée à **distance** (pas de contact physiquement entre l'agent et l'objet).

Ex : Force de gravité, force magnétique, force électrique …

Exemples de forces usuelles en mécanique

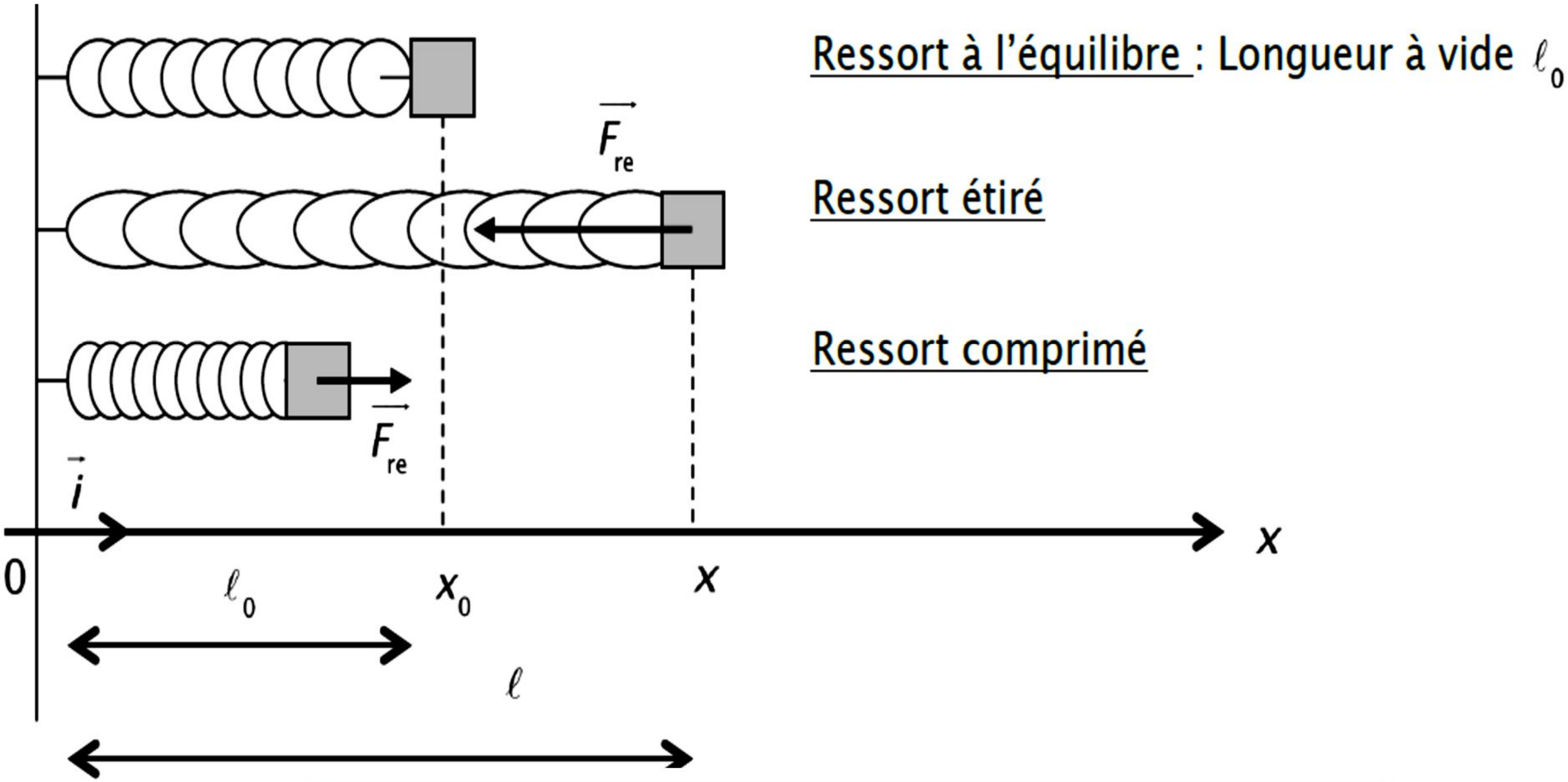
Le poids



Nous verrons (mais vous le savez déjà) que le poids P (qui s'exprime en newton) est le **résultat de l'interaction gravitationnelle entre le point matériel de masse *m* et la terre**.

Il ne faut pas confondre le « poids » qui est une force qui dépend de la nature de l'astre en jeu et la « masse » qui est une grandeur scalaire invariante propre à chaque corps physique. A la surface de la Lune, votre masse a toujours la même valeur que celle à la surface de la Terre mais pas votre poids. Le langage courant fait souvent la confusion entre ces deux concepts.

Force de rappel élastique d'un ressort, loi de HOOKE (1)



Loi de Hooke: $\vec{F}_{re} = -k(\ell - \ell_0)\vec{i} = -k(x - x_0)\vec{i}$

Force de rappel élastique d'un ressort, loi de HOOKE (2)

k est la constante de raideur du ressort (en $N.m^{-1}$). ℓ_0 est la longueur à vide du ressort (qui correspond ici à la position d'équilibre de la masse, ce n'est plus le cas pour un ressort verticale).

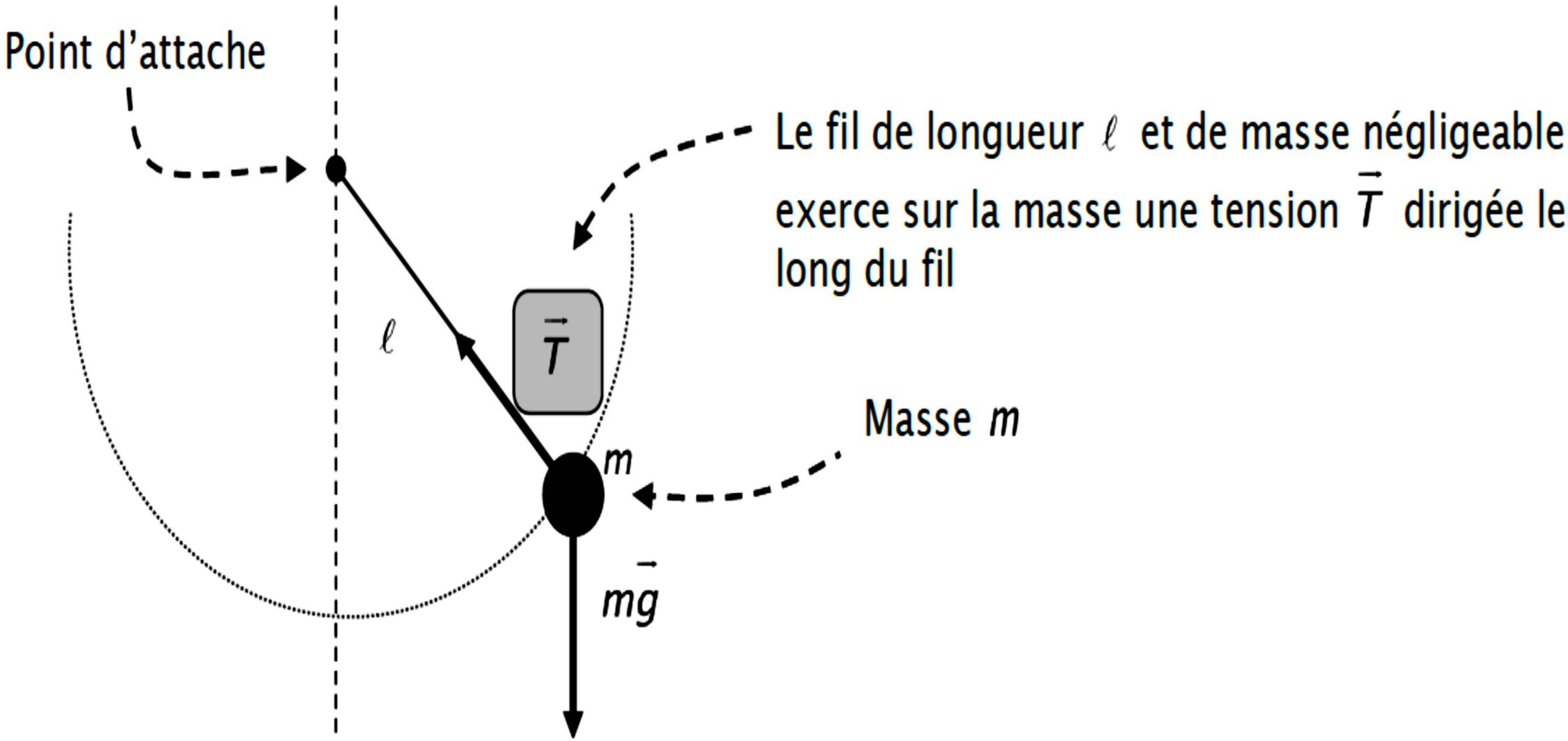
ℓ est la longueur du ressort à un instant quelconque. Lorsque $x - x_0 > 0$, le ressort est étiré et $\overrightarrow{F_{re}}$ est dirigée suivant $-\vec{\imath}$, le ressort a tendance à ramener la masse vers la position d'équilibre d'abscisse x_0 . Lorsque $x - x_0 < 0$, le ressort est comprimé et $\overrightarrow{F_{re}}$ est dirigée suivant $\vec{\imath}$, le ressort a tendance à ramener la masse vers la position d'équilibre d'abscisse.

Force de rappel élastique d'un ressort, loi de HOOKE (3)

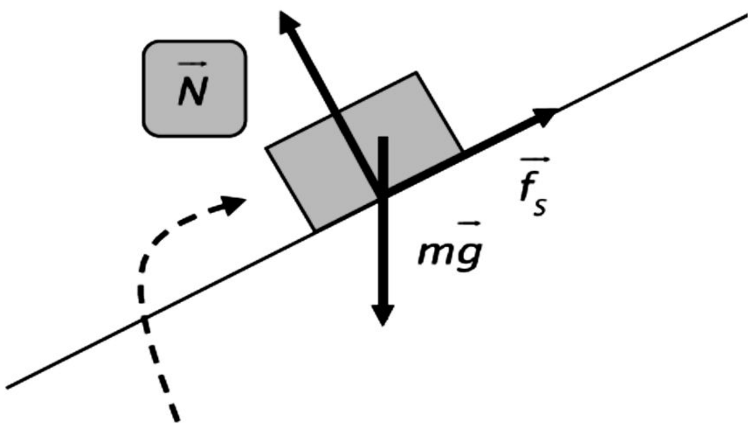
$\overrightarrow{F_{re}}$ a pour effet de **toujours ramener la masse vers la position d'équilibre**. La loi de Hooke n'est pas une « vraie loi de la nature », il s'agit d'une loi phénoménologique. Elle marche bien tant que $|x - x_0|$n'est pas trop important. **Elle peut s'expliquer à un niveau plus profond d'analyse comme résultant de l'interaction électrostatique entre les atomes constituant le ressort.**

La loi de Hooke est à bien maîtriser, elle intervient souvent dans les problèmes.

Tension d'un fil (exemple du pendule simple sans frottements) (1)



La force (ou réaction) normale



Masse m en équilibre sur un support incliné

La force exercée par un support sur un objet qui exerce lui-même « une pression » sur ce support est toujours perpendiculaire, **normale**, à ce support.

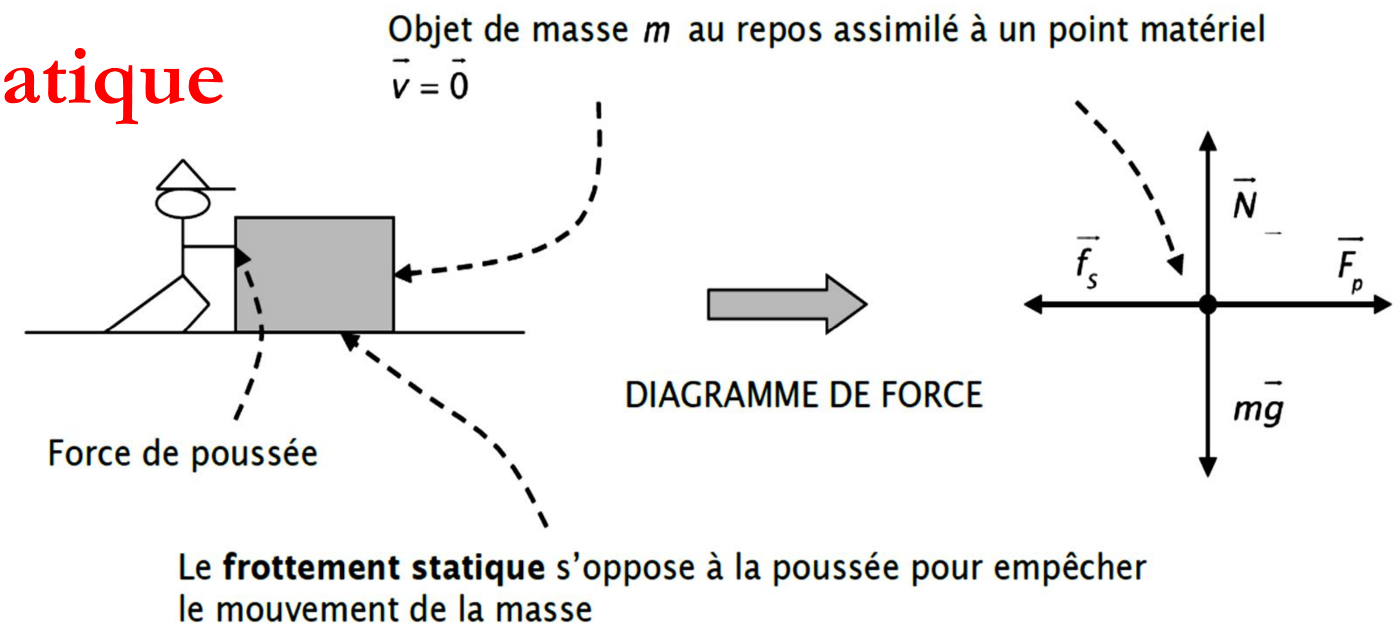
$\vec{N}$ = **réaction normale** exercée par le support sur la masse m .

$\vec{f_S}$ = **force de frottement statique** exercée par le support sur la masse m.

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (1)

Nous allons utiliser un modèle simple pour décrire un phénomène complexe, les frottements entre solides, qui se passe à l'échelle des atomes et qui, de façon fondamentale, fait intervenir l'interaction électrostatique. Il en est de même pour la réaction normale et la tension d'un fil.

❑ Frottement statique



Contact entre deux solides : Force de frottement solide (2)

- $\vec{N}$ = **réaction normale** exercée par le support sur la masse m (norme notée N).
- $\vec{f}_S$ = **force de frottement statique** exercée par le support sur la masse m (norme notée f_S).
- $\vec{f}_P$ = **force de poussée** exercée par l'expérimentateur (le petit bonhomme) sur la masse m .
- $m\vec{g}$ = **poids** de la masse m .

Comme la masse est au repos (voir plus loin première loi de Newton) :

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{f}_S + \vec{f}_P = \overrightarrow{0}$$

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (3)

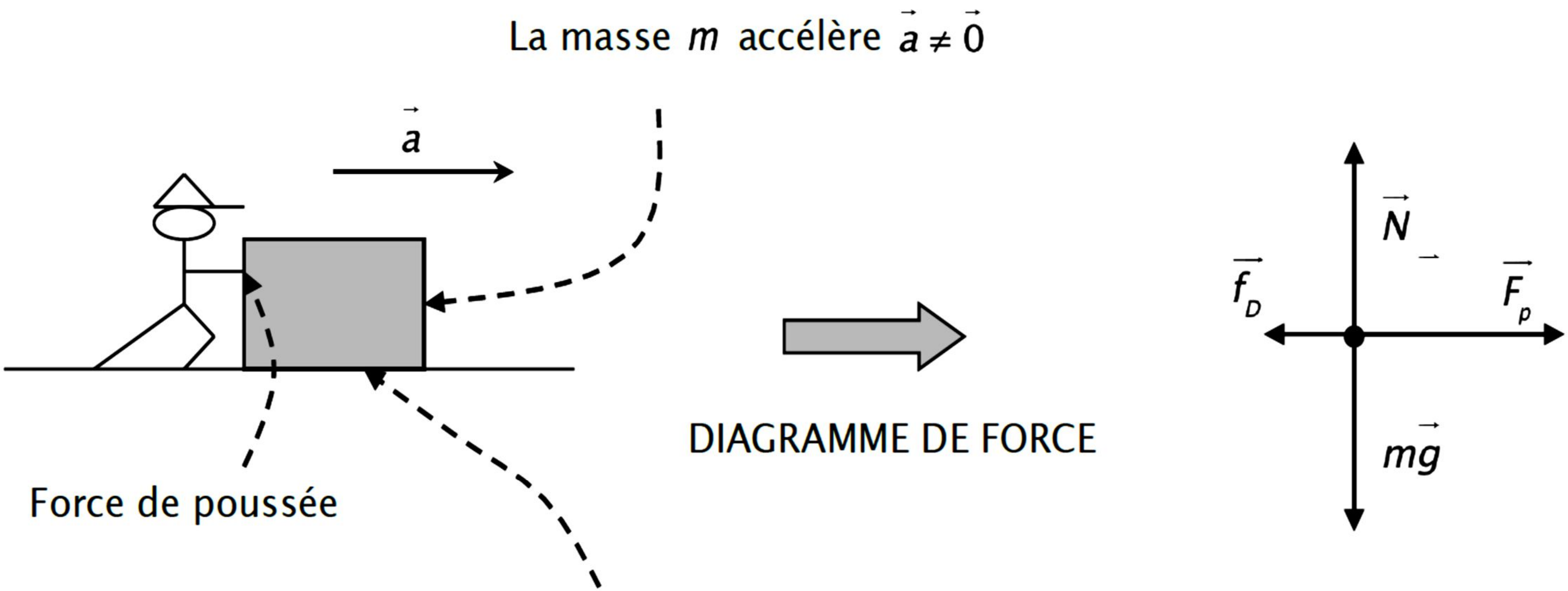
Tant que la masse est au repos, elle ne glisse pas, la norme de la force de frottement statique vérifie la relation suivante :

$$\boxed{f_s \leq \mu_s N}$$

μ_S est le **coefficient statique de frottement** (sans unité). Il dépend de la nature des deux solides en contact. Cette relation est connue sous le nom de **$1^{\text{ère}}$ loi de Coulomb** même si elle a été exprimée pour la première fois par Leonardo da Vinci.

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (4)

❑ Frottement dynamique



Le **frottement dynamique** s'oppose au mouvement mais ne l'empêche pas

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (5)

- $\vec{N}$ = **réaction normale** exercée par le support sur la masse m (norme notée N).
- $\vec{f}_D$ = **force de frottement dynamique** exercée par le support sur la masse m (norme notée f_D).
- $\vec{f}_P$ = **force de poussée** exercée par l'expérimentateur (le petit bonhomme) sur la masse m .
- $m\vec{g}$ = **poids** de la masse m .

Comme la masse est au repos (voir plus loin première loi de Newton) :

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{f}_D + \vec{f}_P = \overrightarrow{0}$$

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (6)

Quand la masse est en mouvement, elle glisse, la norme de la force de frottement dynamique vérifie la relation suivante :

$$\boxed{f_D = \mu_D N}$$

μ_D est le **coefficient dynamique de frottement** (sans unité). Il dépend de la nature des deux solides en contact. Cette relation est connue sous le nom de **2ème loi de Coulomb**.

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (7)

❑ Bilan : modèle des forces de frottement

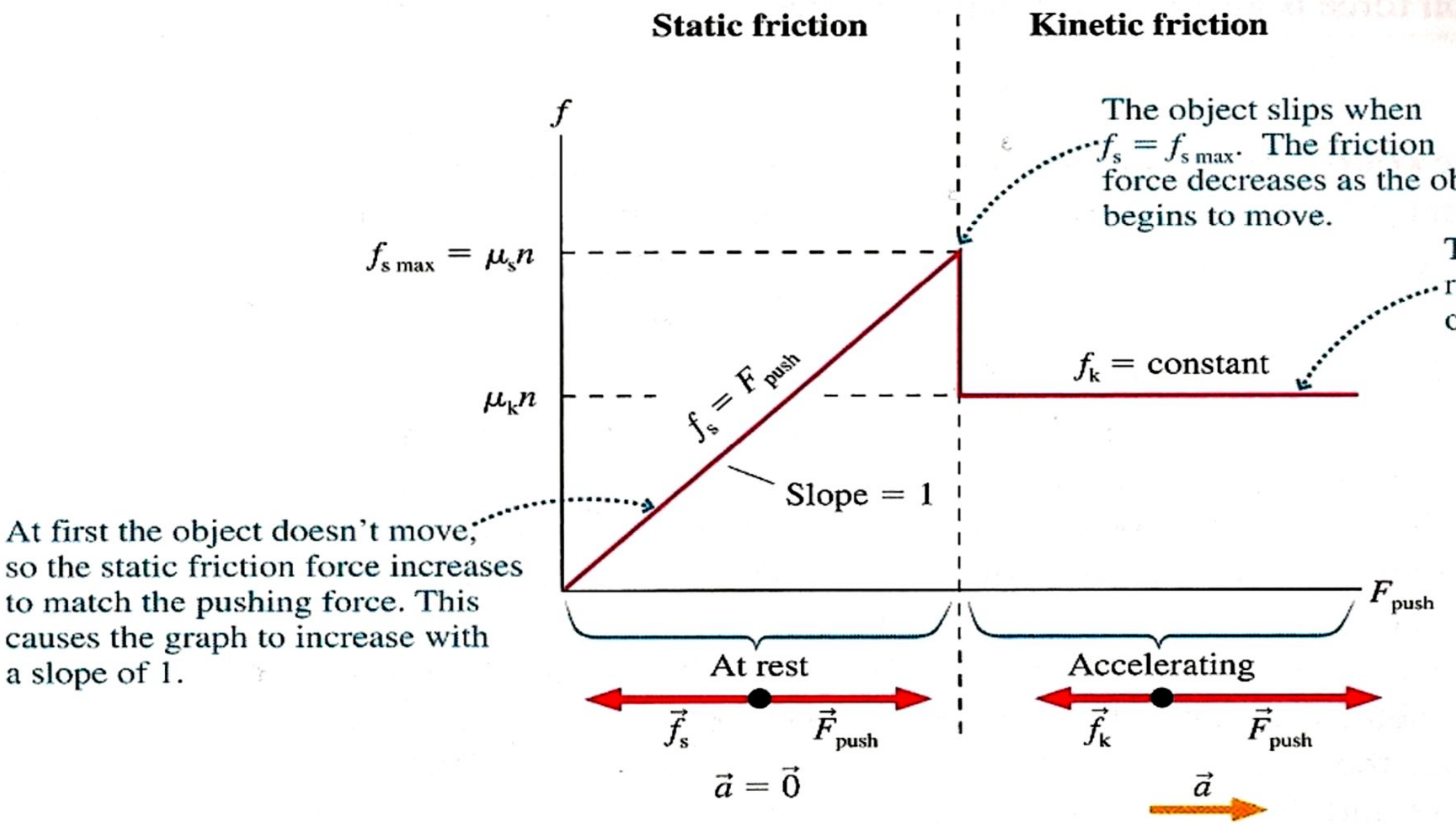
Cas **statique**, 1ère loi de Coulomb : $f_S \leq \mu_S N$ (Direction de $\vec{f}_S$ qui empêche le mouvement)

Cas **dynamique**, 2ère loi de Coulomb : $f_D = \mu_D N$ (Direction de $\vec{f}_D$ opposée au mouvement)

Le graphique ci-dessous, qui représente f_D ou f_S en fonction de F_P, résume la situation. Ce qui est noté F_{Push} correspond à notre F_P , l'indice K (pour Kinetic) correspond à notre indice D (pour Dynamique).

Contact entre deux solides : Force de frottement solide (8)

FIGURE 6.15 The friction force response to an increasing applied force.



Contact entre deux solides : Force de frottement solide (9)

Le tableau ci-contre donne des exemples de valeurs pour μ_D et μ_S

TABLE 6.1 Coefficients of friction

Materials	Static μ_s	Kinetic μ_k
Rubber on concrete	1.00	0.80
Steel on steel (dry)	0.80	0.60
Steel on steel (lubricated)	0.10	0.05
Wood on wood	0.50	0.20
Wood on snow	0.12	0.06
Ice on ice	0.10	0.03

Remarques :

- $\vec{N}$ est aussi notée $\vec{R}_N$ pour réaction normale et $\vec{f}_S$ (ou $\vec{f}_D$) $\vec{R}_T$ pour réaction tangentielle.
- Attention, il ne faut pas écrire $\vec{f}_D = \mu_D \vec{N}$, $\vec{f}_D$ et $\vec{N}$ n'ont pas la même direction.

Force de frottement fluide (1)

Un corps physique en mouvement dans un fluide (liquide ou gazeux) subit une **force résistive qui s'oppose au mouvement**, on parle de **frottement fluide**. Cette force a pour origine physique les collisions incessantes des atomes (ou molécules) du fluide avec le corps physique.

Exemple :

- Chute d'une bille ralentie dans le glycérol, liquide organique très visqueux.
- Chute d'une feuille d'arbre ralentie par l'air.

On modélise ces frottements de la façon suivante :

Force de frottement fluide (2)

Pour les "faibles" vitesses : $\vec{f}_f = -\alpha v \vec{u}$

Pour les "grandes" vitesses : $\vec{f}_f = -\beta v^2 \vec{u}$

Avec $\vec{v} = v\vec{u}$ la vitesse du corps physique ($\vec{u}$ vecteur unitaire)

α et β sont des constantes qui dépendent de la nature du corps physique (forme etc…) et de la nature du fluide (ces constantes sont données dans les problèmes).

Les Forces (ou interactions) fondamentales de la nature (1)

A l'heure actuelle, toutes les forces que l'on rencontre (on parle plutôt d'interactions dans le langage de la physique moderne) découlent de **seulement 4 forces** (comme nous l'avons déjà noté en introduction du cours de mécanique) :

- L'interaction **GRAVITATIONNELLE**.
- L'interaction **ELECTROMAGNETIQUE**.
- L'interaction **FAIBLE**.
- L'interaction **FORTE**

Si l'on excepte le poids qui a pour origine l'interaction gravitationnelle, toutes les forces que l'on a rencontrées dans le paragraphe précèdent ont pour origine l'interaction

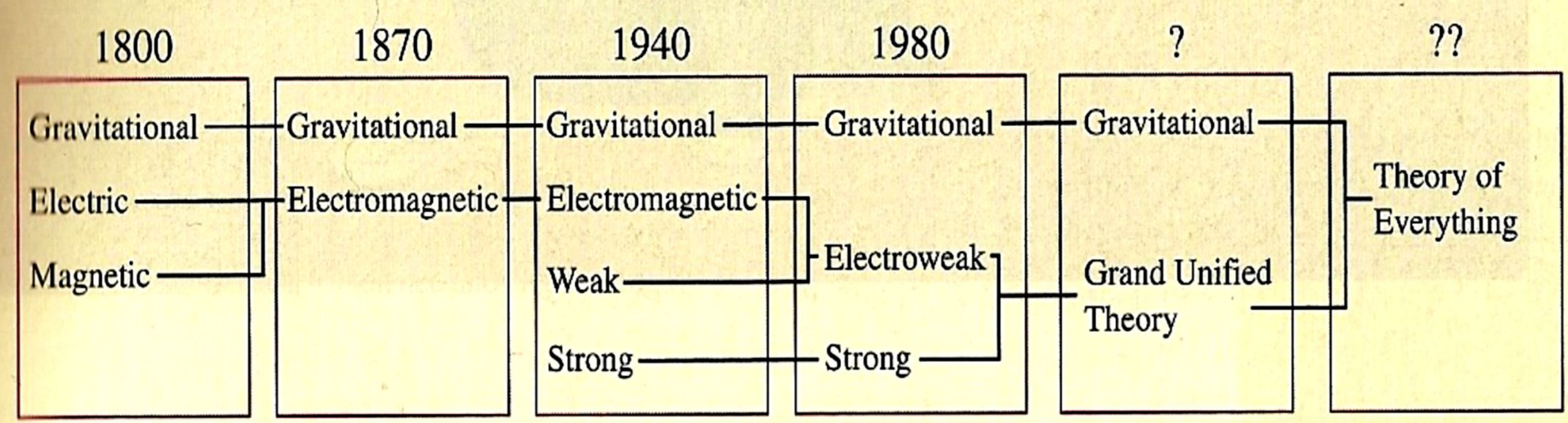
Les Forces (ou interactions) fondamentales de la nature (2)

électromagnétique. L'objectif des physiciens est de trouver une théorie qui puisse expliquer de façon unifiée ces 4 interactions. Dans le modèle standard de la physique des particules, l'interaction électromagnétique et l'interaction faible sont deux aspects d'une même interaction, l'interaction **ELECTROFAIBLE**. Toujours dans le modèle standard, l'interaction électrofaible et l'interaction forte présente d'importantes similitudes conceptuelles. C'est l'interaction gravitationnelle qui pose le plus de problèmes dans la tentative d'unification de toutes ces interactions.

Les Forces (ou interactions) fondamentales de la nature (3)

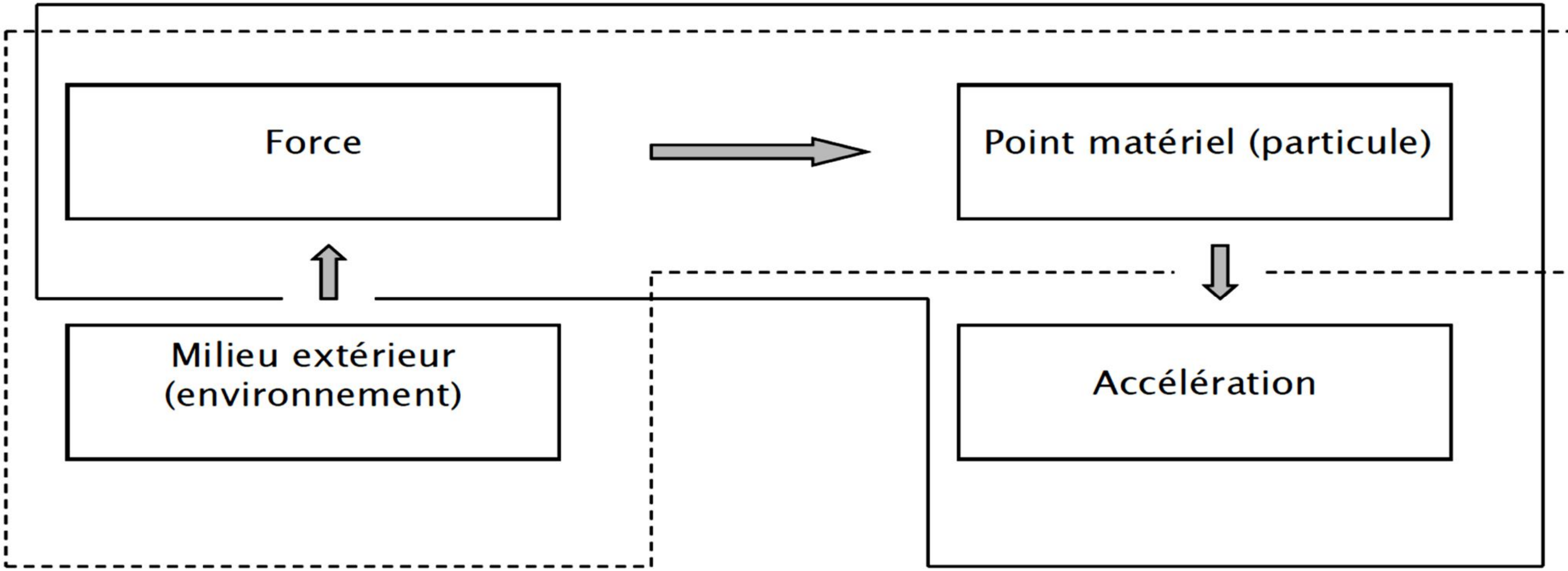
Le schéma ci-dessous montre l'évolution historique dans l'unification des interactions fondamentales (qui est loin d'être achevée si elle l'est un jour. Il y a encore beaucoup de travail pour de futurs physiciens

FIGURE I.1 An historical progression of our understanding of the fundamental forces of nature.



Les fondements de la mécanique : les trois lois de Newton

Le « programme » de la mécanique (1)



Lois qui gouvernent les forces :
- Loi de l'interaction gravitationnelle
- Loi de Coulomb en électrostatique
- Force de Lorentz en électromagnétisme
- Loi de Hooke

etc…

Lois qui gouvernent le mouvement, Les trois lois de Newton :
- Principe d'inertie
- Principe fondamental de la dynamique
- Principe de l'interaction réciproque ou loi de l'action–réaction

La 1ère loi de Newton : Le principe d'inertie et les référentiels galiléens (1)

On admet l'existence de **référentiels privilégiés dits galiléens** (ou d'inerties), notés $\Re_g$, dans lesquels :

$$\left.\begin{array}{l} \bullet \text{ Une particule au repos } \left(\vec{v}=\vec{0}\right) \text{ le restera} \\ \bullet \text{ Une particule en mouvement de translation} \\ \text{rectiligne uniforme } \left(\vec{v}=\overrightarrow{cste}\right) \text{ le restera} \end{array}\right\} \Rightarrow \text{si aucune force n'agit sur cette particule.}$$

a) Commentaires

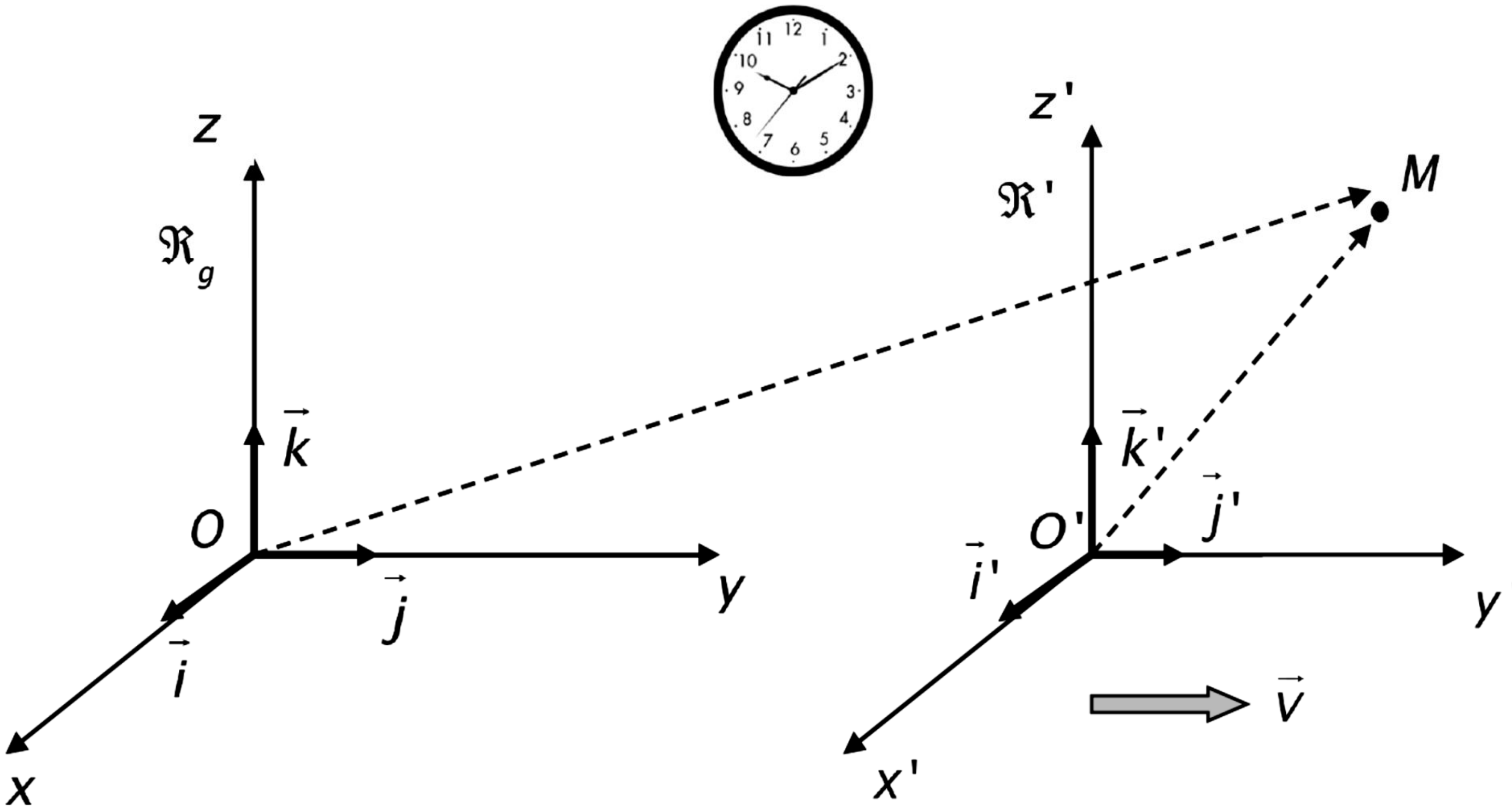
• L'état « naturel » d'un corps physique n'est pas le repos (comme les anciens l'ont longtemps pensé) mais le mouvement de translation rectiligne uniforme dont le repos n'est qu'un cas particulier. **L'état « naturel » du mouvement correspond donc à une accélération nulle $\left(\vec{a}=\vec{0}\right)$**.

La 1ère loi de Newton : Le principe d'inertie et les référentiels galiléens (2)

• La première loi de Newton donne la définition d'un référentiel galiléen. **Il s'agit d'un référentiel dans lequel le principe d'inertie est valable**. **Si une particule est parfaitement isolée, elle n'est soumise à aucune force de la part de son environnement extérieur, alors la particule doit être au repos ou en mouvement de translation rectiligne uniforme**. Si ce n'est pas le cas, vous êtes dans un référentiel non galiléen, la 1ère loi de Newton n'est plus valable. Vous êtes dans un référentiel accéléré, par exemple sur un manège qui tourne ou dans un train qui accélère.

La 1ère loi de Newton : Le principe d'inertie et les référentiels galiléens (3)

b) Les référentiels Galiléen



La 1ère loi de Newton : Le principe d'inertie et les référentiels galiléens (4)

Tout référentiel $\Re'$ animé par rapport à un référentiel galiléen $\Re_g$ d'un mouvement de **translation rectiligne uniforme** est lui-même galiléen.

Les lois de la mécanique ont la même formulation dans tous les référentiels galiléens ; il s'agit du principe de relativité galiléenne.

On peut encore donner de cet énoncé la forme pratique suivante :

Le mouvement de translation rectiligne et uniforme d'un référentiel galiléen $\Re_g'$ par rapport à un autre référentiel galiléen $\Re_g$ ne peut pas être mis en évidence par une expérience de mécanique effectuée dans $\Re_g'$.

La 1ère loi de Newton : Le principe d'inertie et les référentiels galiléens (5)

On peut s'assurer, au moins qualitativement, de la validité de cet énoncé en voyageant fenêtres fermées dans un compartiment de train. Si la vitesse est constante, et la voie rectiligne, rien dans le comportement des objets qui nous entourent ne permet de savoir si le train est en mouvement ou en repos. Le principe de relativité de Galilée a une très grande importance théorique. La théorie de la relativité proposée par Einstein en 1905 repose sur une extension à toute la physique du principe que Galilée avait formulée dans le cadre restreint de la mécanique.

La quantité de mouvement

La **quantité de mouvement** joue un rôle essentiel dans toute la physique au même titre que **l'énergie** et le **moment cinétique** (que nous rencontrerons plus tard). Dans l'étude du mouvement d'une particule, la vitesse et la masse sont des concepts centraux. La quantité de mouvement, grandeur vectorielle, permet de prendre en compte ces deux grandeurs.

Une particule de masse m animée d'une vitesse $\vec{v}$ dans un référentiel galiléen possède par définition la **quantité de mouvement**, notée $\vec{p}$, suivante:

$$\vec{p} = \frac{m}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}\vec{v} \approx m\vec{v} \text{ quand } v \ll c$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide (une grandeur invariante).

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (1)

Dans un référentiel galiléen, la quantité de mouvement d'une particule de masse *m* et soumise à la somme des forces $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots$ obéit à la loi d'évolution suivante:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}$$

Commentaires :

• Cette loi est valable pour les particules relativistes à condition de prendre l'expression générale de la quantité de mouvement.

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (2)

• **Dans la cas d'une masse constante** et pour des vitesses non relativistes (la plupart des cas que l'on va rencontrer), l'expression précédente s'écrit

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \sum \vec{F} \Longrightarrow m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

C'est souvent sous cette forme que l'on utilise la deuxième loi de Newton mais elle est moins générale !

• Si

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots = \vec{0}$$

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (3)

- Si

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots = \vec{0}$$

on dit que la particule est en équilibre mécanique $(\vec{a} = \vec{0})$. Si la particule est au repos $(\vec{v} = \vec{0})$, **l'équilibre est dit statique**. Si la particule est en translation rectiligne uniforme $(\vec{v} = \overrightarrow{cte})$, **l'équilibre est dit dynamique**.

La relation

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

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (4)

La relation comporte **trois équations différentielles** que l'on est conduit à résoudre. La connaissance de $\sum \vec{F}$ permet d'avoir accès à $\vec{a}(t)$ puis par intégration à $\vec{v}(t)$ et par une nouvelle intégration à $\vec{r}(t)$. Pour effectuer ces intégrations, il faut connaître les conditions initiales, c'est-à-dire $\vec{r}_0$ et $\vec{v}_0$. Il s'agit du cheminement inverse de la cinématique qui, partant de $\vec{r}(t)$, conduisait par dérivations successives à $\vec{v}(t)$ puis à $\vec{a}(t)$. Le tableau suivant donne l'expression de la seconde loi de Newton dans les systèmes de coordonnées que l'on a étudiés en cinématique.

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (4)

Forme vectorielle	Coordonnées Cartésiennes (x,y,z)	Coordonnées Polaires 2D (r,θ)	Coordonnées Cylindriques (r,θ,z)
$\sum \vec{F} = m\dfrac{d^2\vec{r}}{dt^2}$	$\begin{cases} \sum F_x = m\ddot{x} \\ \sum F_y = m\ddot{y} \\ \sum F_z = m\ddot{z} \end{cases}$	$\begin{cases} \sum F_r = m\left(\ddot{r} - r\left(\dot{\theta}\right)^2\right) \\ \sum F_\theta = m\left(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}\right) \end{cases}$	$\begin{cases} \sum F_r = m\left(\ddot{r} - r\left(\dot{\theta}\right)^2\right) \\ \sum F_\theta = m\left(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}\right) \\ \sum F_z = m\ddot{z} \end{cases}$

★ A ABSOLUMENT CONNAITRE ★

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (5)

Si la particule n'est soumise à aucune force ou si $\sum \vec{F} = \vec{0}$, alors

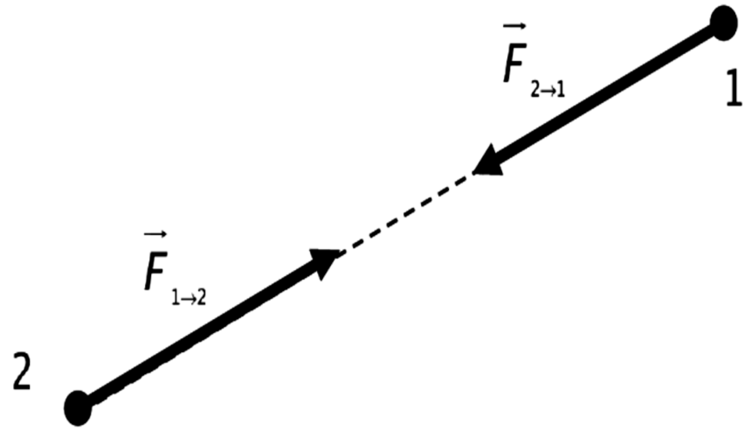
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0} \Longrightarrow \vec{p} = \overrightarrow{cte}$$

La quantité de mouvement est une **grandeur conservative** au même titre que l'énergie et le moment cinétique, trois grandeurs qui jouent un rôle central en physique. Le fait que ces trois grandeurs soient conservatives provient directement des propriétés de symétrie des lois de la physique comme cela est indiqué dans le tableau suivant :

La 2ème loi de Newton : Le principe fondamental de la dynamique (6)

Grandeur conservative		Propriété de symétrie des lois de la physique associée à la grandeur conservative
Quantité de mouvement $\vec{p}$	$\Leftrightarrow$	Les lois de la physique sont invariantes par translation dans l'espace
Moment cinétique $\vec{L}$	$\Leftrightarrow$	Les lois de la physique sont invariantes par rotation dans l'espace.
Energie E	$\Leftrightarrow$	Les lois de la physique sont invariantes dans le temps.

La 3ème loi de Newton : Le principe d'interaction réciproque ou la loi de l'action et de la réaction (1)



Si une particule 1 exerce une force $\vec{F}_{1\to2}$ sur une particule 2, alors la particule 2 exerce une force $\vec{F}_{2\to1}$ sur la particule 1 telle que $\vec{F}_{1\to2} = -\vec{F}_{2\to1}$.

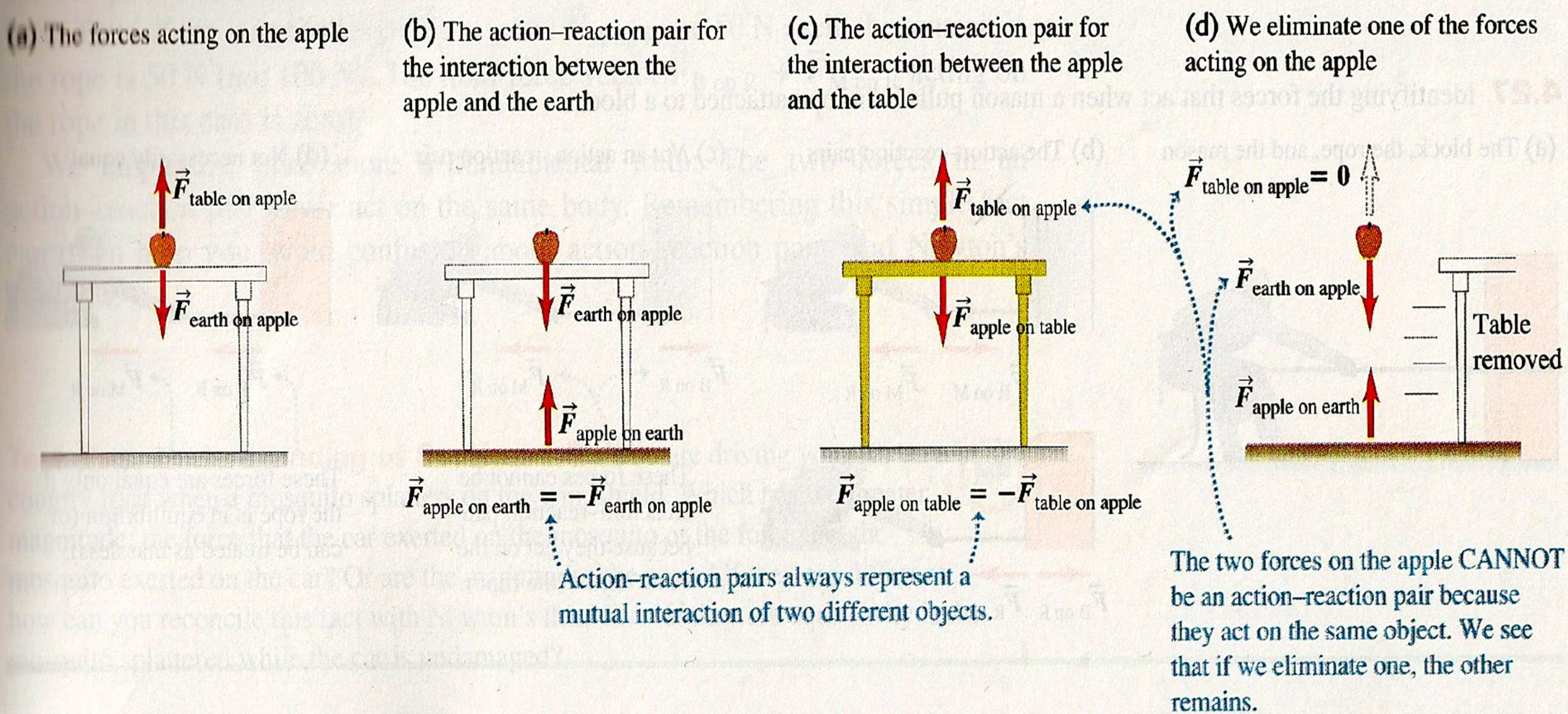
$\vec{F}_{1\to2}$ et $\vec{F}_{1\to2}$ sont portées par la même droite.

Une force n'existe pas seule mais appartient à un couple de forces. **Il y a toujours interaction entre deux corps physiques**. Ce n'est que par commodité que l'on distingue l'agent qui exerce la force de l'objet qui subit la force.

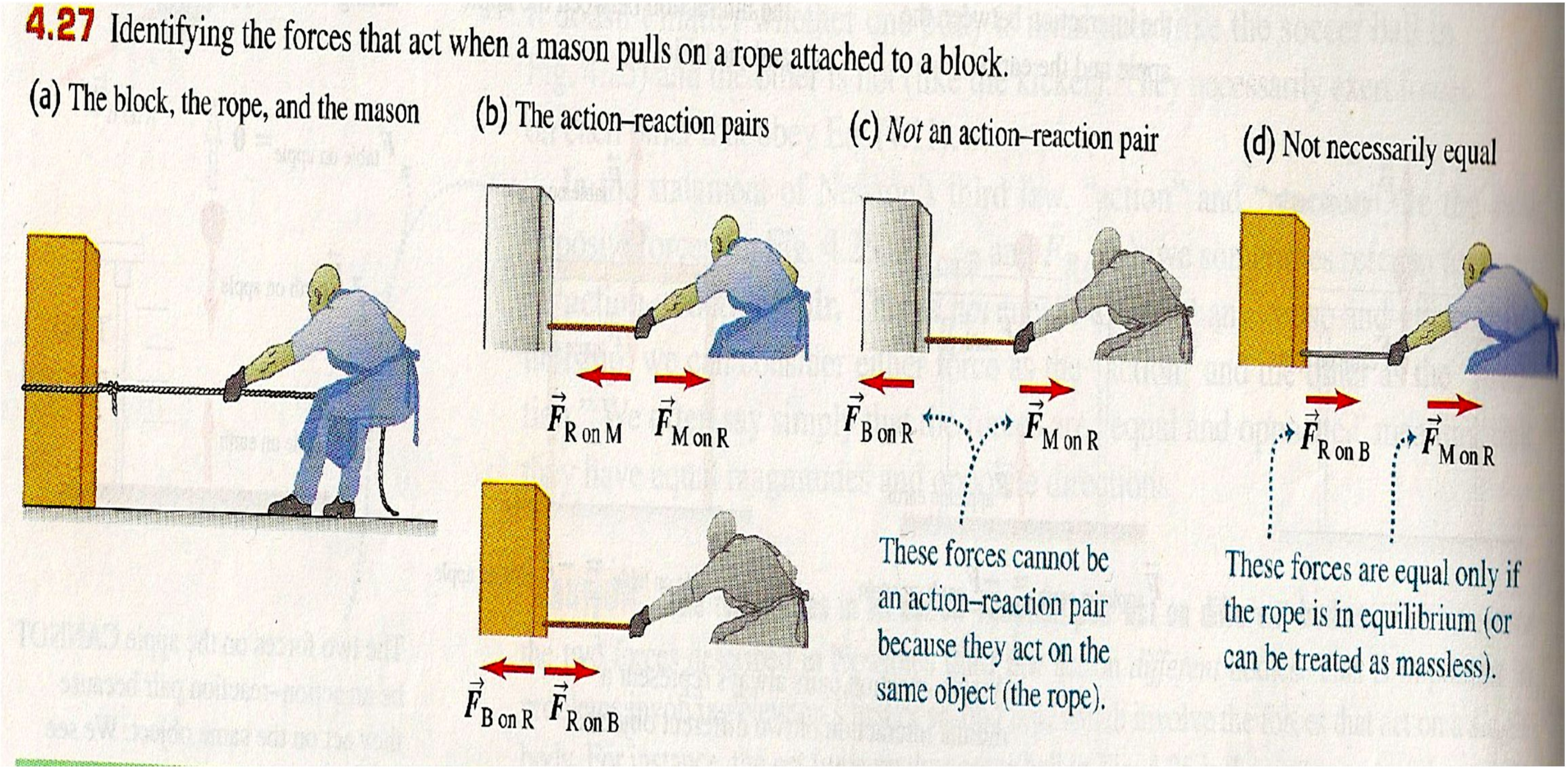
★NB: **L'action et la réaction agissent sur des corps différents.** ★

La 3ème loi de Newton : Le principe d'interaction réciproque ou la loi de l'action et de la réaction (2)

4.26 The two forces in an action–reaction pair always act on different bodies.

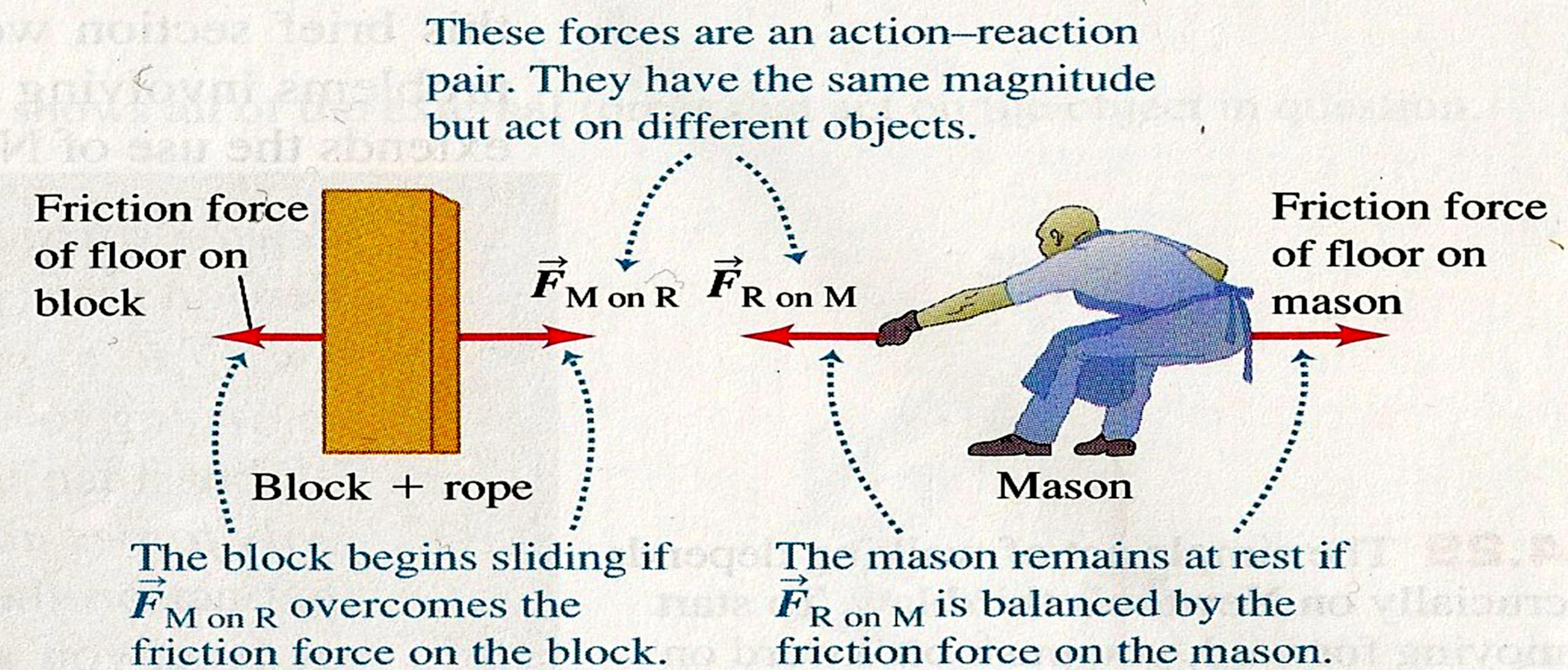


La 3ème loi de Newton : Le principe d'interaction réciproque ou la loi de l'action et de la réaction (3)



La 3ème loi de Newton : Le principe d'interaction réciproque ou la loi de l'action et de la réaction (4)

4.28 The horizontal forces acting on the block–rope combination (left) and the mason (right). (The vertical forces are not shown.)



La 3ème loi de Newton : Le principe d'interaction réciproque ou la loi de l'action et de la réaction (5)

FIGURE 4–11 We can walk forward because, when one foot pushes backward against the ground, the ground pushes forward on that foot (Newton's third law). The two forces shown *act on different objects*.

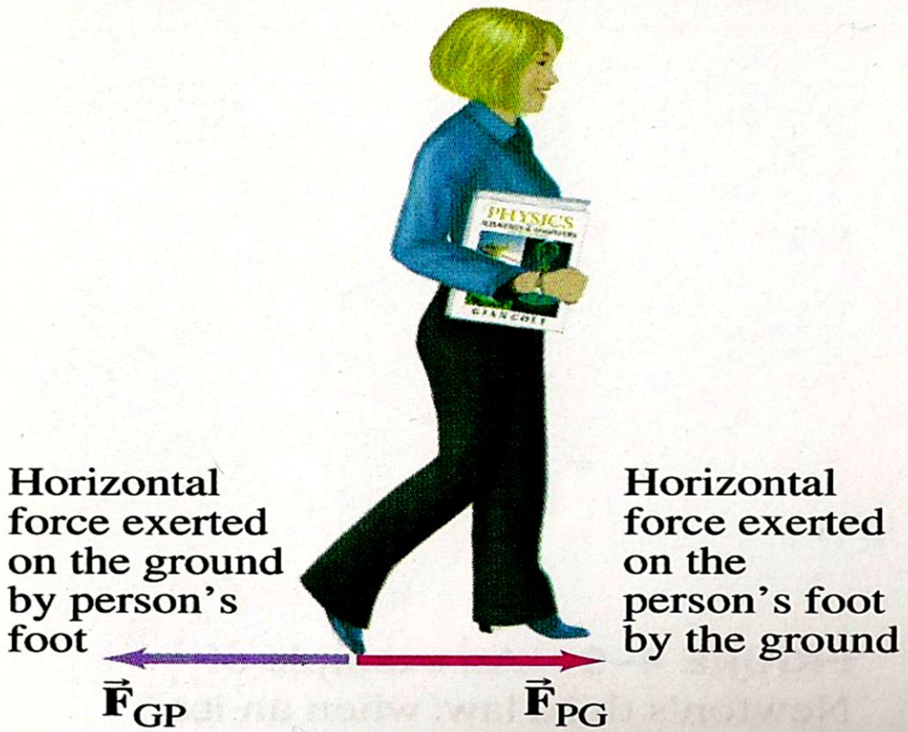


FIGURE 4–10 Another example of Newton's third law: the launch of a rocket. The rocket engine pushes the gases downward, and the gases exert an equal and opposite force upward on the rocket, accelerating it upward. (A rocket does *not* accelerate as a result of its propelling gases pushing against the ground.)

Application des lois de Newton

Guide pour résoudre un problème de mécanique (1)

a) Identifier le système physique à étudier et le référentiel d'étude. Dans cette partie, le système physique étudié sera toujours ramené à un point matériel de masse m. Le référentiel sera toujours galiléen cette année.

b) Identifier chaque force qui agit sur le point matériel. Faire un diagramme de force.

c) Ecrire le principe fondamental de la dynamique.

d) Choisir un système de coordonnées adapté au problème et le dessiner sur le diagramme de forces.

Guide pour résoudre un problème de mécanique (2)

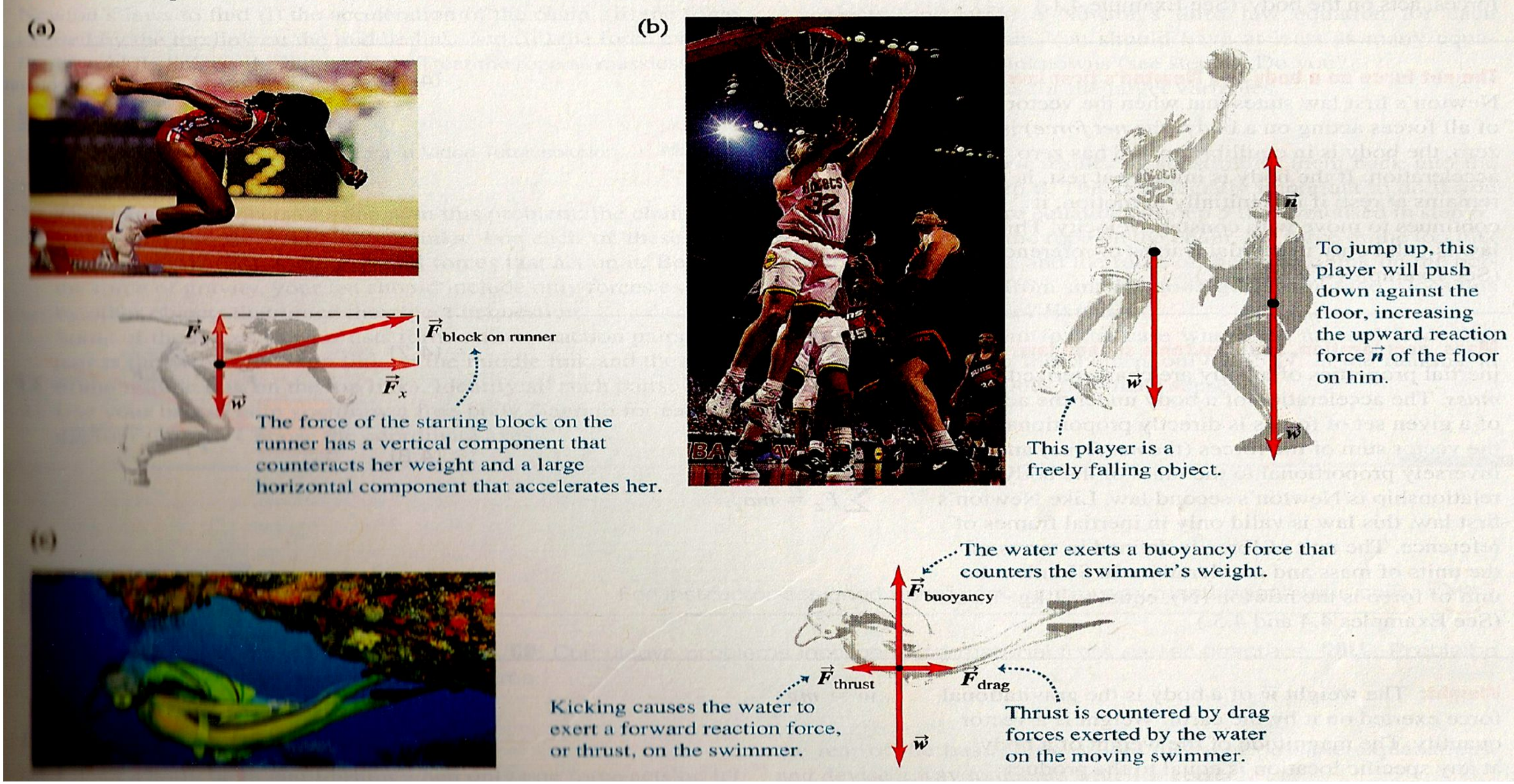
e) Projeter le principe fondamental de la dynamique sur chaque axe du système de coordonnées. On obtient trois équations différentielles.

f) Résoudre les équations différentielles pour déterminer la quantité qui nous intéresse.

g) Se demander si notre réponse a un sens, regarder les dimensions des grandeurs obtenues.

h) Faire les applications numériques, porter un regard critique sur les valeurs obtenues.

Guide pour résoudre un problème de mécanique (3)



4.30 Examples of free-body diagrams. Each free-body diagram shows all of the external forces that act on the object in question.