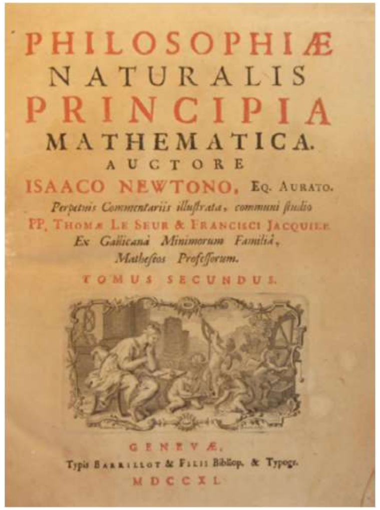
UCLouvain

École polytechnique de Louvain

LEPL1201
Cours 2 : Lois de Newton
Forces & premiers éléments de gravitation

T. Pardoen



Année académique 2022-23

Agenda LEPL1201

S2	Lundi 26/9	**Cours 1** : **Unités, vecteurs, cinématique** + APP le jeudi
S3	Mardi 4/10	**Cours 2** : **Lois de Newton et gravité** + APP le jeudi
S4	Mardi 11/10	**Cours 3** : **Force de Coulomb** + APP le jeudi
S5	Mardi 18/10	**Cours 4** : **Loi de Gauss** + APP le jeudi
S6	Mardi 25/10	**Cours 5** : **Forces de frottement** (and co) + APP le jeudi
S7	Lundi 31/10	**Cours 6 : Travail, énergie, puissance** + APP le jeudi + **devoir Python**
S8	Mardi 8/11	**Cours 7** : **Potentiel électrique et moments** + APP le jeudi
S9	Mardi 15/11	**Cours 8** : **Capacités et diélectriques** + APP le jeudi + **LABO 1**
S10	Mardi 22/11	**Cours 9** : **Mouvements circulaires** + APP le jeudi
S11	Mardi 29/10	**Cours 10** : **Mécanique des corps rigides** + APP le jeudi
S12	Mardi 6/12	**Cours 11** : **Courant électrique et résistance** + APP le jeudi
S13	Mardi 13/12	**Cours 12** : **Circuit RC** + APP le jeudi
S14		**LABO 2**

Mécanique du point, versus corps rigides, versus corps déformables

Cours 1 : Unités, vecteurs, cinématique
Cours 2 : Lois de Newton et gravité
Cours 3 : Force de Coulomb
Cours 4 : Loi de Gauss
Cours 5 : Forces de frottement
Cours 6 : Travail, énergie, puissance
Cours 7 : Potentiel électrique et moments
Cours 8 : Capacités et diélectriques
Cours 9 : Mouvements circulaires

Cours 10 : Mécanique des corps rigides
Cours 11 : Courant électrique et résistance
Cours 12 : Circuit RC
LABO 2

Mécanique du point

Mécanique des corps rigides (le début)

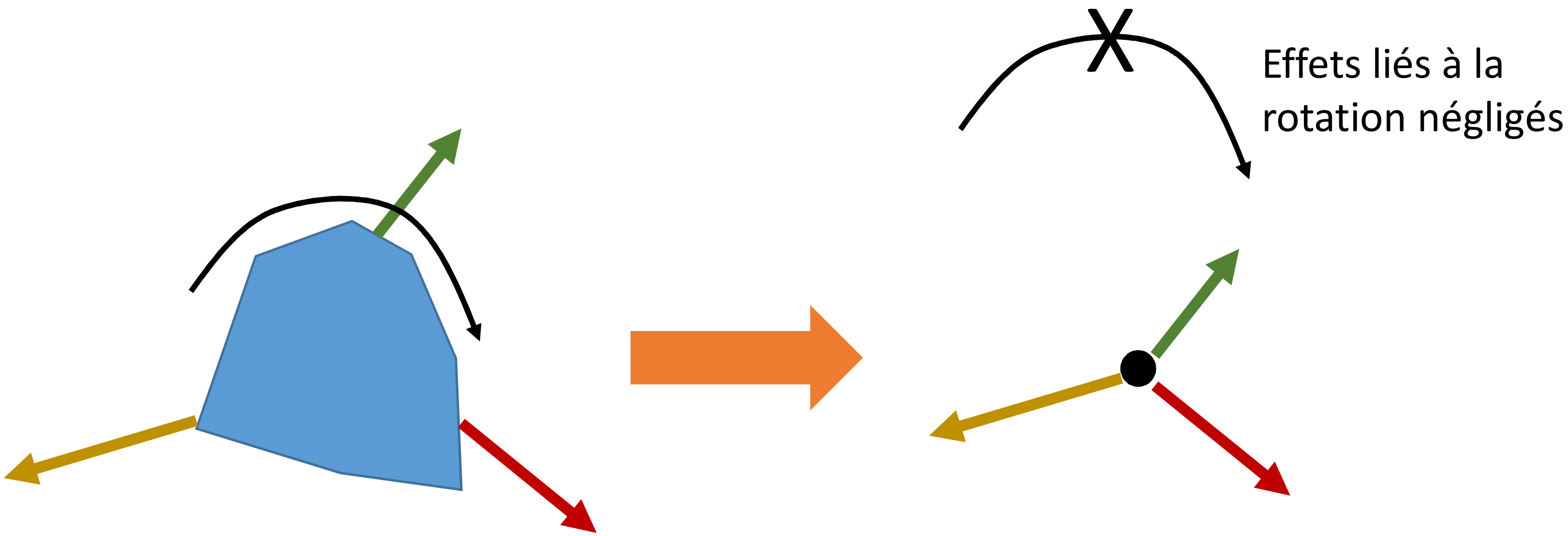
Pas de mécanique des corps déformables en LEPL1201 – pour plus tard

Agenda Cours 2

1. Hypothèse de la **mécanique du point**
2. Concept de **force**
3. Les **lois de Newton**
4. La **gravitation** (partie I)
5. **Autres types de force**
6. **Applications** (mécanique du point)

Hypothèse de la mécanique du point

La mécanique du point *simplifie l'analyse du mouvement de corps matériels en faisant l'hypothèse qu'on peut les assimiler à un point rigide sans extension spatiale (mais avec une masse). Le critère est* ***que les déformations dans ce corps et leur propre rotation peuvent être négligés devant les énergies en jeu****. On peut, pour certains problèmes, assimiler la terre à un point matériel, mais pas une balle qui tourne sur elle-même très vite – cela dépend des problèmes.*



Agenda Cours 2

Qu'est ce qu'une force ?

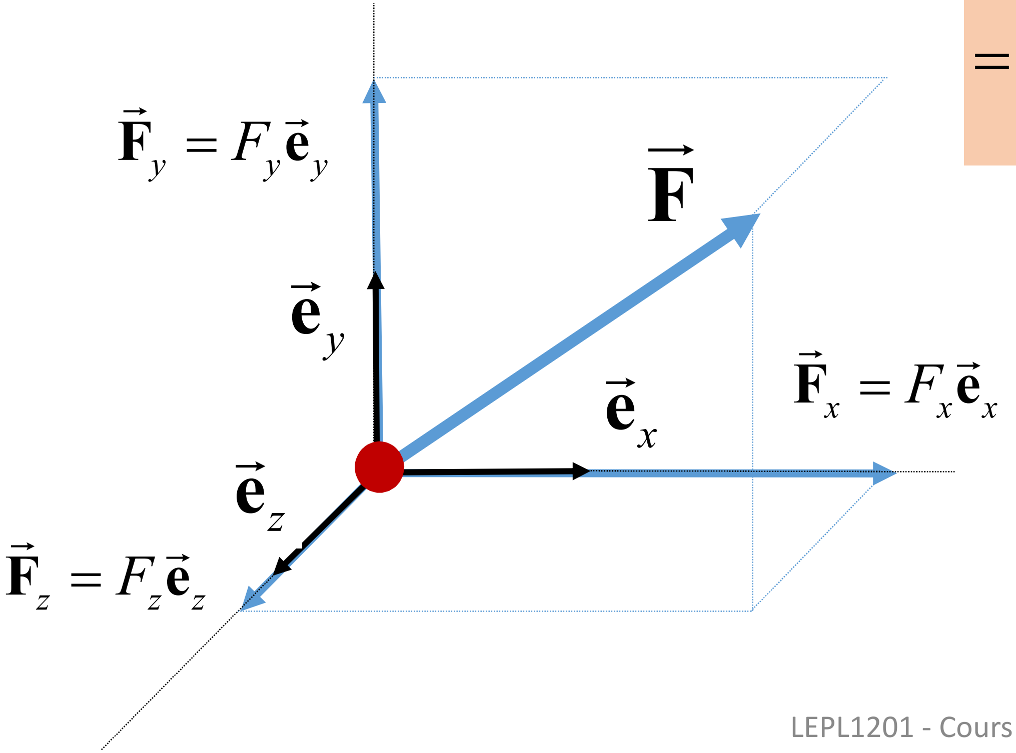
Une force est une ***interaction entre deux corps ou d'un corps avec son environnement*** *et qui peut modifier l'état de mouvement (vitesse) de ces corps.*

La force est exprimée en ***Newtons*** *(N)*

Il faut imposer une force d'environ 1N pour lever une masse de 100 g sur terre (plus précisément, il faut, comme le verra un peu plus loin 0.981 N)

Qu'est ce que la force ?

La force a une intensité et une direction; on la représente donc par un vecteur $\vec{\mathbf{F}}$.



$$\left.\begin{aligned} \vec{\mathbf{F}} &= \vec{\mathbf{F}}_x + \vec{\mathbf{F}}_y + \vec{\mathbf{F}}_z \\ &= F_x \vec{\mathbf{e}}_x + F_y \vec{\mathbf{e}}_y + F_z \vec{\mathbf{e}}_z \end{aligned}\right\} \quad \vec{\mathbf{F}} : \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$$

Norme=intensité=module
= amplitude de la force :

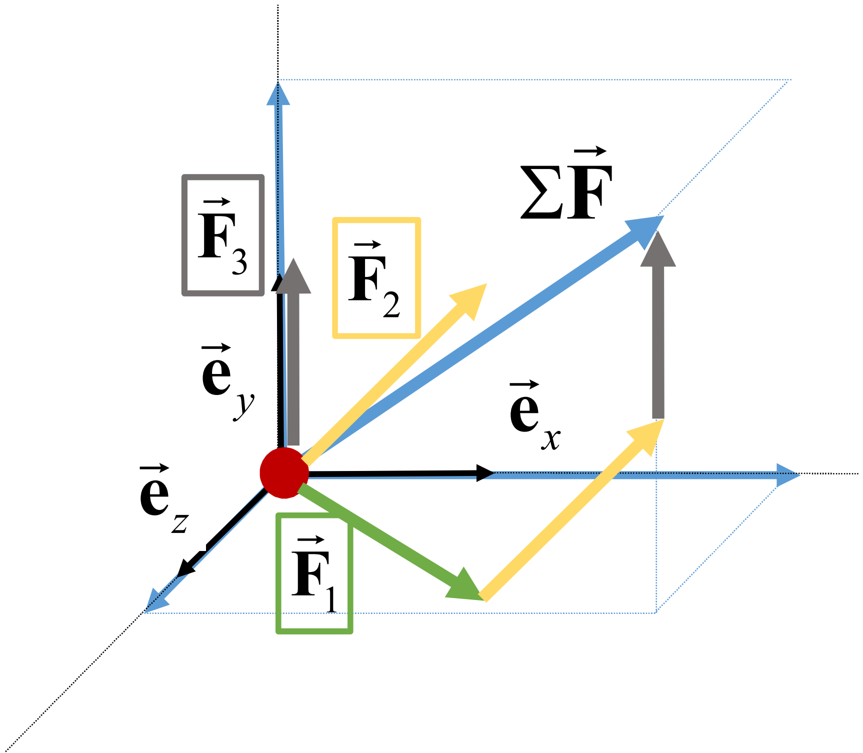
$$\left\| \vec{\mathbf{F}} \right\| \equiv F = \sqrt{F_x^{\ 2} + F_y^{\ 2} + F_z^{\ 2}}$$

Qu'est ce que la force ?

Quand plusieurs forces agissent sur un corps (simplifié par un point matériel), on détermine la force résultante (ou force nette).

$$\Sigma\vec{\mathbf{F}} = \vec{\mathbf{F}}_1 + \vec{\mathbf{F}}_2 + \vec{\mathbf{F}}_3 + \ldots \quad \text{parfois notée aussi } \vec{\mathbf{R}}$$

Quand on parle de la force, si on ne dit rien d'autre, c'est qu'il s'agit de la force résultante / la somme des forces !



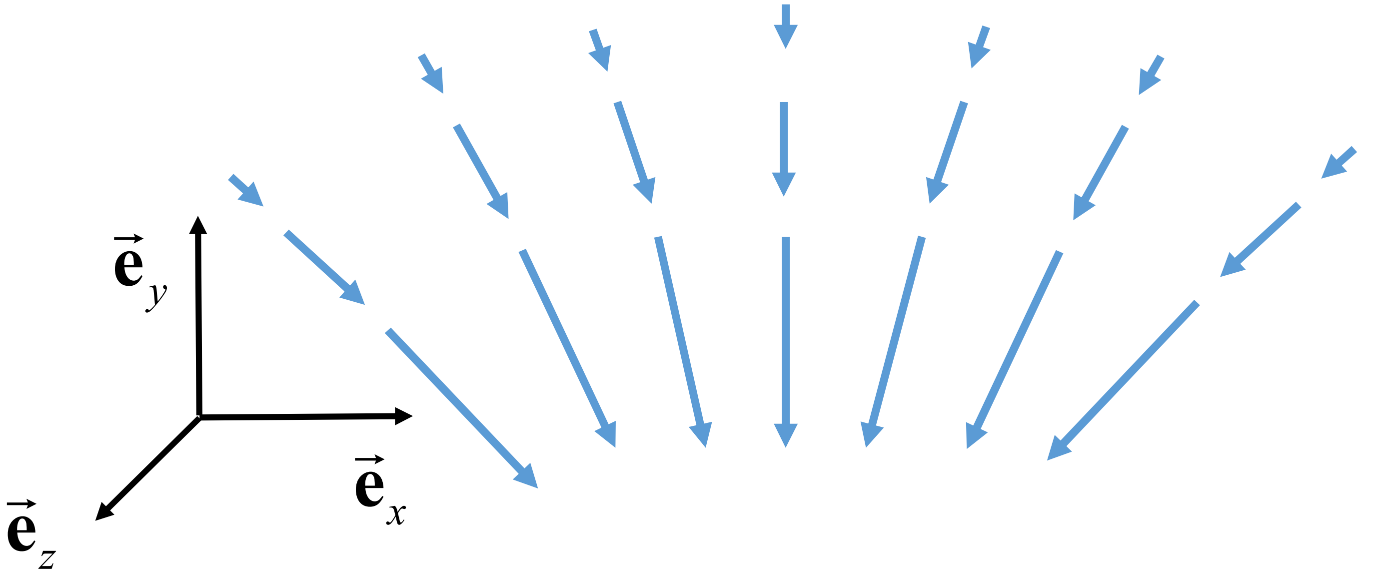
$$\Sigma\vec{\mathbf{F}} = \underbrace{\left(F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \ldots\right)}_{R_x}\vec{\mathbf{e}}_x + \underbrace{\left(F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \ldots\right)}_{R_y}\vec{\mathbf{e}}_y + \underbrace{\left(F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} + \ldots\right)}_{R_z}\vec{\mathbf{e}}_z$$

Les forces agissant sur un corps peuvent être de nature différente – peu importe « une force est une force ! »

Note : On peut déjà voir une force en fait comme la résultante de ses composantes

Qu'est ce que la force ?

Une force peut être locale (imposée en un seul point) ou peut exister dans un espace. Dans ce dernier cas, on parle de champ de force, force qui peut varier avec la position: $\vec{\mathbf{F}}(x,y,z)$. Un corps dans à un champ de force ressentira la force en fonction de sa position.



Agenda Cours 2

1. Hypothèse de la **mécanique du point**
2. Concept de **force**
3. Les **lois de Newton**
4. La **gravitation** (partie I)
5. **Autres types de force**
6. **Applications** (mécanique du point)

Première loi de Newton

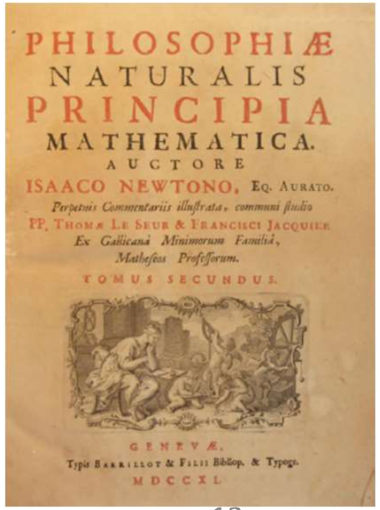
Aussi appelé principe d'inertie

Tout corps conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, à moins que des forces extérieures ayant une résultante non-nulle n'agissent sur lui et le contraignent à change d'état.

Isaac Newton, 1687

En d'autres mots, un corps peut être soumis à des forces, si leur résultante est zéro, c'est comme si aucune force n'agissait – l'état de mouvement ne change pas.

Ex. les paillettes incandescentes produites par meulage se propagent bien en ligne droite (jusqu'à ce que les – faibles – forces de frottement et de gravité prennent le dessus)



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.
AUCTORE
ISAACO NEWTONO, Eq. Aurato.
Perpetuis Commentariis illustrata, communi studio
PP. Thomæ Le Seur & Francisci Jacquier
Ex Gallicanâ Minimorum Familiâ,
Matheseos Professorum.
TOMUS SECUNDUS.

GENEVÆ,
Typis Barrillot & Filii Bibliop. & Typogr.
MDCCXL

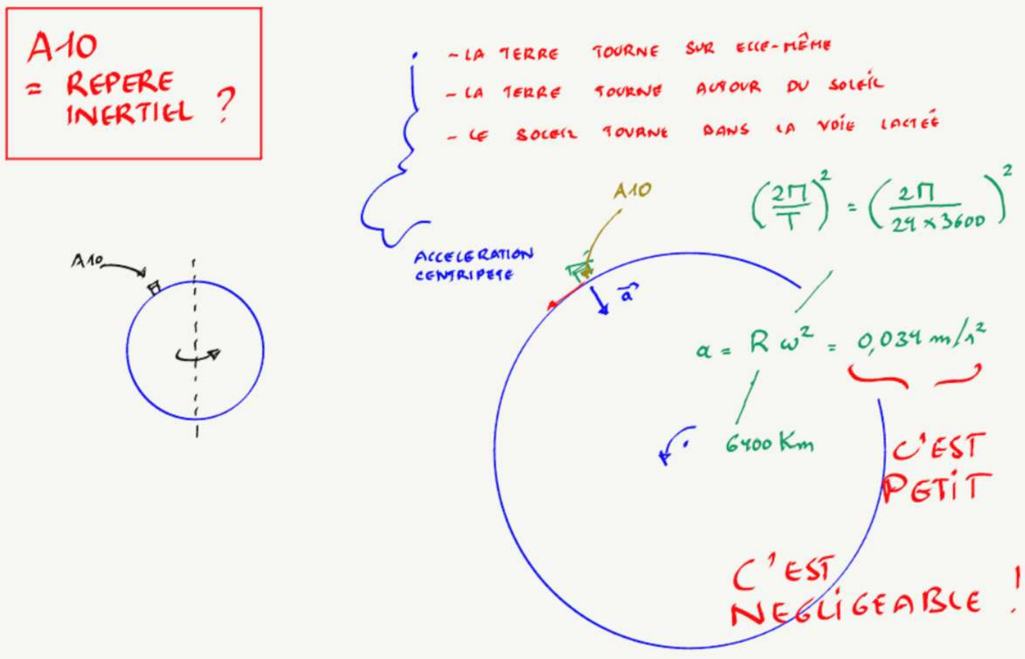
Première loi de Newton

La loi n'est valable que dans un repère inertiel

L'inertie c'est la capacité à ne pas changer de vitesse.

Un **repère inertiel** (aussi appelé Galiléen) est un repère (lié donc avec une système d'axes de référence) qui ne subit pas d'accélération.

En fait, on vérifie qu'un repère est inertiel si la 1ère loi de Newton est vérifiée.



Voir cours 9

Première loi de Newton

Tout corps conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, à moins que des forces extérieures ayant une résultante non-nulle n'agissent sur lui et le contraignent à change d'état.

Isaac Newton, 1687

Ceci pourrait quand même vous paraître étrange à première vue. On a l'impression que pour maintenir un corps en mouvement, par exemple un chariot, on doit imposer une force continue … mais c'est oublier que le chariot subit d'autres forces, en particulier de frottement, qui font que la résultante/somme des forces s'annule bien. Nous reparlerons de cela abondamment au cours 5

Deuxième loi de Newton

Si la résultante des forces agissant sur un corps est non nulle, le corps accélère. La direction de l'accélération est la même que celle de la force résultante. La masse multipliée par le vecteur accélération est égale au vecteur force résultante.

Isaac Newton, 1687

$$\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}$$

Donc, pour les composantes : $\Sigma F_x = ma_x \;,\; \Sigma F_y = ma_y \;,\; \Sigma F_z = ma_z$

Comme cette loi est valable à chaque instant t, son expression la plus complète est

$$\boxed{m\vec{\mathbf{a}}(t) = \Sigma\vec{\mathbf{F}}(t)}$$

Deuxième loi de Newton

Quand on parle de « La loi de Newton », on parle en fait de la seconde loi. Cette loi constitue le cœur de la mécanique, et fournit en fait une définition du concept de force.

On retrouve la première loi directement par la deuxième : *si pas de force, pas de changement de vitesse* (MRU !)

$$\Sigma \vec{\mathbf{F}}(t) = m\vec{\mathbf{a}}(t) = m\frac{d\vec{\mathbf{v}}(t)}{dt}$$

$$\text{si } \Sigma \vec{\mathbf{F}}(t) = 0 \text{ alors } \frac{d\vec{\mathbf{v}}(t)}{dt} = 0 \text{ et } \vec{\mathbf{v}}(t) \text{ est un vecteur constant}$$

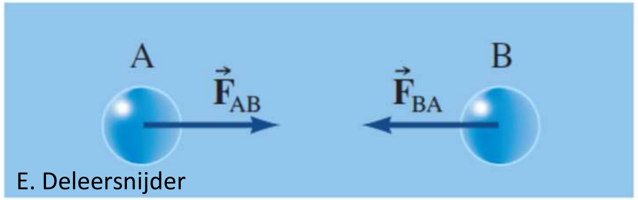
Troisième loi de Newton

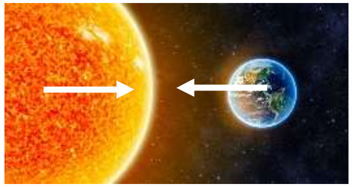
Si un corps *A* exerce une force sur un corps *B* (l'action) notée $\vec{F}_{BA}$ – soit par contact soit à distance - alors le corps B exerce une force sur le corps A (la réaction) notée $\vec{F}_{AB}$. Ces deux forces ont la même amplitude/intensité mais sont de direction opposée. Ces deux forces agissent sur des corps différents.

Isaac Newton, 1687

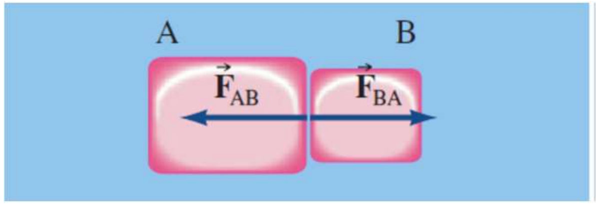
$$\vec{\mathbf{F}}_{A\ \mathrm{sur}\ B} \equiv \vec{\mathbf{F}}_{BA} = -\vec{\mathbf{F}}_{AB} \equiv -\vec{\mathbf{F}}_{B\ \mathrm{sur}\ A}$$

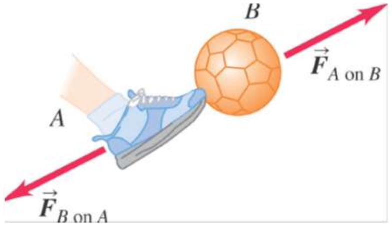
à distance





par contact





Troisième loi de Newton

Si un corps *A* exerce une force sur un corps *B* (l'action) notée $\vec{\mathbf{F}}_{BA}$– soit par contact soit à distance - alors le corps B exerce une force sur le corps A (la réaction) notée $\vec{\mathbf{F}}_{AB}$. Ces deux forces ont la même amplitude/intensité mais sont de direction opposée. Ces deux forces agissent sur des corps différents.

Isaac Newton, 1687

Pourquoi Newton ajoute t'il cette remarque un peu étrange aux premiers abords ? On va y revenir dans un peu plus loin – patience …

Synthèse des lois de Newton

Loi 2

$$m\vec{\mathbf{a}}(t) = \Sigma\vec{\mathbf{F}}(t)$$

Loi 1

Si la résultante des forces sur un corps est nulle, le corps conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme.

Valable dans un repère inertiel

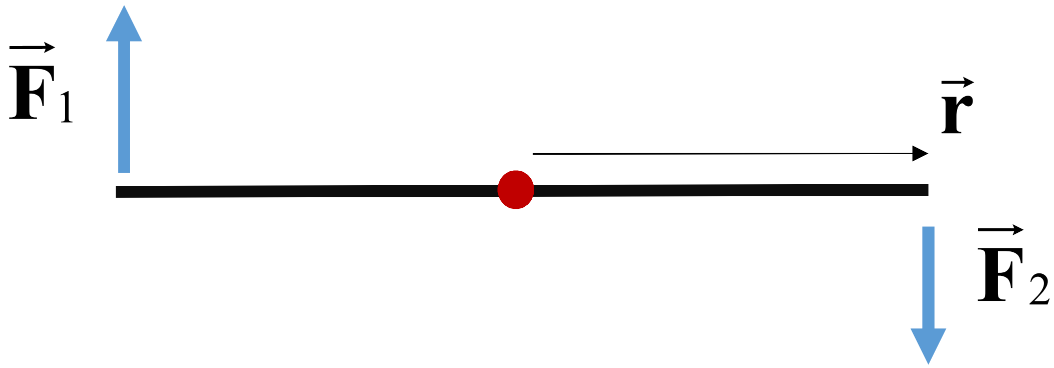
Loi 3

$$\vec{\mathbf{F}}_{BA} = -\vec{\mathbf{F}}_{AB}$$

Forces de même origine, appliquées sur des corps différents (voir plus loin)

Combinées aux relations, $\vec{\mathbf{a}}(t) = \dfrac{d\vec{\mathbf{v}}(t)}{dt}$, $\vec{\mathbf{v}}(t) = \dfrac{d\vec{\mathbf{r}}(t)}{dt}$ on a maintenant toutes les bases de la mécanique du point matériel.

Note: plus tard , on va définir un deuxième concept essentiel: le moment de force (ou couple)



On voit que la force résultante est ici zéro ($\left\|\vec{\mathbf{F}}_1\right\| = \left\|\vec{\mathbf{F}}_2\right\|$) et pourtant le corps va se mettre en mouvement – il va tourner.

On défini le moment de force comme $\boxed{\vec{\mathbf{M}} = \vec{\mathbf{r}} \times \vec{\mathbf{F}}}$

Pour qu'un corps soit en équilibre statique, il faut aussi que la résultante de moments appliqués sur ce corps soit zéro. Cette notion de moment demande de prendre en compte un longueur – ceci est donc une anticipation d'un concept qui reviendra plus tard – cours 10 …

Agenda Cours 2

1. Hypothèse de la **mécanique du point**
2. Concept de **force**
3. Les **lois de Newton**
4. La **gravitation** (partie I)
5. **Autres types de force**
6. **Applications** (mécanique du point)

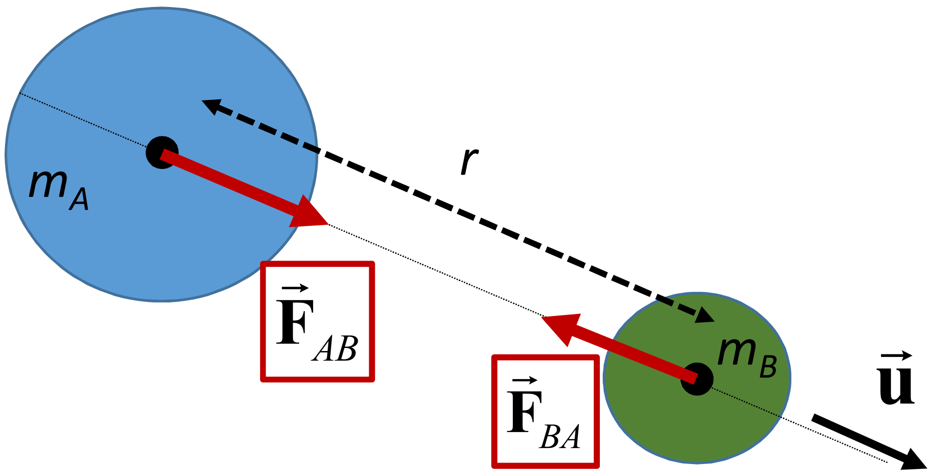
On doit maintenant regarder plus précisément aux types de force existant dans la nature pour appliquer les lois vues avant

Gravitation (I)

La loi de gravitation universelle décrit la direction et l'intensité de la force d'attraction qui agit entre deux corps de masse m_A et m_B. Cette varie à l'inverse du carré de la distance r et est dirigée.

$$\vec{\mathbf{F}}_{BA} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB}$$

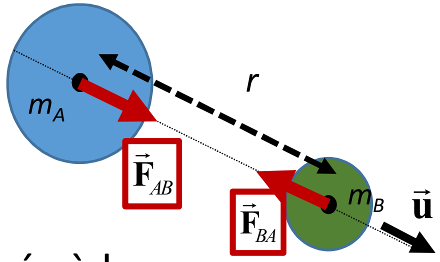
$$\vec{\mathbf{F}}_{AB} = G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB}$$



avec

- $\vec{\mathbf{F}}_{BA}$ la force sur B due à la présence de A
- $\vec{\mathbf{u}}_{AB}$ un vecteur unitaire dirigé de la position A à la position de B
- G la constante de gravitation universelle égale à $6.67\ 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2kg^{-2}}$

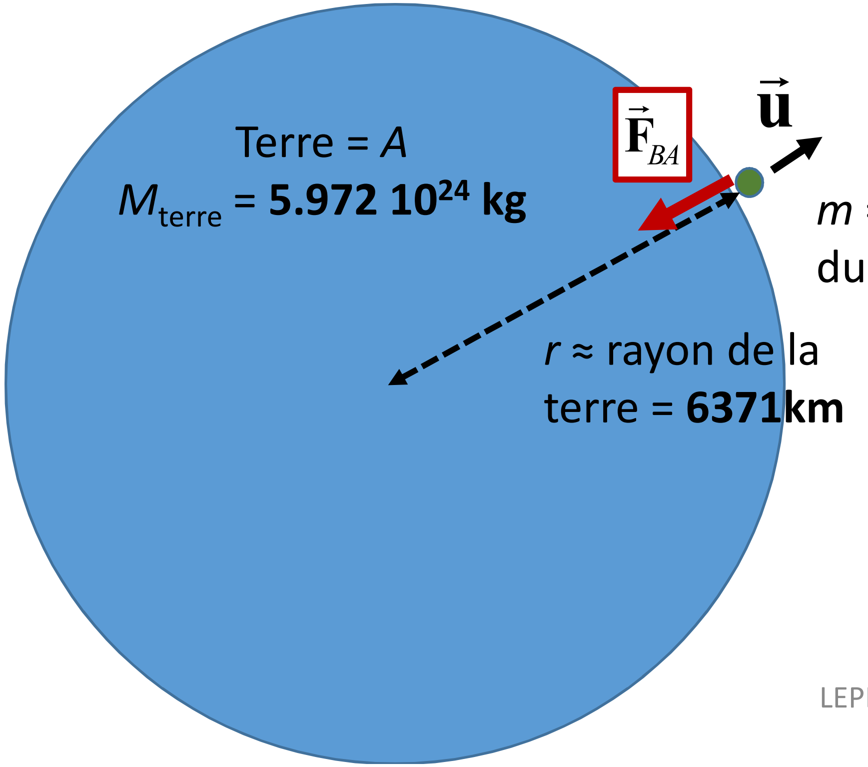
Gravitation (II)



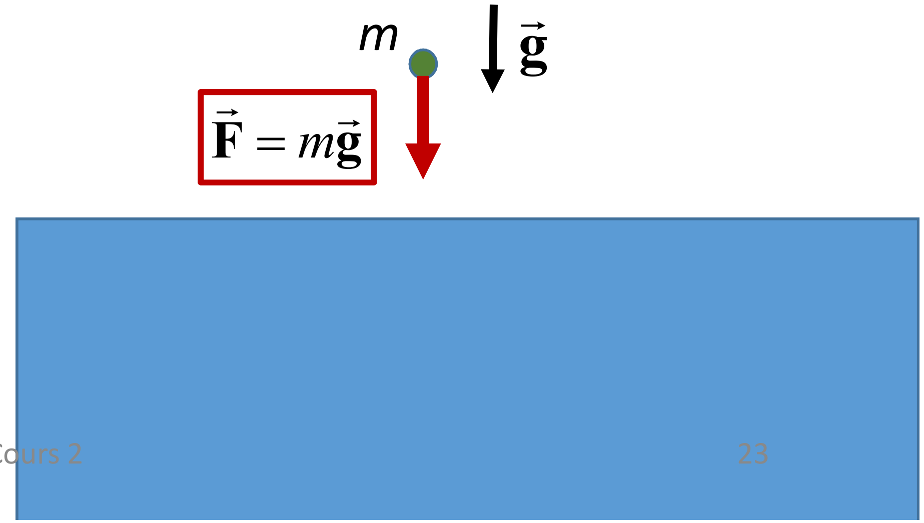
Appliquons la loi de gravitation pour les objets/corps localisés à la surface de la terre ou proche de la surface.

$$\vec{\mathbf{F}}_{BA} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB} \quad \Longleftrightarrow \quad \vec{\mathbf{F}}_{\substack{\text{sur la masse } m \\ \text{due à la terre}}} = -\underbrace{G\frac{M_{\text{terre}}}{r_{\text{terre}}^2}}_{g=9.81\text{m/s}^2} m\vec{\mathbf{u}} = -mg\vec{\mathbf{u}} = m\vec{\mathbf{g}}$$

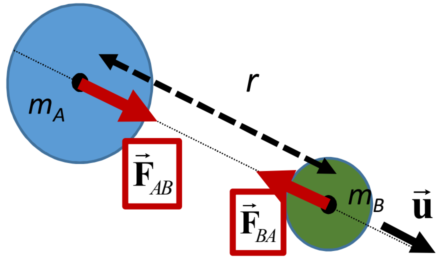
$G = 6.67\ 10^{-11}\ \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$



m = masse du corps



Gravitation (III)

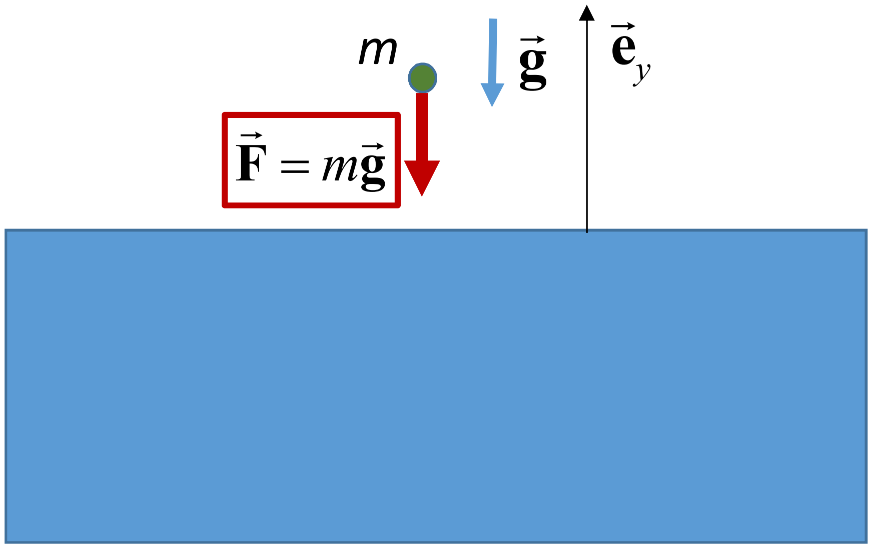


Conséquence pour les « habitants » de la terre.

$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{gravitation}} = m\vec{\mathbf{g}}$$

avec la loi de Newton

$$m\vec{\mathbf{a}}(t) = \Sigma\vec{\mathbf{F}}(t)$$

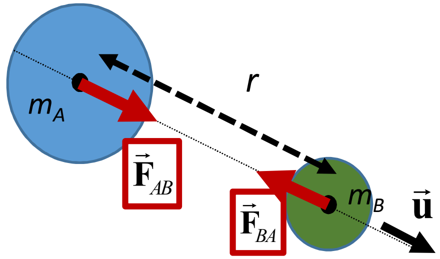


et le fait ici qu'une seule force agit (gravitation), on trouve que l'accélération $\vec{a}(t)$ agissant sur le corps est une accélération constante:

$$m\vec{\mathbf{a}}(t) = m\vec{\mathbf{g}} \Leftrightarrow \vec{\mathbf{a}} = \vec{\mathbf{g}}$$

et donc

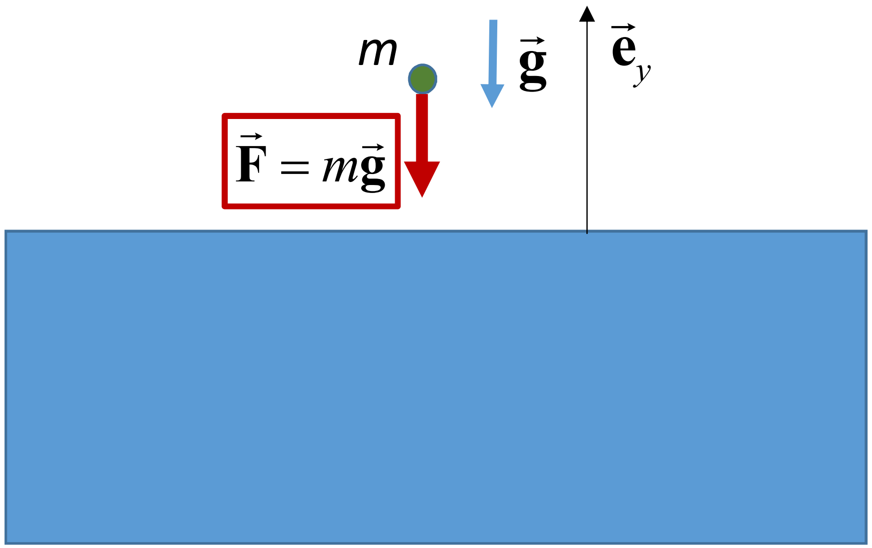
$$\vec{\mathbf{a}}(t) = a_x(t)\vec{\mathbf{e}}_x + a_y(t)\vec{\mathbf{e}}_y + a_z(t)\vec{\mathbf{e}}_z$$
$$= 0\vec{\mathbf{e}}_x + -g\vec{\mathbf{e}}_y + 0\vec{\mathbf{e}}_z$$
$$\text{ou} \quad \vec{\mathbf{a}}(t) : \begin{bmatrix} 0 \\ -g \\ 0 \end{bmatrix}$$



Gravitation (IV)

Conséquence pour les « habitants » de la terre.

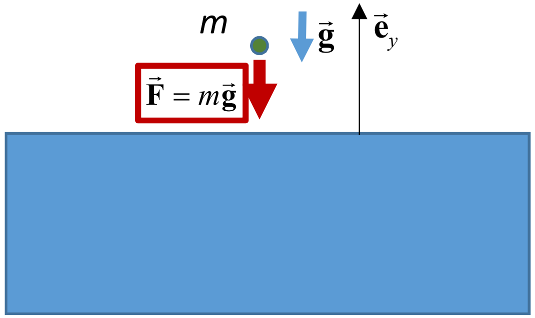
Comme l'accélération de la pesanteur (de la gravitation) $\vec{g}$ est une constante, le mouvement correspondant à une chute libre est un MRUA.



$$\vec{\mathbf{a}}(t) : \begin{bmatrix} 0 \\ -g \\ 0 \end{bmatrix}$$

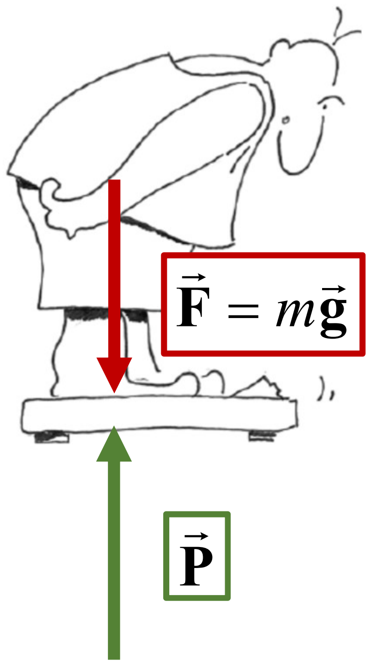
Gravitation (V)

Conséquence pour les « habitants » de la terre.



La **masse** *m* est la masse de tous les atomes du corps et elle ne varie pas (dans la limite de vitesses non relativistes) si aucune matière n'est perdue.

Le **poids** $\vec{\mathrm{P}}$ est une force qui correspond la masse perçue à travers la force de gravité. Le poids, c'est donc la force d'attraction de la terre *mg*. Le poids varie d'une planète à l'autre – le poids est « apparent ».

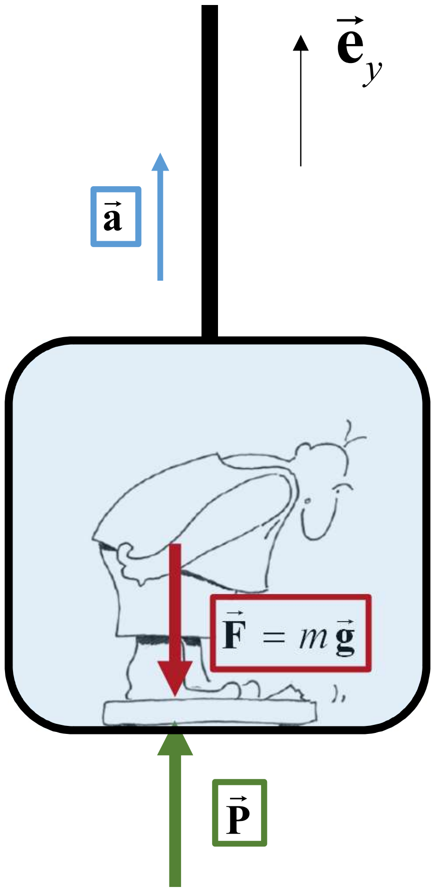


$$\vec{\mathbf{F}} + \vec{\mathbf{P}} = 0$$

Immobile sur une balance, cette dernière vous pousse avec une force exactement égale à la force de gravité (sinon, vous seriez en mouvement). C'est cette force de la balance qui fournit la mesure du poids (apparent)

Gravitation (VI)

Conséquence pour les « habitants » de la terre.



On place maintenant sa balance dans un ascenseur; l'ascenseur commence à monter avec une vitesse qui varie de zéro à une vitesse maximale. Cela veut donc dire que la cage d'ascenseur subit une accélération a positive (jusqu'à atteindre une vitesse constante) et la résultante des forces sur la balance n'est pas égale à zéro pendant ce temps (loi de Newton !)

$$m\vec{\mathbf{a}} = \vec{\mathbf{F}}_{gravité} + \vec{\mathbf{P}}$$

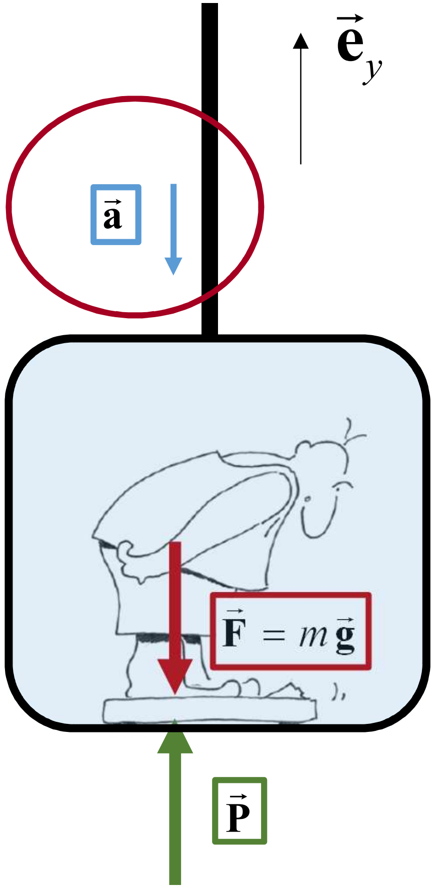
$$\Leftrightarrow \vec{\mathbf{P}} = m\vec{\mathbf{a}} - m\vec{\mathbf{g}}$$

$$P_y = ma_y + mg = m\left(a_y + g\right)$$

Dans une accélération ascensionnelle, on voit que le poids apparent mesuré par la balance est plus élevé (c'est bien la sensation qu'on a quand l'ascenseur se met à monter).

Gravitation (VI bis)

Conséquence pour les « habitants » de la terre.



On place maintenant sa balance dans un ascenseur; l'ascenseur commence à descendre avec une vitesse qui varie de zéro à une vitesse maximale. Cela veut donc dire que la cage d'ascenseur subit une accélération a négative (jusqu'à atteindre une vitesse constante) et la résultante des forces sur la balance n'est pas égale à zéro pendant ce temps (loi de Newton !)

$$m\vec{\mathbf{a}} = \vec{\mathbf{F}}_{gravité} + \vec{\mathbf{P}}$$

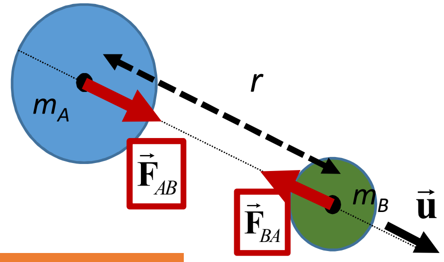
$$\Leftrightarrow \vec{\mathbf{P}} = m\vec{\mathbf{a}} - m\vec{\mathbf{g}}$$

Négatif !

$$P_y = ma_y + mg = m\left(a_y + g\right)$$

Avec une accélération négative, on voit que le poids apparent mesuré par la balance est plus faible (c'est bien la sensation qu'on a quand l'ascenseur se met à descendre).

Gravitation (VII)

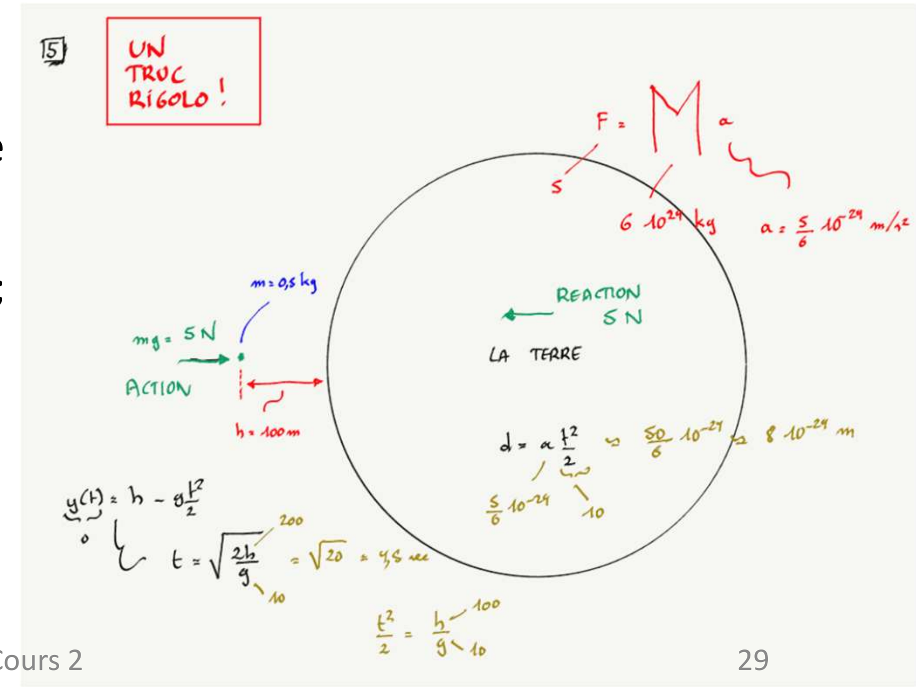


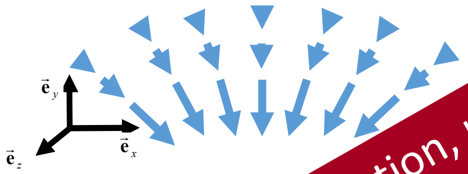
En vertu de la troisième loi de Newton, on a bien que les deux forces $\vec{\mathbf{F}}_{BA}$=-$\vec{\mathbf{F}}_{AB}$ forment une **paire action-réaction.**

$$\vec{\mathbf{F}}_{BA} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB}$$

$$\vec{\mathbf{F}}_{AB} = G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB}$$

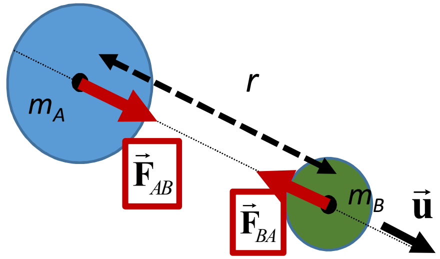
- Plaçons un oiseau de 500 g à 100 m de la surface de la terre. *Believe it or not,* il va exercer une force d'attraction sur la terre égale à la force que la terre exerce sur lui (5N) !
- L'accélération imposée à l'oiseau = g = 10 m/s^2; l'accélération imposée à la terre due à cette interaction est $F/M_{terre} \approx 10^{-29}$ m/s^2.
- En chute libre, l'oiseau retombera en 4.5 s; pendant ce temps, la terre se sera déplacée vers l'oiseau de ≈ 10^{-25} m du à cette interaction



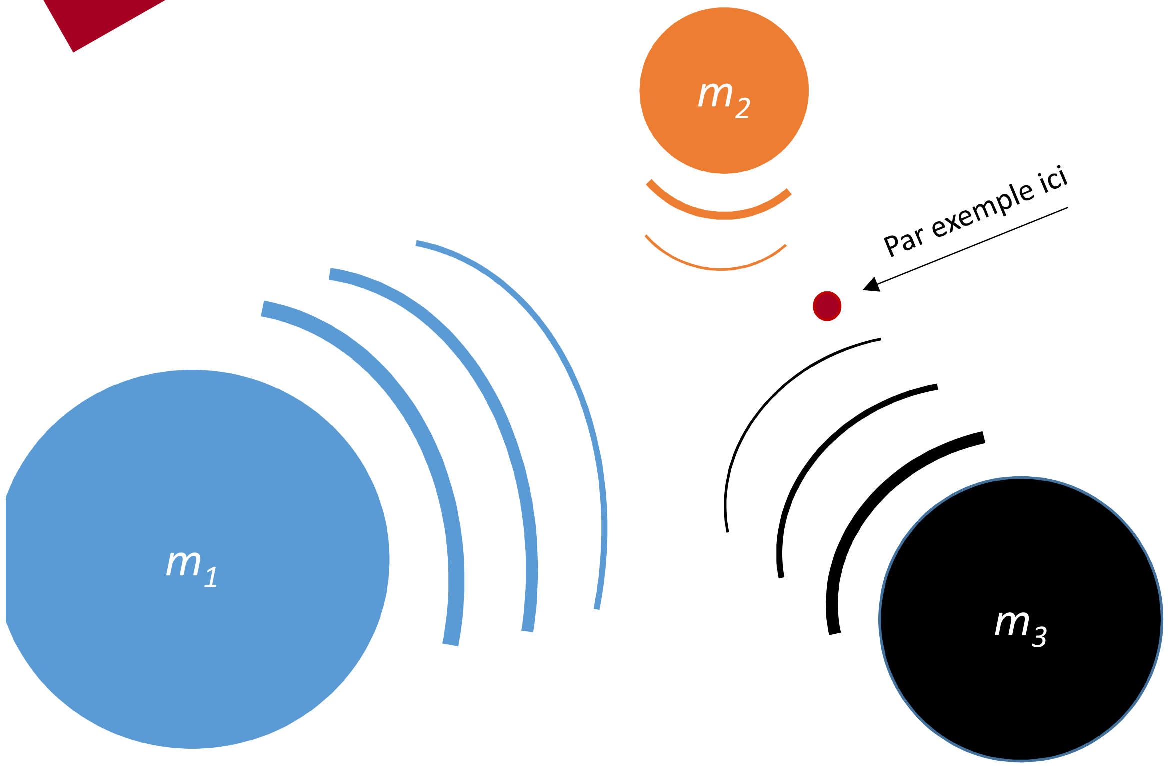


Pour votre information, mais un peu trop avancé à ce stade

Gravitation (VIII)



Le concept de champ gravitationnel



On définit la force de gravitation par unité de masse $\vec{\mathbf{f}}(x,y,z,t)$ qui va agir sur une masse localisée à une position *x, y, z* au temps *t* et soumise au champ de force de toute une série de masses m_i localisées à différentes positions. En la connaissant en chaque point et à chaque instant, on peut calculer la force en multipliant par la masse correspondante. C'est le champ gravitationnel.

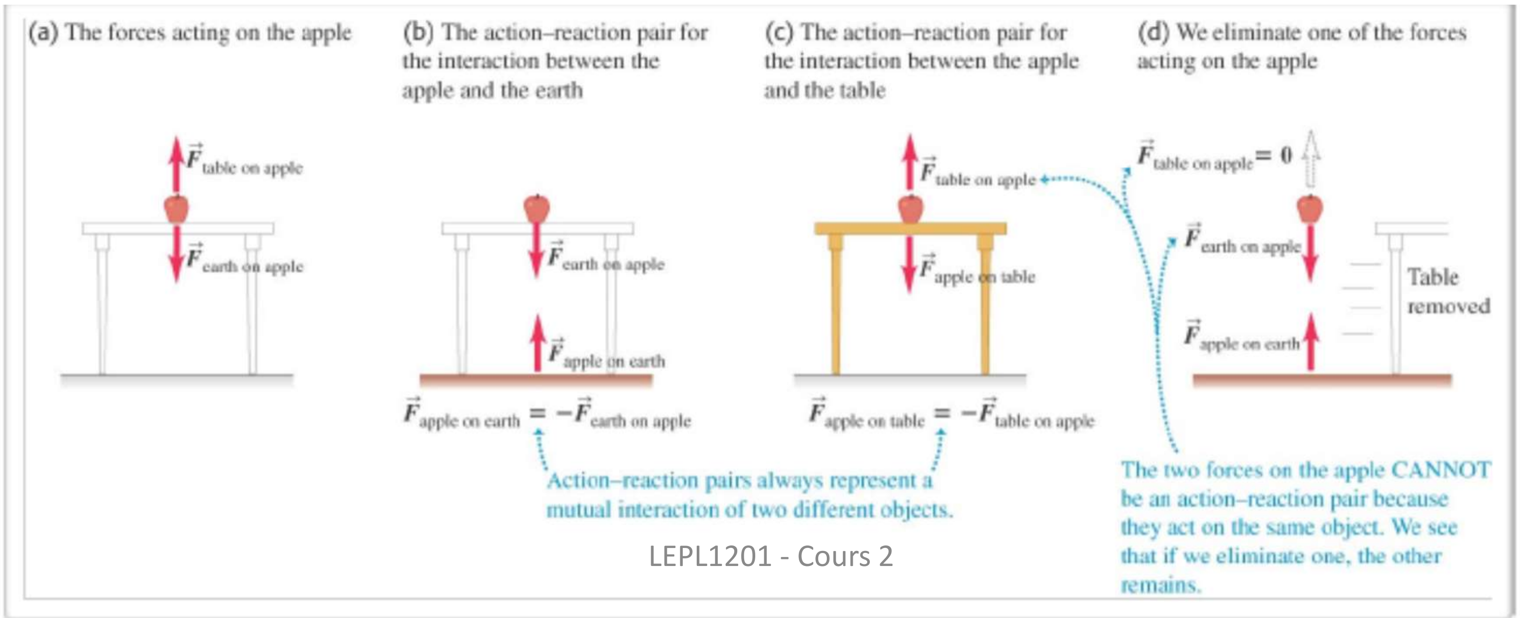
$$\vec{\mathbf{f}}(x,y,z,t) = -G\sum_i \frac{m_i}{r_i(x,y,z,t)^2}\vec{\mathbf{u}}_i(x,y,z,t)$$

Retour sur la troisième loi de Newton

Si un corps *A* exerce une force sur un corps *B* (l'action) notée $\vec{\mathbf{F}}_{BA}$– soit par contact soit à distance - alors le corps B exerce une force sur le corps A (la réaction) notée $\vec{\mathbf{F}}_{AB}$. Ces deux forces ont la même amplitude/intensité mais sont de direction opposée.

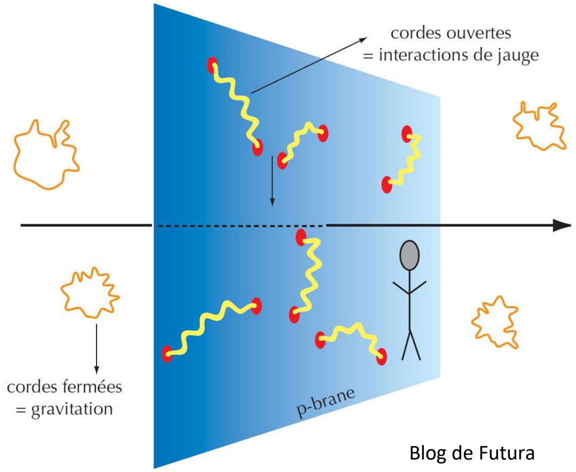
Ces deux forces agissent sur des corps différents.

Cette loi indique qu'une force n'est jamais isolées – les forces vont toujours par paires et forment des paires d'action-réaction. Mais deux forces de même norme et de sens opposé ne forment pas nécessairement une paire d'action réaction. Il faut qu'elles aient la même nature et agissent sur des corps différents



Ca marche comment la gravitation en fait ?
Petit tour du côté de Wikipedia

Dans les trois autres interactions fondamentales, les messagers/transporteurs de l'interaction ont été identifiés et détectés expérimentalement, mais pour la gravitation le doute demeure. Le médiateur qui créerait l'interaction est appelée ***graviton.***



Blog de Futura

Le graviton ne doit pas être confondu avec le boson de Higgs : le premier a été postulé par la théorie quantique de Bluck pour expliquer la propagation spatiale de la gravitation, tandis que le second apparaît dans le modèle standard (lequel s'appuie notamment sur la théorie quantique, mais aussi sur la relativité restreinte) pour expliquer pourquoi certaines particules possèdent une masse et d'autres pas.

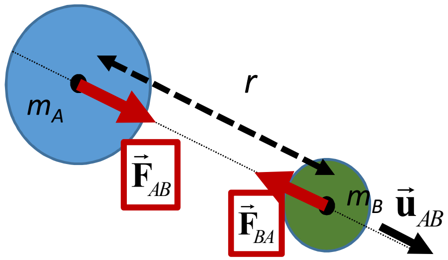
Agenda Cours 2

1. Hypothèse de la **mécanique du point**
2. Concept de **force**
3. Les **lois de Newton**
4. La **gravitation** (partie I)
5. **Autres types de force**
6. **Applications** (mécanique du point)

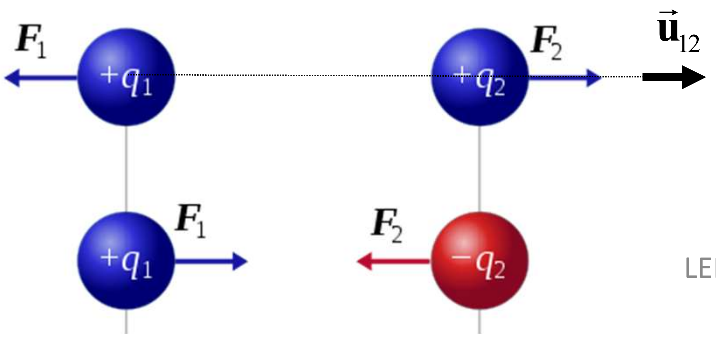
Les forces à distance

La force de **gravitation** entre deux masses m_A et m_B est une **force à distance**, **uniquement attractive**, qui donne lieu à un **champ de force** (dans tout l'espace).

$$\vec{\mathbf{F}}_{BA} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB}$$



L'autre champ de force à distance est la force coulombienne entre deux charges q_1 et q_2, **répulsive ou attractive**, qui donne lieu à un **champ de force** (dans tout l'espace) – *voir cours 3*.



$$\vec{\mathbf{F}}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{12}$$

! Différence de signe quand on prend les mêmes conventions

avec ε_0 la permittivité du vide = 8.854 10^{-12} C/V·m

Les forces à distance

Dans Young et Freedman

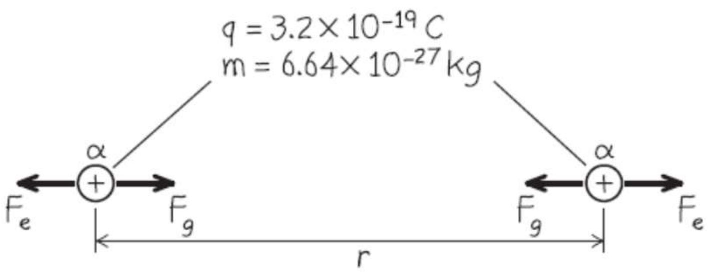
Example 21.1 **Electric force versus gravitational force**

An α particle (the nucleus of a helium atom) has mass $m = 6.64 \times 10^{-27}$ kg and charge $q = +2e = 3.2 \times 10^{-19}$ C. Compare the magnitude of the electric repulsion between two α ("alpha") particles with that of the gravitational attraction between them.

SOLUTION

IDENTIFY and SET UP: This problem involves Newton's law for the gravitational force F_g between particles (see Section 13.1) and Coulomb's law for the electric force F_e between point charges. To compare these forces, we make our target variable the ratio F_e/F_g. We use Eq. (21.2) for F_e and Eq. (13.1) for F_g.

21.11 Our sketch for this problem.



EXECUTE: Figure 21.11 shows our sketch. From Eqs. (21.2) and (13.1),

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{r^2} \qquad F_g = G\frac{m^2}{r^2}$$

These are both inverse-square forces, so the r^2 factors cancel when we take the ratio:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G}\frac{q^2}{m^2}$$

$$= \frac{9.0 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}}{6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2}}\frac{(3.2 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})^2}{(6.64 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg})^2}$$

$$= 3.1 \times 10^{35}$$

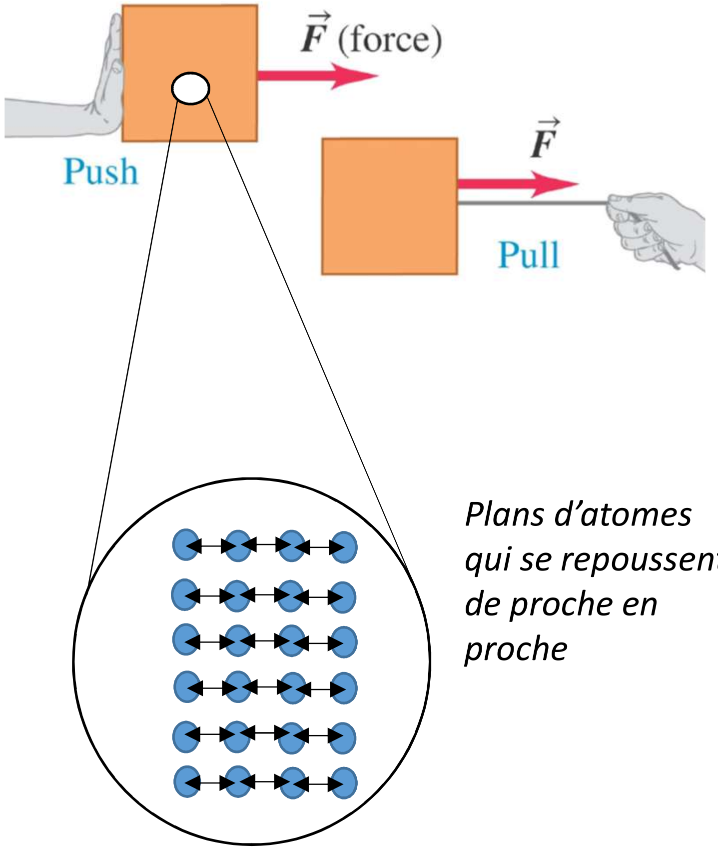
EVALUATE: This astonishingly large number shows that the gravitational force in this situation is completely negligible in comparison to the electric force. This is always true for interactions of atomic and subnuclear particles. But within objects the size of a person or a planet, the positive and negative charges are nearly equal in magnitude, and the net electric force is usually much *smaller* than the gravitational force.

Bel exemple montrant que pour des particules chargées, l'attraction gravitationnelle est des dizaines d'ordre de grandeur inférieure aux forces électriques !

Les forces de contact

A côté des forces de gravitation et électromagnétiques (à distance), on a aussi des **forces de contact**. Ces forces sont localisées au niveau du corps soumis à la force. Ces forces sont exercées par exemple par une masse posée sur une autre ou par frottement avec un autre solide, liquide ou gas, et souvent transmises d'un corps à l'autre via des mécanismes (cordes, ressorts, bras, etc). Nous en verrons plusieurs dans les cours à venir …

On parle de force de « **poussée/pression** » (push) ou de « **traction** » (pull). Physiquement, tirer sur un corps met en jeu les forces attractives coulombiennes qui transmettent de proche en proche la force; tandis que dans une poussée, on rapproche les atomes des uns et des autres, et on met en jeu les forces répulsives. Mais, en pratique, il n'est pas nécessaire de faire ce lien avec la physique du phénomène!



Plans d'atomes qui se repoussent de proche en proche

Ordre de grandeur de forces

Sun's gravitational force on the earth	3.5×10^{22} N
Thrust of a space shuttle during launch	3.1×10^{7} N
Weight of a large blue whale	1.9×10^{6} N
Maximum pulling force of a locomotive	8.9×10^{5} N
Weight of a 250-lb linebacker	1.1×10^{3} N
Weight of a medium apple	1 N
Weight of smallest insect eggs	2×10^{-6} N
Electric attraction between the proton and the electron in a hydrogen atom	8.2×10^{-8} N
Weight of a very small bacterium	1×10^{-18} N
Weight of a hydrogen atom	1.6×10^{-26} N
Weight of an electron	8.9×10^{-30} N
Gravitational attraction between the proton and the electron in a hydrogen atom	3.6×10^{-47} N

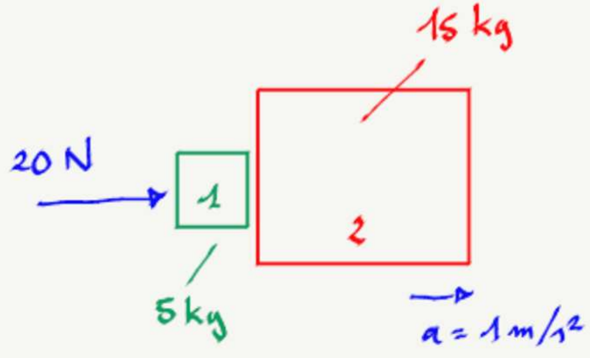
Agenda Cours 2

1. Hypothèse de la **mécanique du point**
2. Concept de **force**
3. Les **lois de Newton**
4. La **gravitation** (partie I)
5. **Autres types de force**
6. **Applications** (mécanique du point)

Application avec des forces de contact – action/réaction

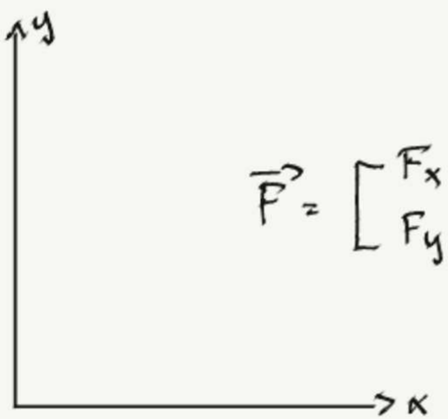
4

EXEMPLE



$$\underbrace{F}_{20} = (\underbrace{m_1}_{5} + \underbrace{m_2}_{15})\, a$$

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ 0 \end{bmatrix}$$



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

$$\begin{bmatrix} 20 \\ 0 \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix}$$

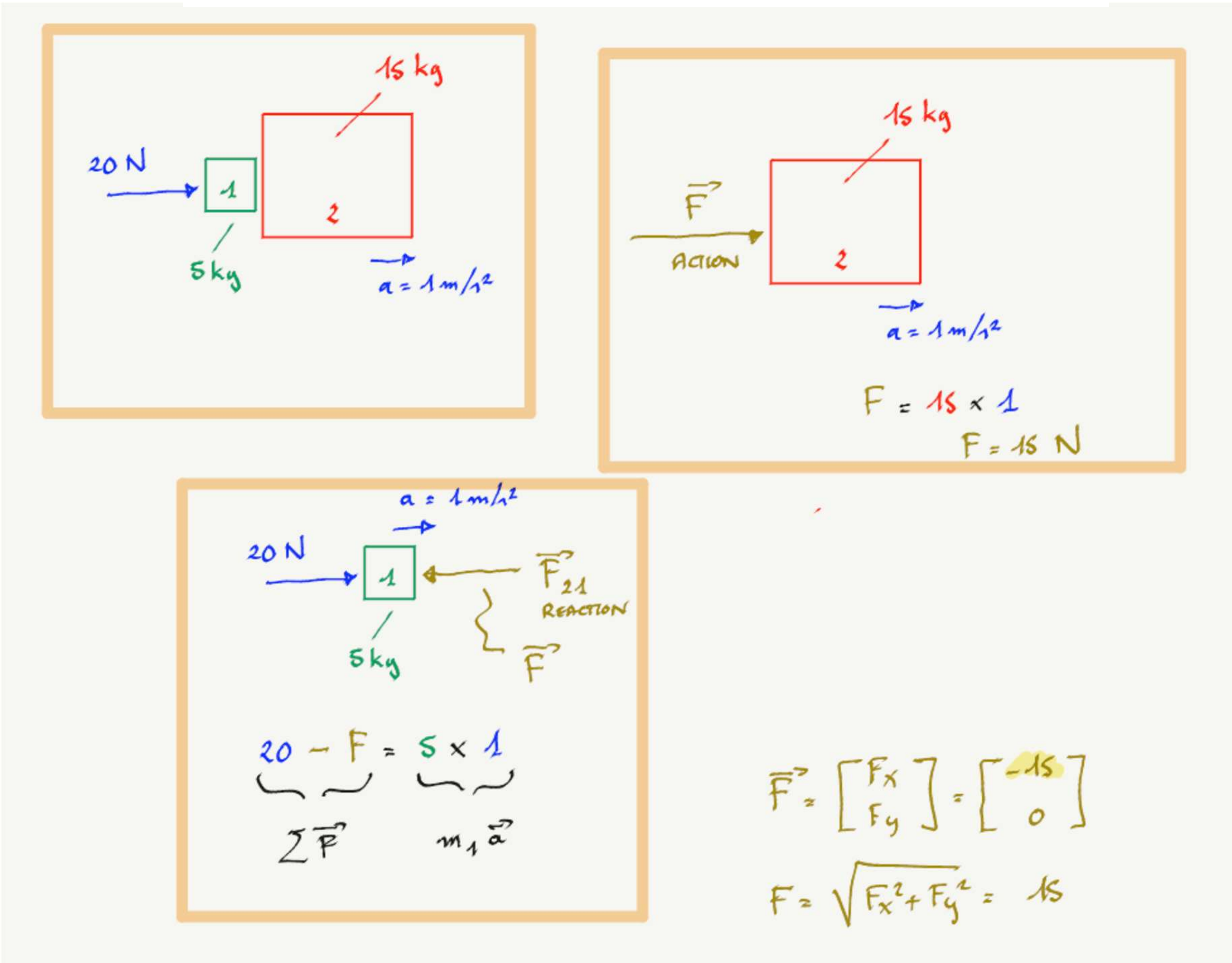
$$\begin{cases} 20 = m\, a_x \\ 0 = m\, a_y \end{cases}$$

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 1$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 20$$

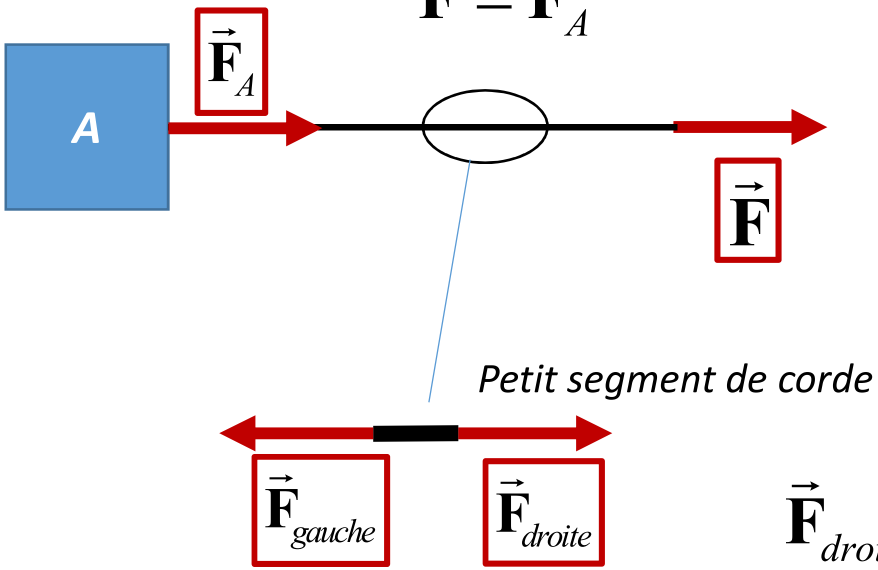
Application avec des forces de contact – action/réaction



Cordes (cables, fils) et poulies

Une corde permet de transmettre une force de traction (de contact) de proche en proche, et seulement une force de traction. On l'idéalise ici en la prenant infiniment fine, de masse négligeable et sans capacité d'allongement.

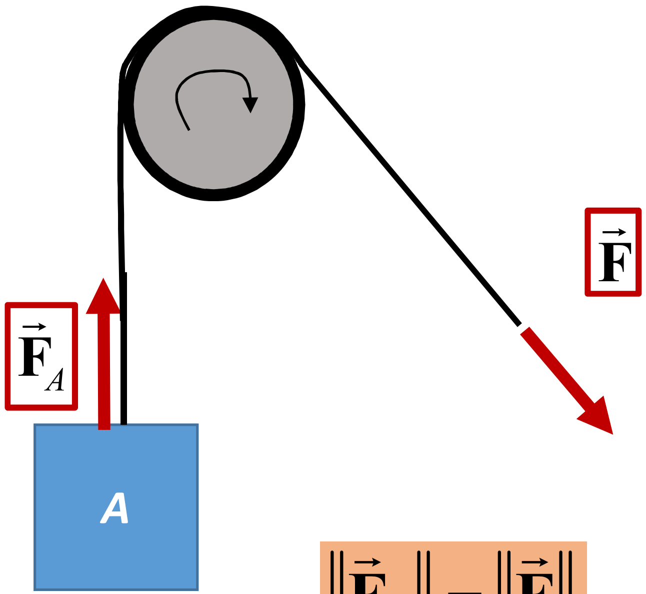
$$\vec{\mathbf{F}} = \vec{\mathbf{F}}_A$$



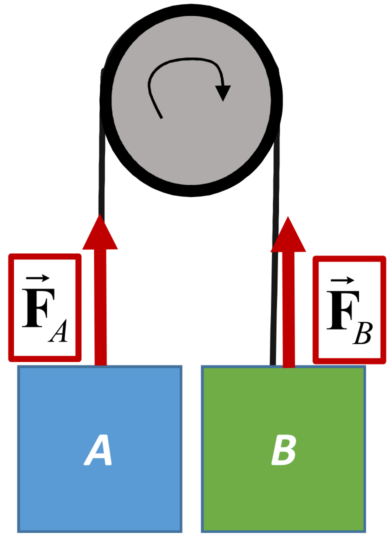
$$\vec{\mathbf{F}}_{droite} = -\vec{\mathbf{F}}_{gauche}$$

Cordes (cables, fils) et poulies

Une poulie permet de changer l’orientation de la force qui est transmise en gardant la norme constante (si pas de friction)



$$\left\|\vec{\mathbf{F}}_A\right\| = \left\|\vec{\mathbf{F}}\right\|$$

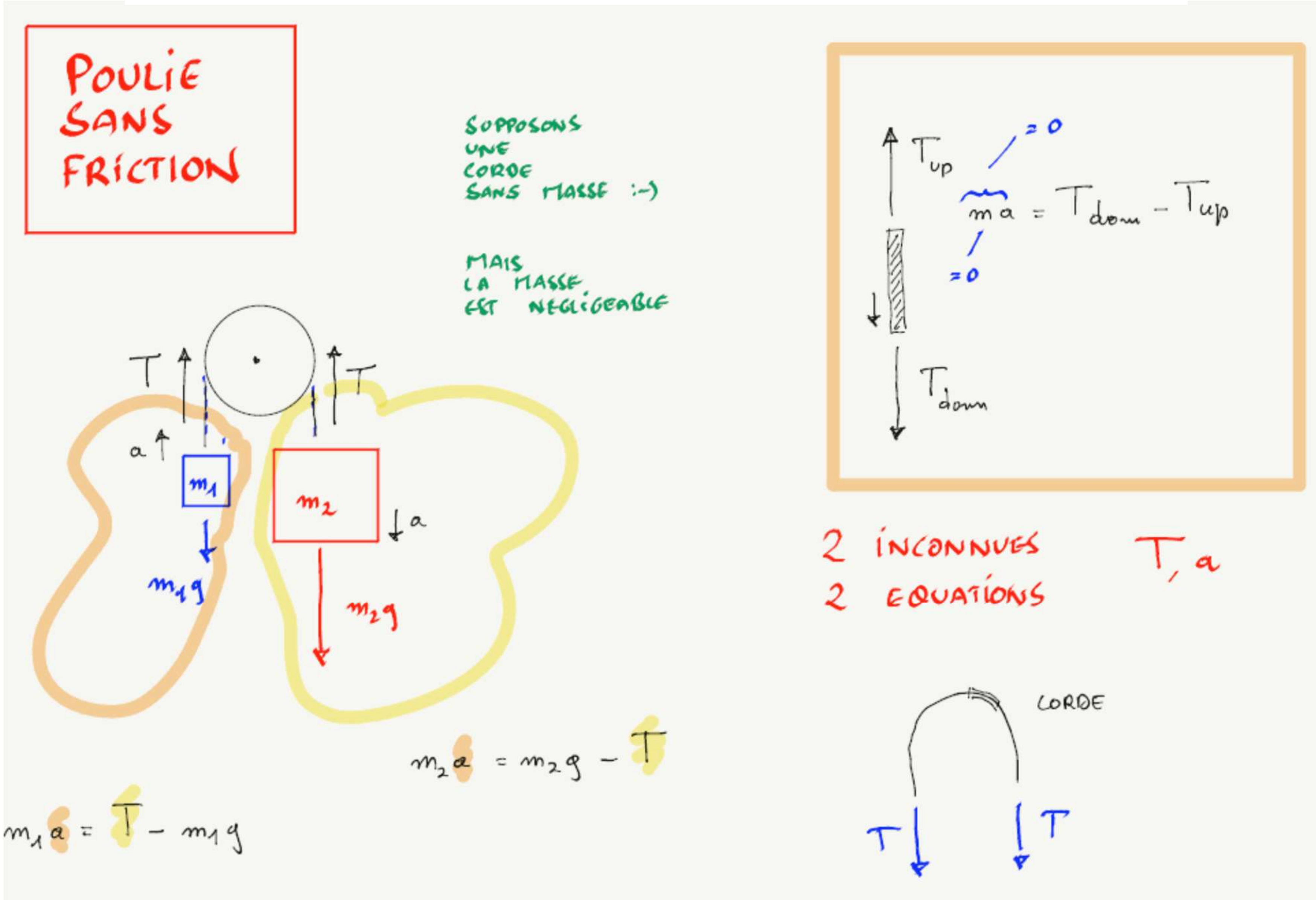


Dans ce cas particulier, les vecteurs force sont les mêmes

$$\vec{\mathbf{F}}_A = \vec{\mathbf{F}}_B$$

Cordes (cables, fils) et poulies

Exemple avec deux masses différentes (problème 1D)



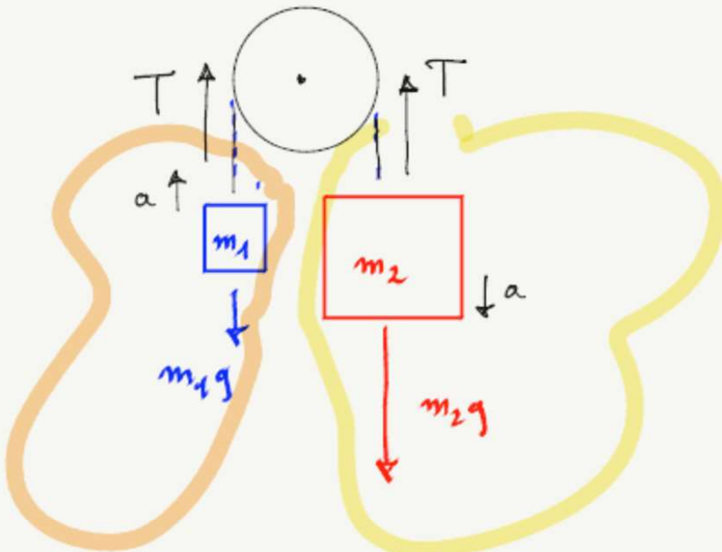
Cordes (cables, fils) et poulies

Exemple avec deux masses différentes (problème 1D)

2 EQUATIONS
2 INCONNUES $a \quad T$

$$\begin{cases} m_1 a = T - m_1 g \\ m_2 a = m_2 g - T \end{cases} \longrightarrow T = m_2 g - m_2 a = m_2 (g-a)$$

$$T = m_1 a + m_1 g = m_1 (a+g)$$



$$\overset{-m_1 g}{m_2 a +} \; m_1(a+g) = m_2(g-a) \overset{-m_1 g}{+ m_2 a}$$

$$a(m_1+m_2) = g(m_2-m_1)$$

$$\boxed{a = g \frac{(m_2 - m_1)}{(m_2 + m_1)}}$$

$$m_2 a = m_2 g - T$$

$$m_1 a = T - m_1 g$$

Cordes (cables, fils) et poulies

Exemple avec deux masses différentes (problème 1D)

$$\boxed{a = g\,\frac{(m_2 - m_1)}{(m_2 + m_1)}}$$

$$m_2 a = m_2 g - T$$
$$m_1 a = T - m_1 g$$

$$\boxed{T = \frac{2g\, m_1 m_2}{(m_2 + m_1)}}$$

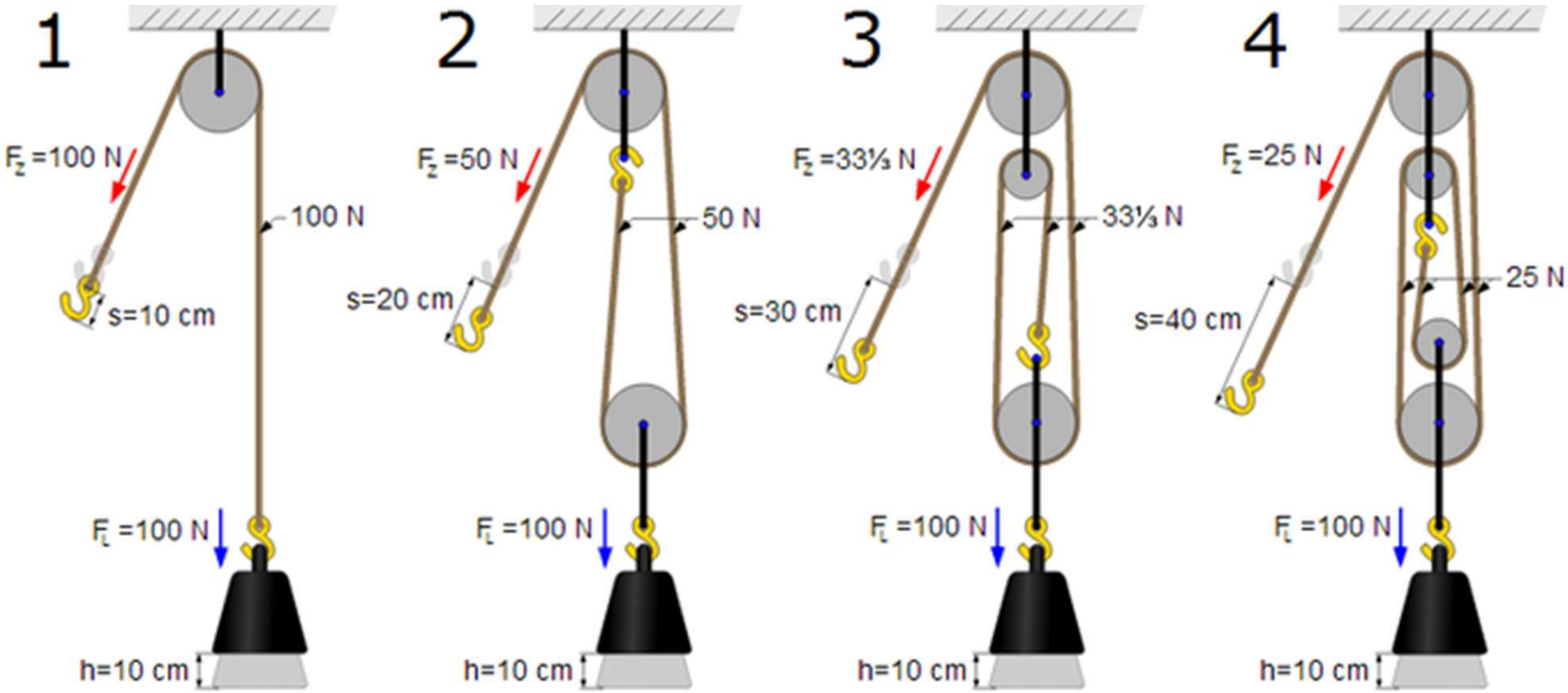
$$m_2\, g\frac{(m_2 - m_1)}{(m_2 + m_1)} = \underbrace{m_2 g}_{\frac{m_2 g\,(m_2 + m_1)}{(m_2 + m_1)}} - \frac{2g\, m_1 m_2}{(m_2 + m_1)}$$

IT WORKS !

$$g\,\cancel{m_2} m_2 - \cancel{m_2 g\, m_1} = g\,\cancel{m_2} m_2 + \underbrace{g\, m_2 m_1 - 2g\, m_1 m_2}_{-\cancel{m_2 g\, m_1}}$$

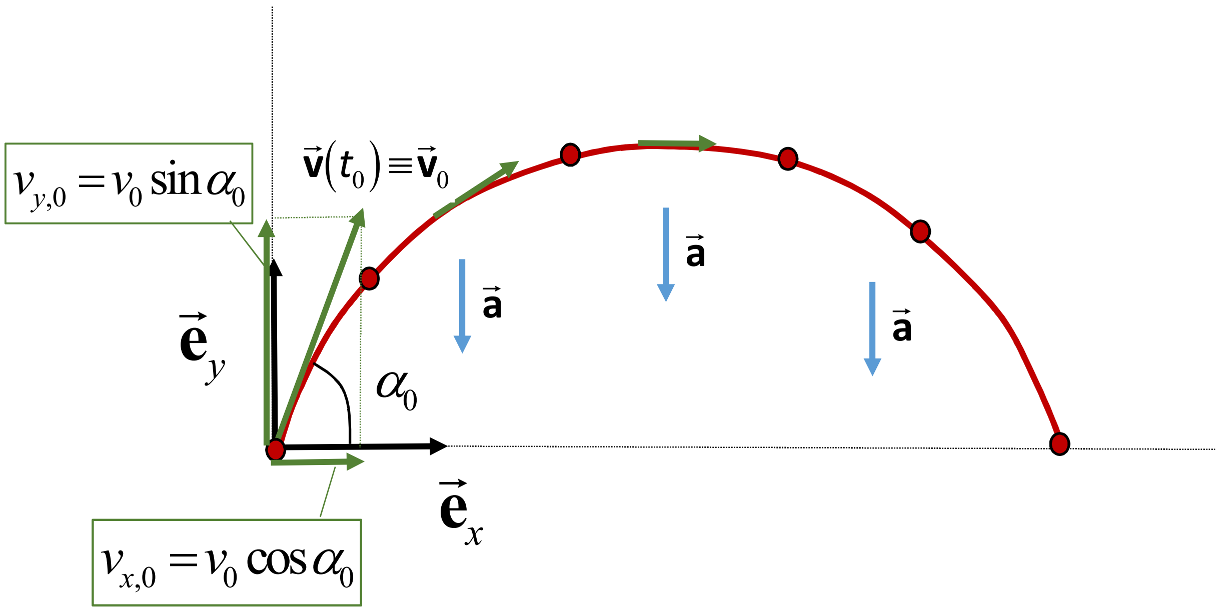
Cordes (cables, fils) et poulies

Intérêt des jeux de poulies pour soulever de grandes masses



Retour sur le problème du projectile – premier exemple de problème de dynamique.

Un corps est soumis à la gravitation, et seulement à la gravitation – on peut calculer son mouvement sans connaître sa masse …



$$\vec{\mathbf{a}}(t) : \begin{bmatrix} 0 \\ -g \end{bmatrix}$$

$$\vec{\mathbf{r}}(t) : \begin{bmatrix} \underbrace{x_0}_{\text{ici } 0} + v_{x,0}t \\ \underbrace{y_0}_{\text{ici } 0} + v_{y,0}t - \dfrac{gt^2}{2} \end{bmatrix}$$

$$\vec{\mathbf{v}}(t) : \begin{bmatrix} v_{x,0} \\ v_{y,0} - gt \end{bmatrix}$$

Synthèse lois de Newton & gravitation (I)

- Jusqu'ici seulement **mécanique du point**
- **La force est un vecteur**
  (avec une direction et une amplitude)

$$\left.\begin{aligned}\vec{\mathbf{F}} &= \vec{\mathbf{F}}_x + \vec{\mathbf{F}}_y + \vec{\mathbf{F}}_z \\ &= F_x\vec{\mathbf{e}}_x + F_y\vec{\mathbf{e}}_y + F_z\vec{\mathbf{e}}_z\end{aligned}\right\} \quad \vec{\mathbf{F}} : \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$$

- Ce qui compte, c'est la résultante de toutes les forces agissant sur le point matériel

- **Loi de Newton** (2) $m\vec{\mathbf{a}}(t) = \Sigma\vec{\mathbf{F}}(t)$ avec $\vec{\mathbf{F}}$ la résultante de toutes les forces)

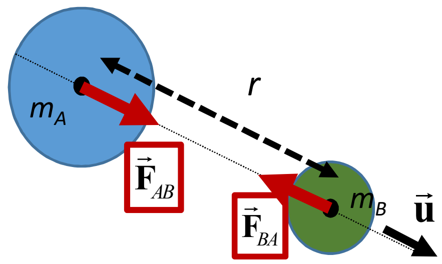
$$\vec{\mathbf{F}}_{BA} = -\vec{\mathbf{F}}_{AB}$$

(3)

Si résultante des forces est nulle, le corps conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme. (1)

- La **loi de gravitation universelle** :

$$\vec{\mathbf{F}}_{AB} = G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{\mathbf{u}}_{AB}$$



- Ne pas confondre **poids et masse**