

Cours préparatoires de Physique

Méthodo – Résolution d'exercices

Pierre-Xavier Marique
Département de Physique - ULiège



PLAN

1. Comment travailler efficacement ?
2. Comment résoudre un exercice de physique ?
3. Comment appréhender les QCM ?

PLAN

1. Comment travailler efficacement ?
2. Comment résoudre un exercice de physique ?
3. Comment appréhender les QCM ?

Taxonomie cognitive de Bloom

Prendre des décisions, défendre un point de vue, concevoir une idée ou un projet original, ...

Produire, créer, combiner des éléments, appliquer des critères...

Repérer des éléments, trouver des relations logiques, faire des liens, ...

Utiliser l'information, transférer la théorie à la pratique, ...

Dire avec ses propres mots, résumer, traduire, traiter l'information, ...

Se souvenir, mémoriser, reconnaître, ...

← EVALUATION

SYNTHESE

NIVEAU MINIMUM BAC₁

ANALYSE

NIVEAU EXAMEN
D'ENTREE

APPLICATION

COMPREHENSION

CONNAISSANCE

Taxonomie cognitive de Bloom

Prendre des décisions, défendre un point de vue, concevoir une idée ou un projet original, ...

Produire, créer, combiner des éléments, appliquer des critères...

Repérer des éléments, trouver des relations logiques, faire des liens, ...

Utiliser l'information, transférer la théorie à la pratique, ...

Dire avec ses propres mots, résumer, traduire, traiter l'information, ...

Se souvenir, mémoriser, reconnaître, ...

← EVALUATION

SYNTHESE

NIVEAU MINIMUM BAC₁

ANALYSE

NIVEAU EXAMEN
D'ENTREE

APPLICATION

COMPREHENSION

CONNAISSANCE

Apprendre par cœur ne suffit pas !

Taxonomie cognitive de Bloom

Prendre des décisions, défendre un point de vue, concevoir une idée ou un projet original, ...

Produire, créer, combiner des éléments, appliquer des critères...

Repérer des éléments, trouver des relations logiques, faire des liens, ...

Utiliser l'information, transférer la théorie à la pratique, ...

Dire avec ses propres mots, résumer, traduire, traiter l'information, ...

Se souvenir, mémoriser, reconnaître, ...

← EVALUATION

SYNTHESE

NIVEAU MINIMUM BAC₁

ANALYSE

NIVEAU EXAMEN
D'ENTREE

APPLICATION

COMPREHENSION

CONNAISSANCE

Regarder des résolutions d'exercice ne suffit pas !

Taxonomie cognitive de Bloom

Prendre des décisions, défendre un point de vue, concevoir une idée ou un projet original, ...

Produire, créer, combiner des éléments, appliquer des critères...

Repérer des éléments, trouver des relations logiques, faire des liens, ...

Utiliser l'information, transférer la théorie à la pratique, ...

Dire avec ses propres mots, résumer, traduire, traiter l'information, ...

Se souvenir, mémoriser, reconnaître, ...

← EVALUATION

SYNTHESE

NIVEAU MINIMUM BAC₁

ANALYSE

NIVEAU EXAMEN
D'ENTREE

APPLICATION

COMPREHENSION

CONNAISSANCE

Entraînement !!!

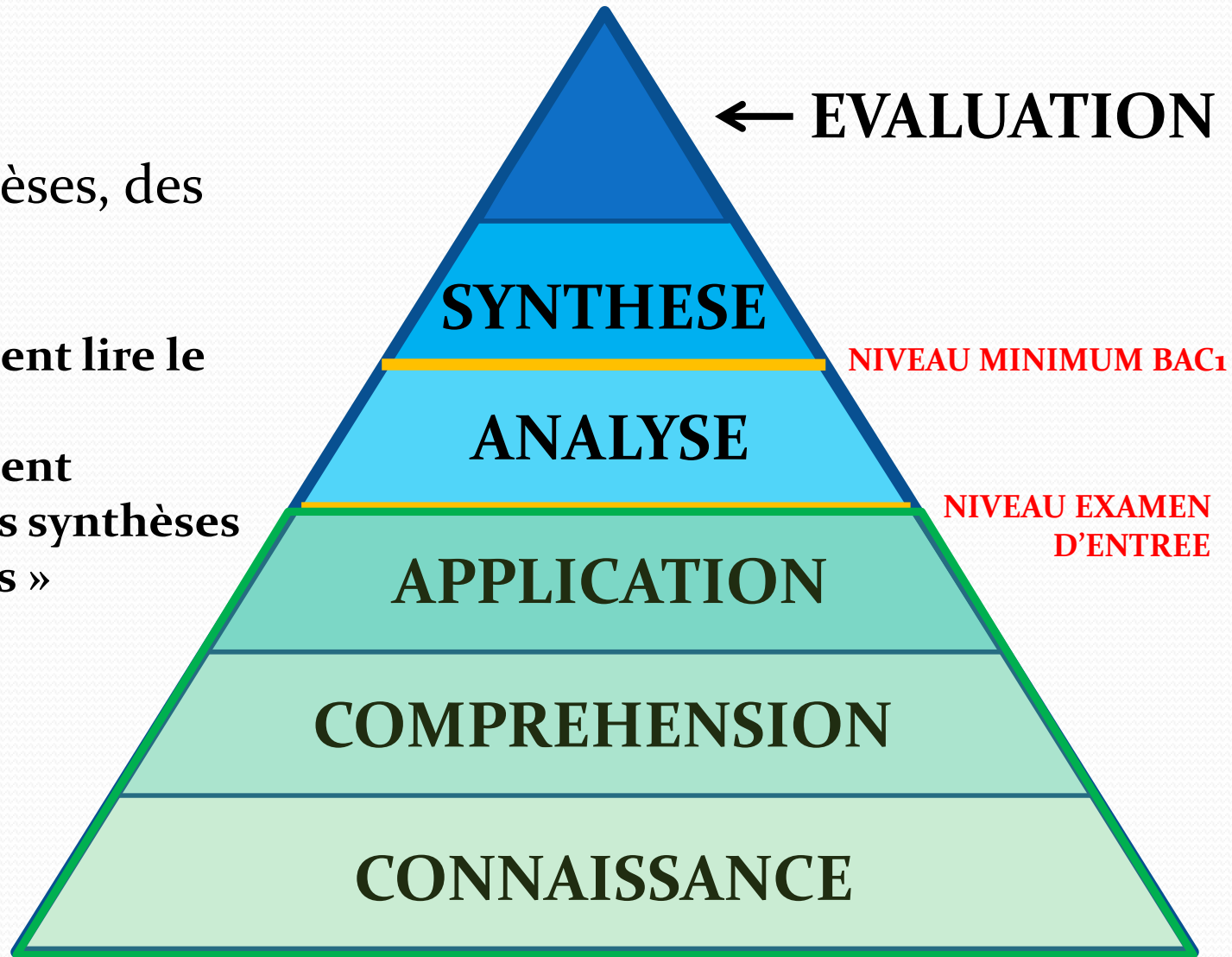
Taxonomie cognitive de Bloom

Il est conseillé de :

- Faire des synthèses, des liens, ...

⇒ Pas uniquement lire le cours

⇒ Pas uniquement reprendre des synthèses « toutes faites »

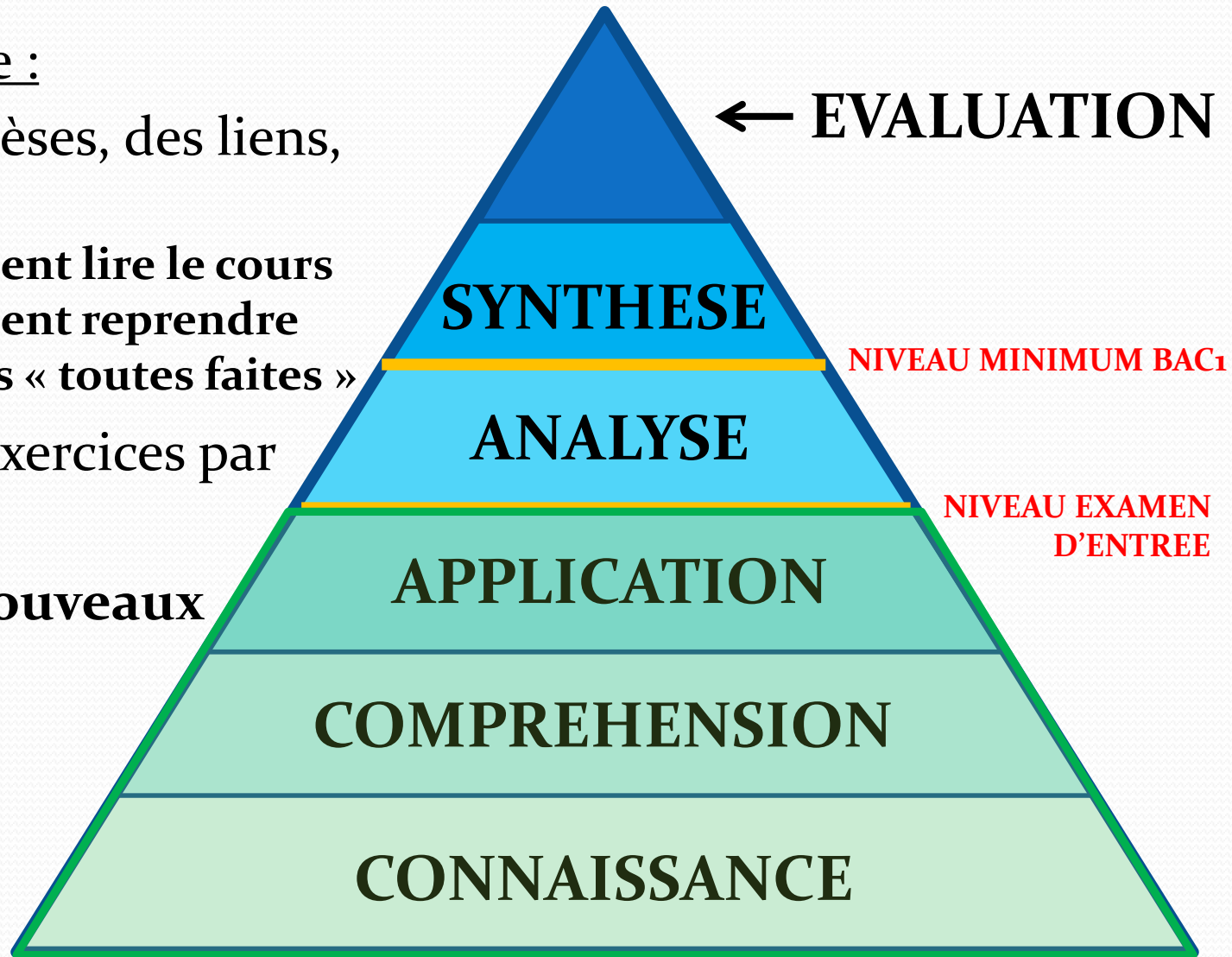


Entraînement !!!

Taxonomie cognitive de Bloom

Il est conseillé de :

- Faire des synthèses, des liens,
...
⇒ Pas uniquement lire le cours
⇒ Pas uniquement reprendre
des synthèses « toutes faites »
- Résoudre des exercices par
soi-même
- Résoudre de **nouveaux**
exercices

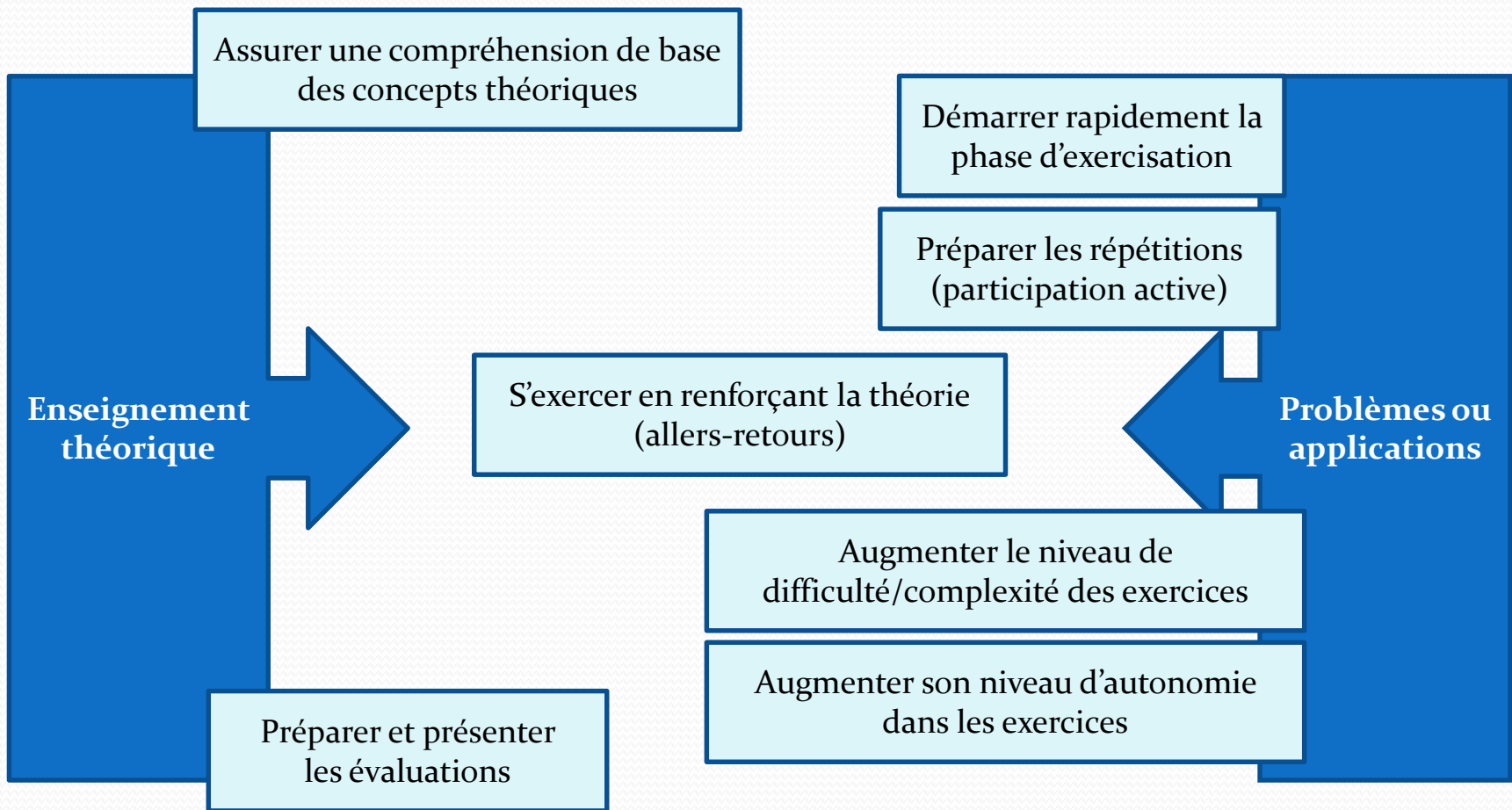


Entraînement !!!

En résumé...

- **Soyez acteur de votre formation !**
- **Pas de soucis à se planter !**

Lien théorie – exercice



Gestion des brouillons

$q_1 = q_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $d = 0,03 \text{ m}$
 $q_3 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

$B_0 = 2T/m$, $B_0 = 2T (P)$, $R \cdot I \cdot l = \gamma B_0$, $\omega = 2\pi f$

$E = 10V$, $C = 20 \mu F$, $\omega = 1000 \text{ rad/s}$, $Q = C \cdot V = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ A}$, $V = R \cdot I = 10 \text{ V}$

$I = \frac{Q}{C \cdot R} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 0,1 \text{ A}$

$E = 33V$, $C = 1 \cdot 10^{-3} \text{ F}$

$R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 10 \Omega$, $R_4 = 10 \Omega$, $R_5 = 10 \Omega$

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 50 \Omega$

$I = \frac{V}{R_T} = \frac{33}{50} = 0,66 \text{ A}$

$f_1 = 55 \cdot 10^6 \text{ Hz}$, $f_2 = \frac{f_1}{2} = 27,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{55 \cdot 10^6} = 5,45 \text{ m}$

$B_0 = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2} = 10^{-4} \text{ T}$

$B_0 = 1,44378315 \text{ T}$

$E = \frac{h \cdot \nu}{4\pi}$

$P = V \cdot I$, $V = J/C$

$W = 10^3 \cdot 1000 = 10^6 \text{ W}$

$E = q \cdot \phi$

PLAN

1. Comment travailler efficacement ?
2. Comment résoudre un exercice de physique ?
3. Comment appréhender les QCM ?

Comment résoudre un exercice ?

Quelques questions à se poser !

- Ai-je compris l'énoncé ? ➔ **Compréhension**
- Que faire pour résoudre le problème ? ➔ **Analyse**
- Comment le faire spécifiquement dans ce problème ? ➔ **Application**
- Ma solution est-elle réaliste ? ➔ **Réflexion**





- **Ai-je compris l'énoncé ?**



1. **Quelle est la situation ?**

Que me demande-t-on ?

Conseil : Faire un schéma, choisir un système d'axes, ...

→ COMPREHENSION

Je redis avec mes mots ce que je lis, je schématise, ...



- Que faire pour résoudre l'exercice ?

2. Quels sont les étapes de résolution et dans quel ordre les effectuer ?
3. Quels modèles physiques vais-je utiliser ?
4. De quelles formules vais-je me servir ?
5. Quelles sont les informations utiles dans l'énoncé ?

Conseil : compléter le schéma avec les données, les forces agissant sur le système, ...

→ ANALYSE

Je recherche des informations et des relations entre elles.

- 
- 
- Comment faire spécifiquement dans **cet** exercice ?

6. Application à cet exercice !

Décomposition et écriture des équations dans le système d'axes, transformation de formules, ...

7. Réponse numérique !

8. Unité de la réponse !

→ APPLICATION

J'utilise les modèles et règles générales dans une situation donnée.

- 
- 
- Ma solution est-elle réaliste ?

9. Solution réaliste ? A-t-elle un sens ?

La solution répond-elle à la question posée ?

Ordre de grandeur ?

Réponse plausible ?

Signe correct ?

...

→ REFLEXION

Je réfléchis au produit de ma résolution.

Plan de résolution : Résumé

- **Compréhension**

1. Quelle est la situation ? Que me demande-ton ?

- **Analyse**

2. Quelles sont les étapes de résolution ? Dans quel ordre ?

3. Quels modèles physiques utiliser ?

4. Quelles formules utiliser ?

5. Quelles sont les informations utiles ?

- **Application**

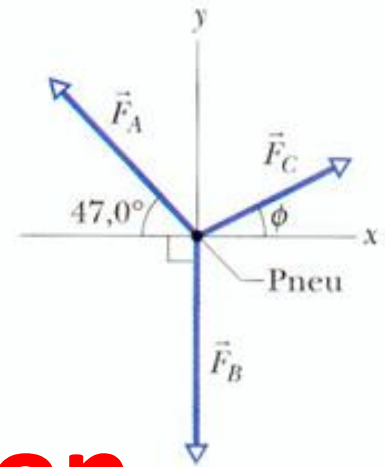
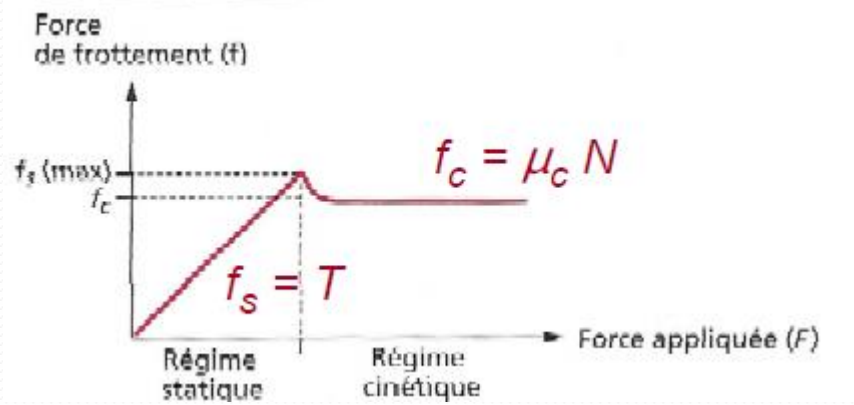
6. Transformation des formules

7. Réponse numérique

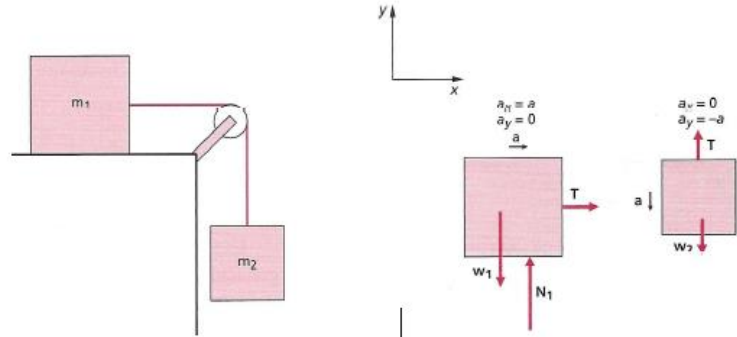
8. Unités de la réponse

- **Réflexion**

9. Ma solution est-elle réaliste ?



Mise en application



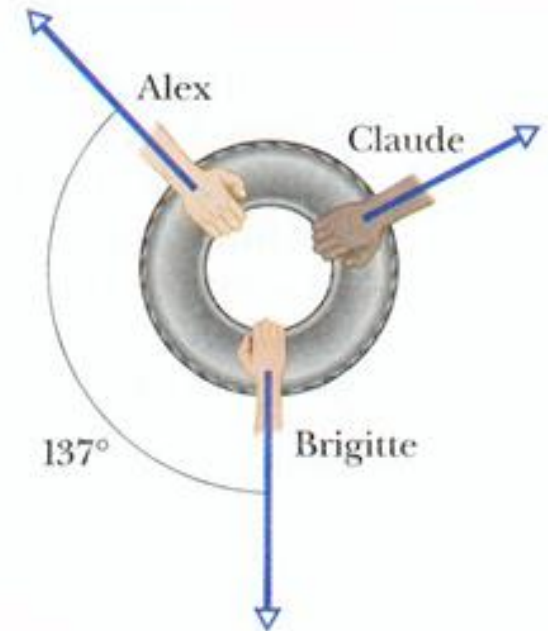
bloc 1 : selon y $\rightarrow N_1 = w_1 = m_1 g$
 selon x $\rightarrow T = m_1 a$
 bloc 2 : selon y $\rightarrow T - \underbrace{w_2}_{m_2 g} = -m_2 a$

$m_1 a - m_2 g = -m_2 a \rightarrow a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$
 $T = m_1 a \rightarrow T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$

Exercice n°1

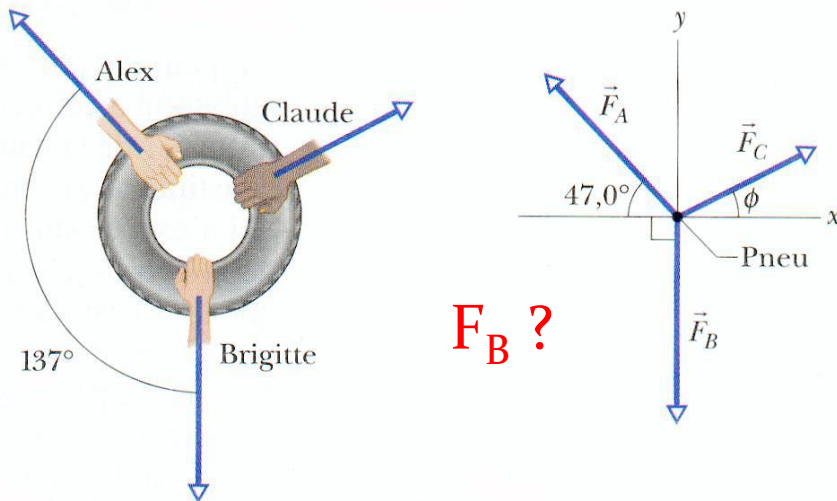
Dans un jeu de lutte de traction à 2 dimensions, Alex, Brigitte et Claude tirent horizontalement sur un pneu de voiture aux angles représentés sur la figure ci-dessous. Le pneu reste immobile malgré les 3 tractions.

Alex tire avec une force \vec{F}_A dont le module vaut 220 N. Claude tire avec une force \vec{F}_C de direction inconnue et de module égal à 170 N. Quel est le module de la force exercée par Brigitte \vec{F}_B ?



Exercice n°1 : Résolution

1. Compréhension 2. Chemin de résolution 3. Modèles ? 4. Formules ? 5. Données ? 6. Application 7. Réponse numérique 8. Unités 9. Réflexion



$F_B ?$

• Chemin de résolution ?

I. Décomposer les forces dans le système d'axes

II. Déterminer le module de \vec{F}_B

• Données ?

$$F_A = 220 \text{ N} ; F_C = 170 \text{ N} ;$$

$$\alpha(A,B) = 137^\circ$$

• Modèles ?

Système au repos \Leftrightarrow 1^{ère} loi de Newton

• Formules ?

$$\sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = \vec{0}$$

• Application :

Projection sur le système d'axes

$$\begin{cases} F_{Cx} - F_{Ax} = 0 \\ F_{Ay} + F_{Cy} - F_B = 0 \end{cases}$$

$$F_C \cdot \cos(\varphi) = F_A \cdot \cos(47^\circ) \quad (1)$$

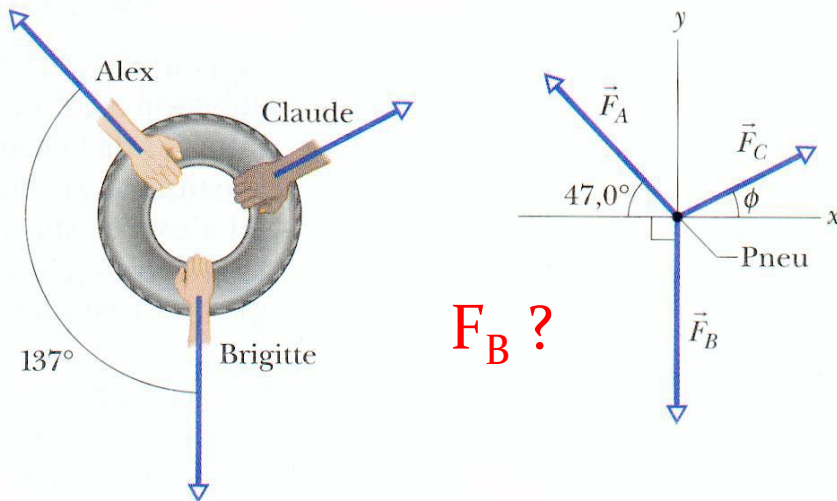
$$F_A \cdot \sin(47^\circ) + F_C \cdot \sin(\varphi) = F_B \quad (2)$$

$$(1): \cos(\varphi) = \frac{F_A}{F_C} \cdot \cos(47^\circ) = \frac{220}{170} \cdot \cos(47^\circ)$$

$$\Rightarrow \varphi = 28^\circ$$

Exercice n°1 : Résolution

1. Compréhension 2. Chemin de résolution 3. Modèles ? 4. Formules ? 5. Données ? 6. Application 7. Réponse numérique 8. Unités 9. Réflexion



$F_B ?$

$$\begin{cases} F_C \cdot \cos(\phi) = F_A \cdot \cos(47^\circ) & (1) \\ F_A \cdot \sin(47^\circ) + F_C \cdot \sin(\phi) = F_B & (2) \end{cases}$$

avec $\phi = 28^\circ$

$$(2): F_B = 220 \cdot \sin(47^\circ) + 170 \cdot \sin(28^\circ)$$

$$F_B = 241 \text{ N}$$

Réaliste ?

Il faut que la condition suivante soit respectée :

$$F_A - F_C \leq F_B \leq F_A + F_C$$

$$50 \leq F_B \leq 390$$

OK !

• Chemin de résolution ?

I. Décomposer les forces dans le système d'axes

II. Déterminer le module de \vec{F}_B

• Données ?

$$F_A = 220 \text{ N} ; F_C = 170 \text{ N} ;$$

$$\alpha(A,B) = 137^\circ$$

PLAN

1. Comment travailler efficacement ?
2. Comment résoudre un exercice de physique ?
3. Comment appréhender les QCM ?

Gestion des QCM

Quelques conseils :

- **Bien lire les questions :**

- Lire une première fois la question intégralement puis la relire élément par élément.
- S'assurer d'avoir compris tous les éléments →
Relire
- Identifier (souligner, entourer, ...) les mots-clés, concepts-clés, ...
- Faire attention aux négations et mots du type *toujours, jamais, parfois, souvent, rarement, croissant, décroissant, ...*

Gestion des QCM

Quelques conseils :

- Résoudre sans lire les propositions (distracteurs)
- Si votre réponse ne se trouve pas dans les propositions :
 - Procéder par élimination
 - Eliminer celles dont vous êtes certains qu'elles sont fausses.
 - Vérifier celles pour lesquelles vous avez un doute
 - Revenez en arrière dans votre raisonnement (sur brouillons) et tentez d'identifier des erreurs potentielles

Gestion des QCM

Quelques conseils :

- **Garder des expressions littérales le plus longtemps possible.**
 - Minimiser les erreurs d'arrondis
 - Mieux percevoir les simplifications
- **Privilégier les petites étapes** → Plus de contrôlabilité !
(e.a. ne pas encoder de calculs trop lourds à la calculatrice)
- **Vérifier les unités et la plausibilité des propositions**
(→ Elimination)

Exercice n°2

Soit une personne de 70 kg présente dans un ascenseur initialement au repos. Déterminer le poids effectif de cette personne (c'est-à-dire la force totale qu'elle exercerait dans les mêmes conditions sur une balance) lorsque l'ascenseur :

- a) accélère vers le haut à 2 m/s^2 .
- b) se déplace à vitesse constante vers le haut.
- c) continue de se déplacer vers le haut mais freine avec une décélération de 2 m/s^2 .

Prenez $g = 10 \text{ m/s}^2$

Suggestion : Refaite cet exercice en considérant que l'ascenseur ne se déplace plus vers le haut, mais vers le bas.

Plan de résolution : Résumé

- **Compréhension**

1. Quelle est la situation ? Que me demande-ton ?

- **Analyse**

2. Quelles sont les étapes de résolution ? Dans quel ordre ?

3. Quels modèles physiques utiliser ?

4. Quelles formules utiliser ?

5. Quelles sont les informations utiles ?

- **Application**

6. Transformation des formules

7. Réponse numérique

8. Unités de la réponse

- **Réflexion**

9. Ma solution est-elle réaliste ?

Exercice n°2

Soit une personne de 70 kg présente dans un ascenseur initialement au repos. Déterminer le poids effectif de cette personne (c'est-à-dire la force totale qu'elle exercerait dans les mêmes conditions sur une balance) lorsque l'ascenseur :

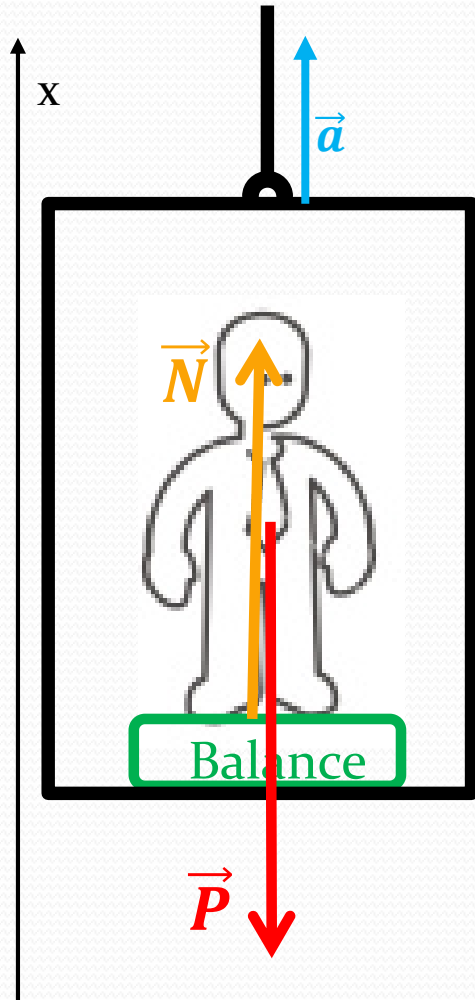
- a) accélère vers le haut à 2 m/s^2 .
- b) se déplace à vitesse constante vers le haut.
- c) continue de se déplacer vers le haut mais freine avec une décélération de 2 m/s^2 .

Prenez $g = 10 \text{ m/s}^2$

Suggestion : Refaite cet exercice en considérant que l'ascenseur ne se déplace plus vers le haut, mais vers le bas.

Exercice n°2 : Résolution

1. Compréhension 2. Chemin de résolution 3. Modèles ? 4. Formules ? 5. Données ? 6. Application 7. Réponse numérique 8. Unités 9. Réflexion



Poids effectif ?

Poids effectif d'une personne
= force totale que cette personne exerce sur
une balance
= réaction normale exercée par la balance

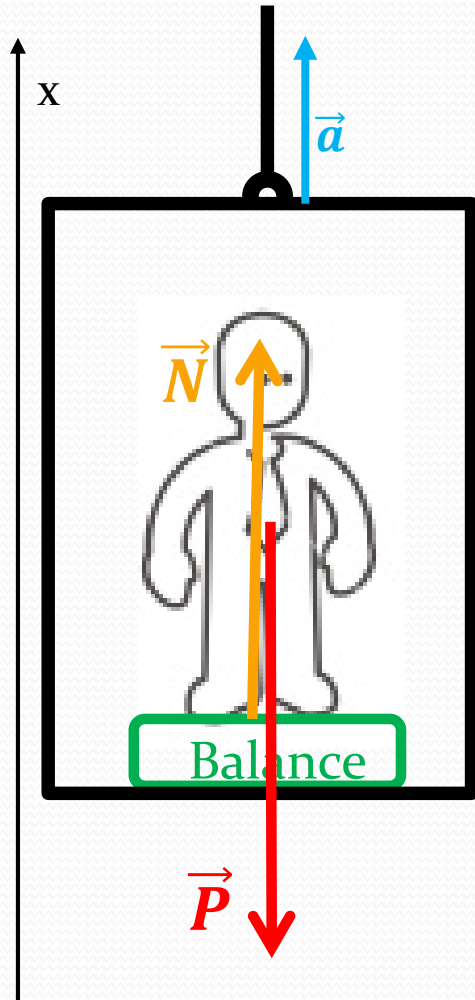
- Chemin de résolution ?
 - I. Répertorier les forces
 - II. Déterminer le module de \vec{N}
- Modèles ?

Système accélère \Leftrightarrow 2^{ème} loi de Newton
- Formules ?

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \Leftrightarrow \vec{P} + \vec{N} = m \cdot \vec{a}$$

Exercice n°2 : Résolution

1. Compréhension 2. Chemin de résolution 3. Modèles ? 4. Formules ? 5. Données ? 6. Application 7. Réponse numérique 8. Unités 9. Réflexion



Poids effectif ? $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \leftrightarrow \vec{P} + \vec{N} = m \cdot \vec{a}$

• Données ?

$$m = 70 \text{ kg} ; g = 10 \text{ m/s}^2 \rightarrow P = 700 \text{ N}$$

• Application :

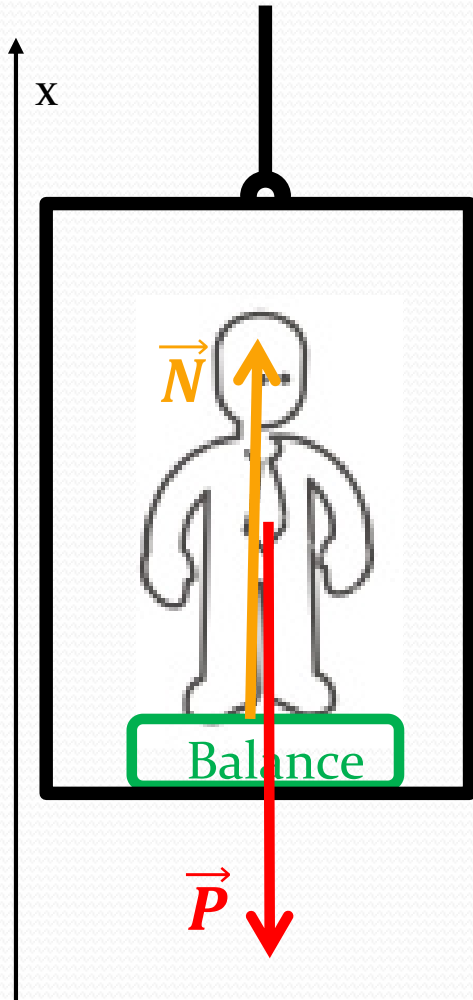
Projection sur l'axe x :

$$N - P = m \cdot a \leftrightarrow N = m \cdot a + P$$

$$\text{a) } a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = 70 \cdot 2 + 700 = 840 \text{ N}$$

Exercice n°2 : Résolution

1. Compréhension 2. Chemin de résolution 3. Modèles ? 4. Formules ? 5. Données ? 6. Application 7. Réponse numérique 8. Unités 9. Réflexion



Poids effectif ? $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \Leftrightarrow \vec{P} + \vec{N} = m \cdot \vec{a}$

• Données ?

$$m = 70 \text{ kg} ; g = 10 \text{ m/s}^2 \rightarrow P = 700 \text{ N}$$

• Application :

Projection sur l'axe x :

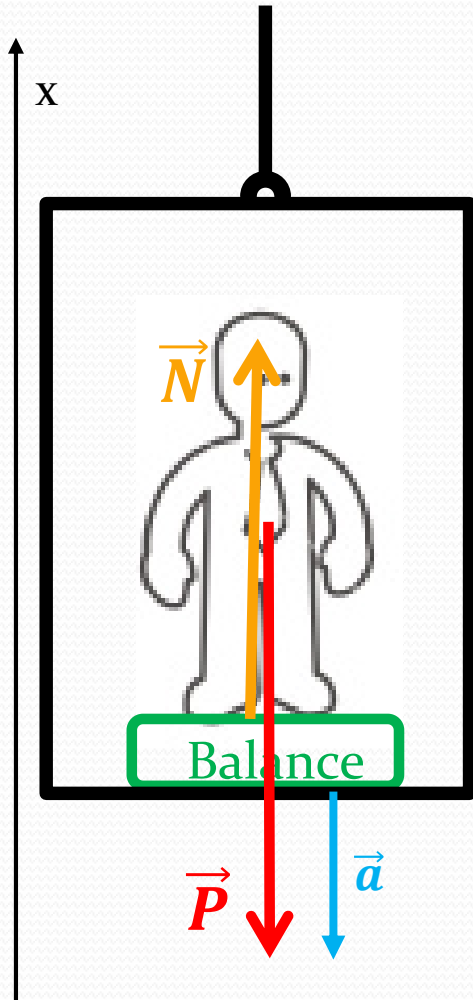
$$N - P = m \cdot a \Leftrightarrow N = m \cdot a + P$$

a) $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = 70 \cdot 2 + 700 = 840 \text{ N}$

b) $v = \text{constante} \Leftrightarrow a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = P = 700 \text{ N}$

Exercice n°2 : Résolution

1. Compréhension 2. Chemin de résolution 3. Modèles ? 4. Formules ? 5. Données ? 6. Application 7. Réponse numérique 8. Unités 9. Réflexion



Poids effectif ? $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \leftrightarrow \vec{P} + \vec{N} = m \cdot \vec{a}$

• Données ?

$$m = 70 \text{ kg} ; g = 10 \text{ m/s}^2 \rightarrow P = 700 \text{ N}$$

• Application :

Projection sur l'axe x :

$$N - P = m \cdot a \leftrightarrow N = m \cdot a + P$$

a) $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = 70 \cdot 2 + 700 = 840 \text{ N}$

b) $v = \text{constante} \Leftrightarrow a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = P = 700 \text{ N}$

c) $a = -2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = 70 \cdot (-2) + 700 = 560 \text{ N}$

• Réflexion : concordance avec observations quotidiennes !

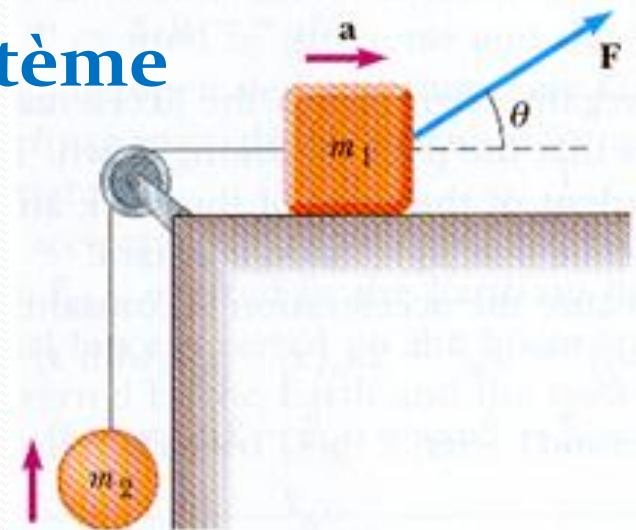
Exercice n°3

Un bloc de masse m_1 , posé sur une surface horizontale rugueuse, est relié à une masse m_2 par l'intermédiaire d'un fil, porté par une poulie. Une force \vec{F} est appliquée à la masse m_1 selon un angle θ par rapport à l'horizontale.

Déterminer l'accélération du système

Remarque : Les masses de la poulie et de la corde sont négligeables.

Solution :
$$a = \frac{F \cdot (\cos\theta + \mu \cdot \sin\theta) - g \cdot (m_2 + \mu \cdot m_1)}{m_1 + m_2}$$



Cliquez [ici](#) pour obtenir la solution détaillée.

Bonne chance !

Pierre-Xavier Marique
Département de Physique – ULiège
pxmarique@uliege.be



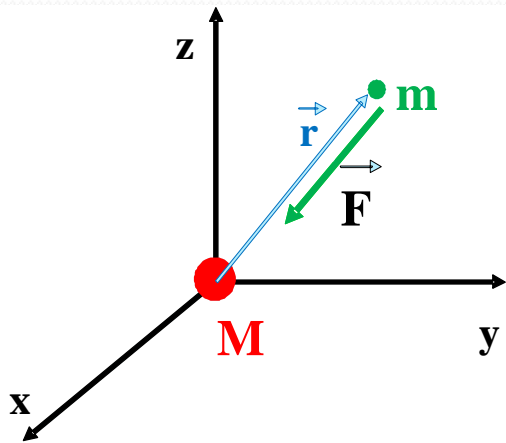
Les forces

Force = Action qui peut déformer un objet ou modifier son mouvement

Les forces sont des grandeurs vectorielles !

Elles sont donc caractérisées par :

- son point d'application (m)
- sa direction (droite d'action)
- son sens (de m vers M)
- sa grandeur (son module)

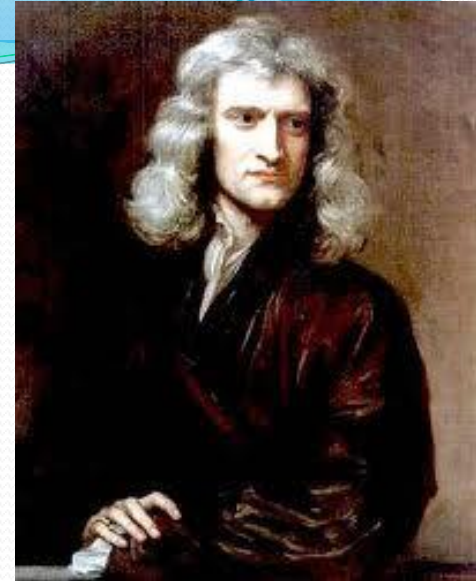


$$\text{Vecteur : } \vec{F} = -GMm \frac{\hat{r}}{r^2} = -GMm \frac{\vec{r}}{r^3}$$

$$\text{Scalaire (norme) : } F = \frac{GMm}{r^2}$$

1^{ère} loi de Newton : Principe d'inertie

Dans un repère inertiel, tout objet assimilable à un point matériel, qui n'est soumis à **aucune** force ou qui est soumis à une **résultante nulle** de plusieurs forces, conserve son état initial de **repos** ou de **MRU** et vice-versa.



Sir Isaac Newton
(1643 – 1727)

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \leftrightarrow \begin{cases} \text{Repos} \\ \text{MRU} \end{cases}$$



2^{ème} loi de Newton :

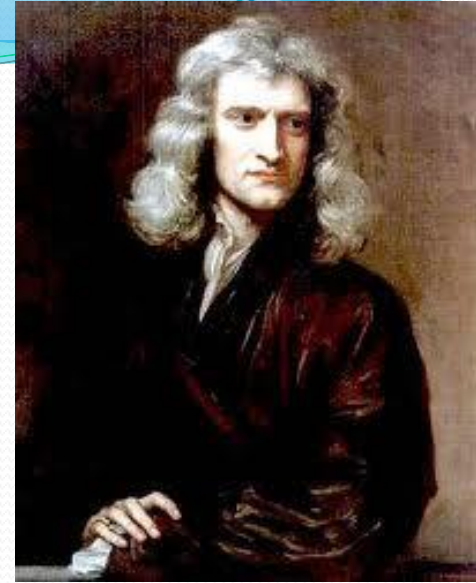
Loi fondamentale de la dynamique

Dans un repère inertiel, tout objet assimilable à un point matériel, qui est soumis à une résultante de force non nulle $\sum \vec{F}$ subit une accélération \vec{a} reliée par :

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

Unité : $[F] = N = [m] \cdot [a] = kg \cdot \frac{m}{s^2}$

Remarque : $\sum \vec{F}$ et \vec{a} possèdent donc la même direction et le même sens



Sir Isaac Newton
(1643 – 1727)

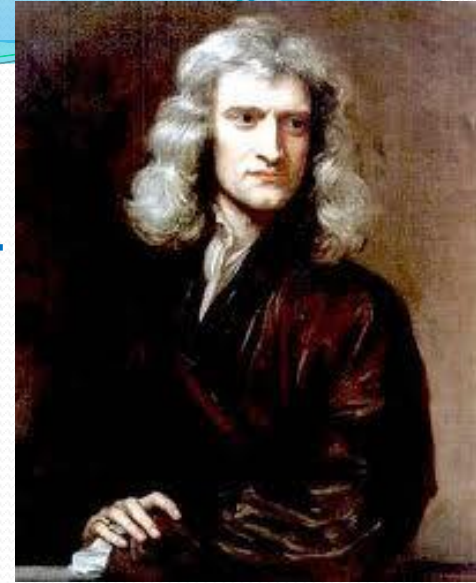


3^{ème} loi de Newton :

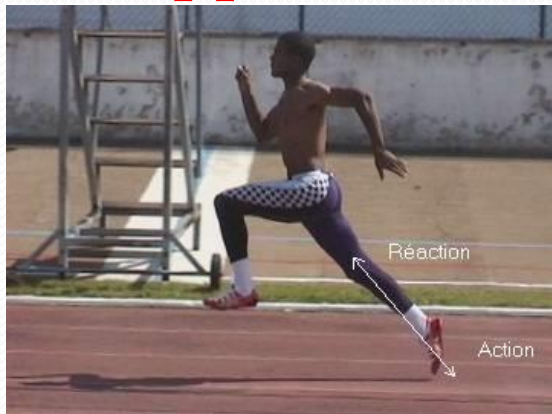
Principe des actions réciproques

Dans un repère inertiel, lorsqu'un corps A exerce une force \vec{F} sur un corps B, alors, **simultanément**, le corps B exerce une force $-\vec{F}$ sur le corps.

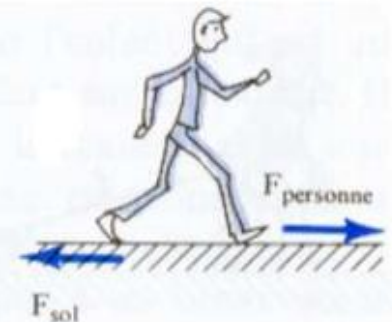
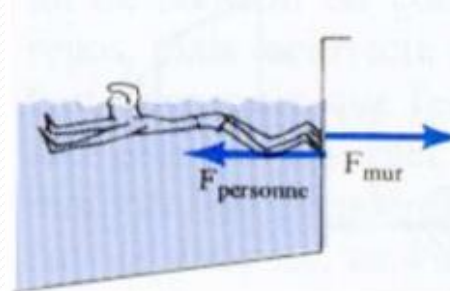
Ces forces sont **égales en grandeur**, possèdent la **même direction** et sont de **sens opposé**.



Sir Isaac Newton
(1643 – 1727)



$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$



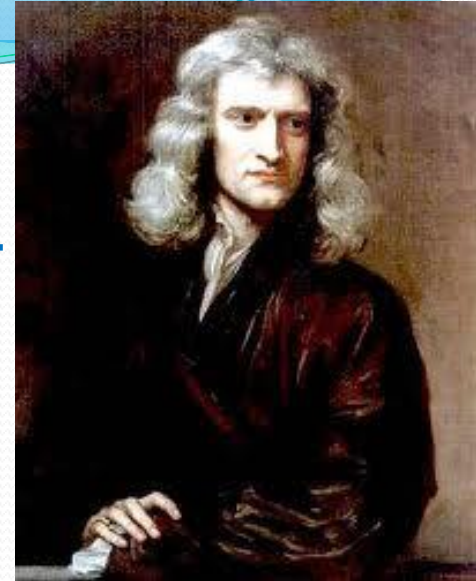
3^{ème} loi de Newton : Principe des actions réciproques

ATTENTION !

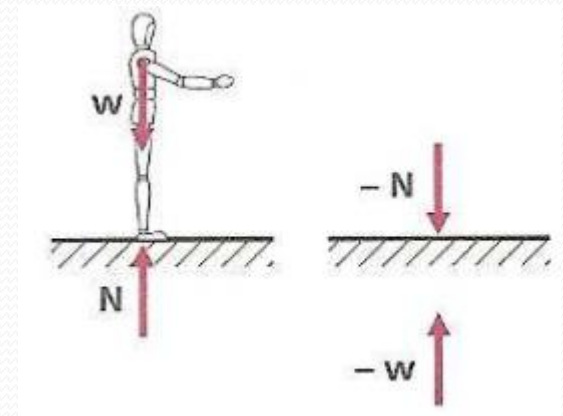
Il existe des situations pour lesquelles des forces égales et opposées interviennent, bien qu'ils ne s'agissent pas d'action-réaction au sens de cette 3^{ème} loi.

$$\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A}$$

L'action et la réaction ont des points d'application différents : un sur A, un sur B.



Sir Isaac Newton
(1643 – 1727)



Petit test...

Un bus rempli d'étudiants gravit une côte. A un certain moment, tous les étudiants (debouts) sont projetés vers l'arrière du bus. Le conducteur du bus :

- 1 s'est arrêté
- 2 a accéléré
- 3 a freiné
- 4 a tourné
- 5 Je n'ai pas assez d'éléments pour répondre

Effet de l'inertie.

Les étudiants ne sont pas solidaires du bus

- ➡ Ils conservent leur état de repos
- ➡ Le bus avance plus vite qu'eux
- ➡ Par rapport au bus, ils reculent.

Petit test...

Une force résultante identique s'exerce sur deux corps A et B. La masse de A est quadruple de celle de B. L'accélération du corps B vaut :

- 1 le quart de celle du corps A
- 2 le quadruple de celle du corps A
- 3 celle du corps A
- 4 Je n'ai pas assez d'éléments pour répondre
- 5 Aucune de ces propositions

$$F_A = F_B$$

$$\Leftrightarrow m_A \cdot a_A = m_B \cdot a_B$$

$$\Leftrightarrow 4 \cdot m_B \cdot a_A = m_B \cdot a_B$$

$$\Leftrightarrow 4 \cdot a_A = a_B$$

Petit test...

Un livre est au repos sur une table. Quelle est la réaction (ou action réciproque) à son poids selon la troisième loi de Newton ?

- 1 la force vers le haut exercée par la table sur le livre
- 2 la force vers le bas exercée par le livre sur la table
- 3 la force vers le haut exercée par le livre sur la Terre
- 4 le frottement entre la table et le livre
- 5 Aucune de ces réponses

Le poids du livre = $F_{\text{Terre} / \text{Livre}}$

Sa réaction = $F_{\text{Livre} / \text{Terre}}$

Diagramme des forces pour chacune des masses:

Pour la masse m_1 :

$$(1) \sum F_x = F \cos \theta - f_k - T = m a_x = m_1 a$$

$$(2) \sum F_y = n + F \sin \theta - m_1 g = m_1 a_y = 0$$

Pour la masse m_2 :

$$\sum F_x = m_2 a_x = 0$$

$$(3) \sum F_y = T - m_2 g = m_2 a_y = m_2 a \Rightarrow T = m_2 (a + g) \quad (4)$$

$$\text{Or } f_k = u_k n$$

$$\text{De (2), on a } n = m_1 g - F \sin \theta$$

$$\text{On a donc: } f_k = u_k (m_1 g - F \sin \theta) \quad (5)$$

$$\text{En introduisant (4) et (5) dans (1): } F \cos \theta - u_k (m_1 g - F \sin \theta) - m_2 (a + g) = m_1 a$$

$$\text{L'accélération est donc égale à: } a = \frac{F (\cos \theta + u_k \sin \theta) - g (m_2 + u_k m_1)}{m_1 + m_2}$$

