

– PHS1101 –  
Mécanique pour ingénieurs

**Cours 1**

Jérémy Villeneuve  
Département de génie physique

## Structure du premier cours

- À quoi sert la mécanique ?  
Ai-je vraiment besoin de vous convaincre que c'est utile ?
- Déroulement de la session  
Résumé du **plan de cours** : objectifs, matière et évaluations
- Site Moodle du cours  
Notes de cours et exercices
- Révision  
Ce que nous supposons que vous avez déjà appris avant de débiter ce cours

# Quelques grands acteurs de la mécanique



1. ARISTOTE  
Philosophe et  
astronome grec  
(-384, -322)



2. De VINCI  
Léonard  
Artiste, scientifique,  
ingénieur, inventeur,  
philosophe italien  
(1452-1519)



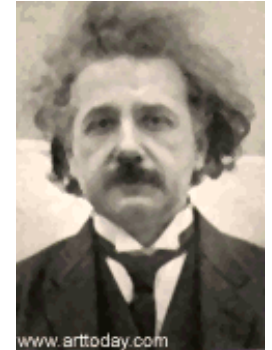
3. GALILEI  
Galileo  
Physicien,  
astronome et  
écrivain italien  
(1564-1642)



4. NEWTON Isaac  
Physicien,  
mathématicien et  
astronome  
anglais (1642-1727)

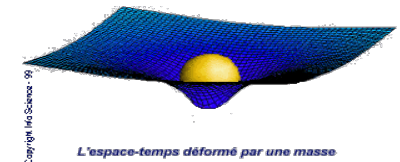


5. FOUCAULT  
Léon  
Physicien français  
(1819-1868)



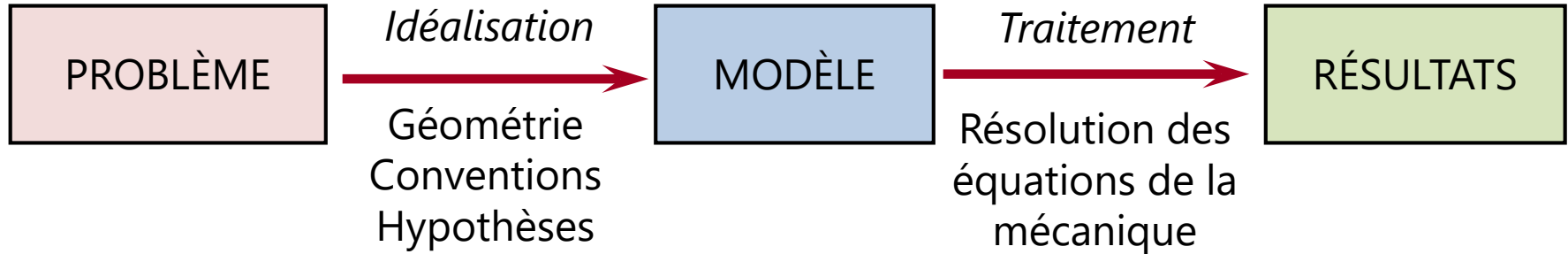
6. EINSTEIN Albert  
Physicien germano-  
américain (1879-  
1955)

1. Aristote : « Une pierre tombe car c'est dans sa nature de se diriger vers le bas ».
2. De Vinci s'intéresse à la balistique : lancer (impulsion) et chute (réponse libre) des corps.
3. Galilée découvre la loi de la chute des corps dans le vide et est le premier à énoncer le principe de relativité : « *Lorsqu'on est à bord d'un navire qui vogue en ligne droite et à vitesse constante, on ne ressent aucun mouvement* ».
4. *Principia Mathematica* : lien entre le mouvement des astres et des objets sur Terre.
5. Foucault suspend une boule de 5 kg au plafond de l'Observatoire de Paris : il est le premier à prouver de manière expérimentale le mouvement de rotation de la Terre (accélération de Coriolis).
6. La force d'attraction de Newton est remplacée par une déformation de l'espace-temps causée par la présence de matière.



# PHS1101 Mécanique pour ingénieurs

## Le travail de l'ingénieur



### Dans le cours PHS1101

Situations réalistes, mais simplifiées en posant certaines hypothèses (corps non déformables, pas de résistance de l'air ou de frottement, cordes sans masse et inélastique, ressort idéal, etc.)

Résolution analytique possible !

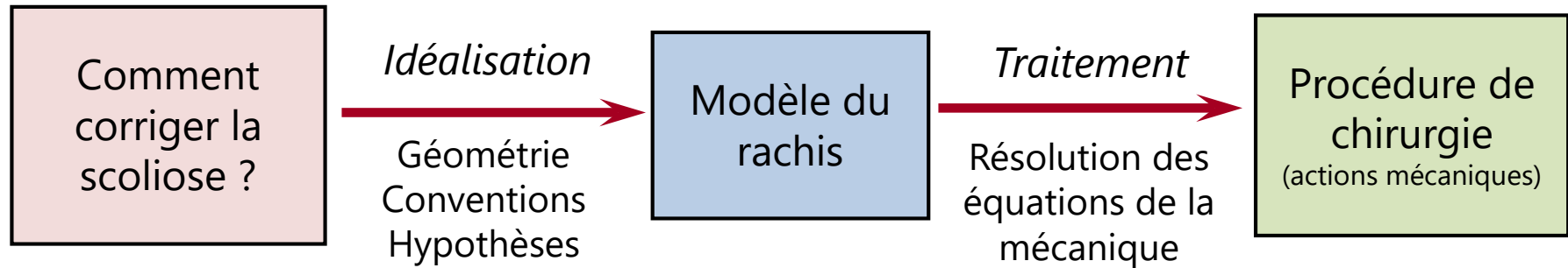
### Dans la réalité

Les modèles sont plus complexes pour représenter fidèlement des phénomènes très spécifiques.

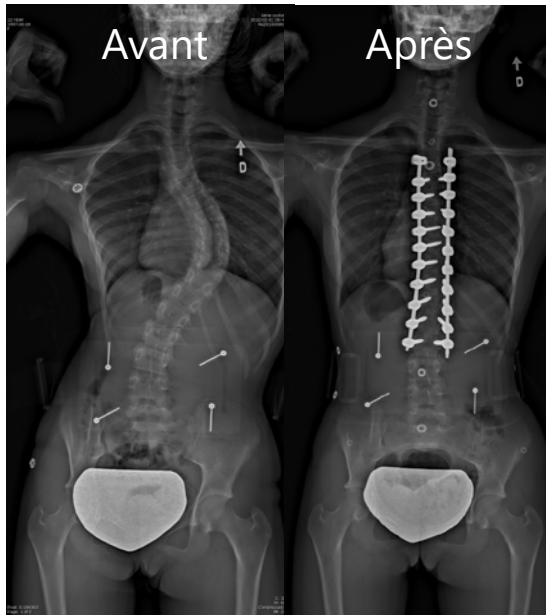
Méthodes numériques pour résoudre les équations du modèle (ex : logiciel MATLAB).

## Le travail de l'ingénieur

# Chirurgie de la colonne vertébrale (rachis)



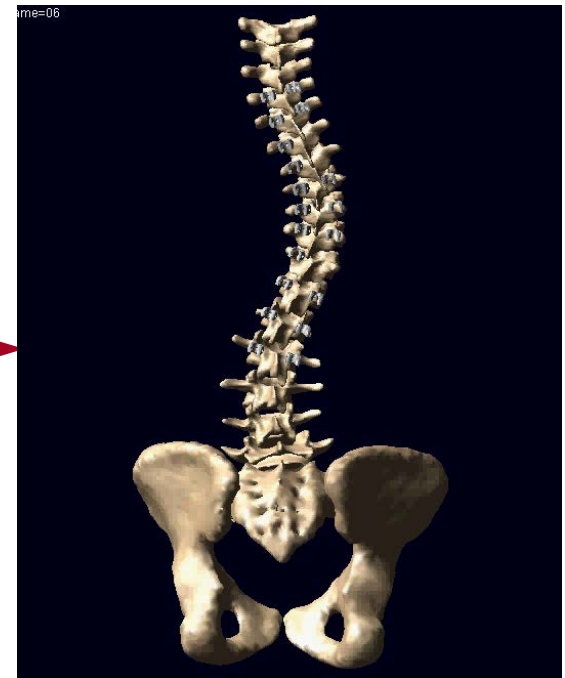
### Chirurgie de scoliose



### Modèle du rachis

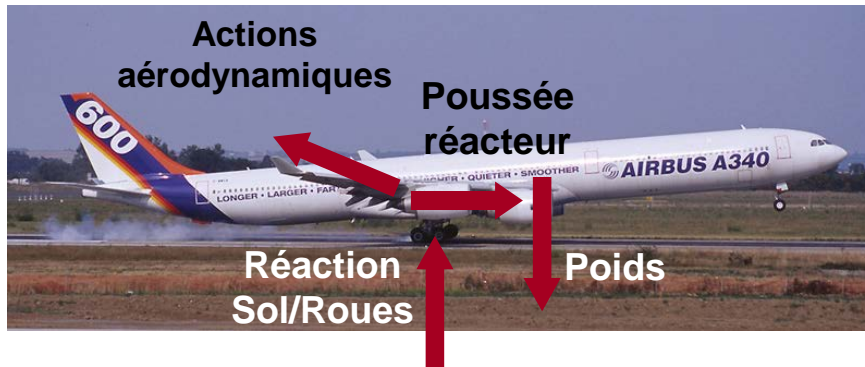
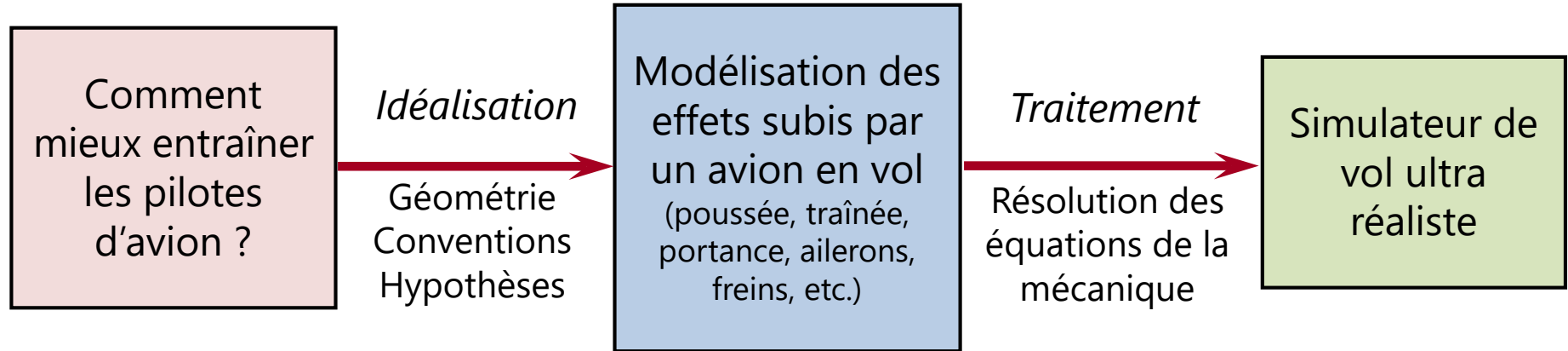


### Simulations de chirurgie



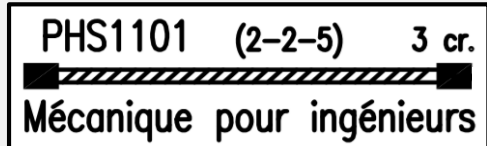
## Le travail de l'ingénieur

# Entraînement des pilotes



<http://caeowl.net/CAE-atteint-la-certification-de-niveau-D-sur-le-premier-simulateur-de-vol-Boeing-747-8-au-monde-et-ses-premiers-simulateurs-B787/>

# PHS1101 et votre programme

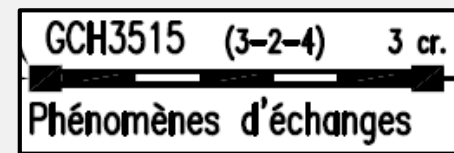


## Génie biomédical



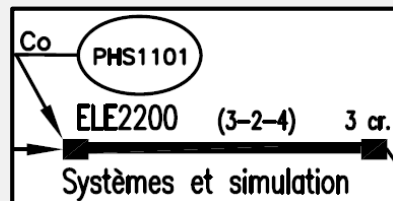
Mécanique appliquée aux systèmes biologiques (forces, moments, équilibre, statique des fluides)

## Génie chimique



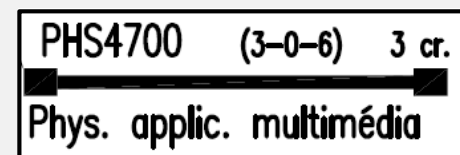
Lois fondamentales de transferts de quantité de mouvement, de chaleur et de masse.

## Génie électrique



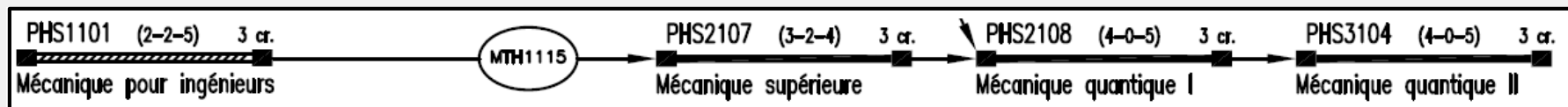
Modèles mathématiques de systèmes mécaniques, électromécaniques et hydrauliques.

## Génies informatique et logiciel



Modélisation de collisions, de milieux continus, de fluides, de sons, de lumière, etc.

## Génie physique





## Plan de cours

Le plan de cours est le contrat qui lie l'enseignant et les étudiants.



**Il est de votre responsabilité de lire le plan de cours au début du trimestre afin d'être informé de la façon dont le cours se déroulera. Le plan de cours est sur le site Moodle du cours.**



Contenu du cours

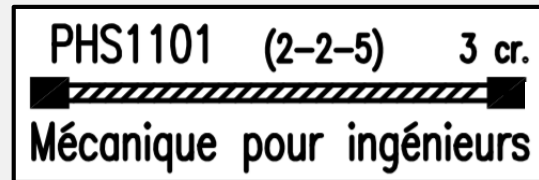
Ressources  
(manuel, site Moodle, etc.)

Évaluations

Les dates des évaluations  
(examens et test diagnostique)  
seront affichées sur le site Moodle  
et des rappels seront faits en classe.



## Information sur le cours



**Triplet horaire (# heures par semaine)**

**2-2-5**

Cours  
magistraux

Travaux  
pratiques

Travail  
personnel

**3 crédits**

1 crédit de cours = 3 h/sem.  $\times$  15 sem. = 45 heures

**3 crédits de cours = 135 heures**

## Objectifs du cours

1. Visualiser, modéliser et résoudre des problèmes simples dans un contexte d'ingénierie faisant intervenir des points matériels, des corps rigides et des fluides en utilisant des principes de mécanique classique :
  - i. Diagrammes de corps libres (DCL) et diagrammes cinétiques équivalents (DCE) ;
  - ii. Lois de conservation (énergie, quantité de mouvement, moment cinétique).
2. Établir une stratégie de résolution pour résoudre un problème donné parmi plusieurs approches possibles ;
3. Poser les équations nécessaires à la résolution d'un problème en les appliquant au contexte du problème ;
4. Résoudre ces équations et proposer une solution au problème ;
5. Discuter de façon critique des résultats obtenus (indispensable pour devenir ingénieur).

**La majorité des points des évaluations ciblent ces objectifs.**

# Qualités de l'ingénieur du BCAPG

## 1. Connaissances en génie

Le cours PHS1101 vous permet de développer ces qualités, mais ces qualités ne font pas l'objet d'un contrôle d'acquis dans le cours.

## 2. Analyse de problèmes

3. Investigation

4. Conception

5. Utilisation d'outils d'ingénierie

6. Travail individuel et en équipe

7. Communication

8. Professionnalisme

9. Impact du génie sur la société et sur l'environnement

10. Déontologie et équité

11. Économie et gestion de projets

12. Apprentissage continu



# Contenu du cours

Cours	Contenu
1	Introduction et révision (forces et loi de Newton)
2	Moment de force et couple
3	Équilibre statique de structures (1 <sup>re</sup> loi de Newton, réactions aux appuis et frottement)
4	Statique des fluides
5	Cinématique du point matériel (trajectoires)
6	Cinétique du point matériel (2 <sup>e</sup> loi de Newton)
7	Travail et énergie
8	Quantité de mouvement et centre de masse
9	Moment cinétique et moment d'inertie
10	Systèmes de particules variables
11	Cinématique et cinétique des corps rigides en 2D
12	Travail et énergie de rotation des corps rigides en 2D
13	Révision pour l'examen final

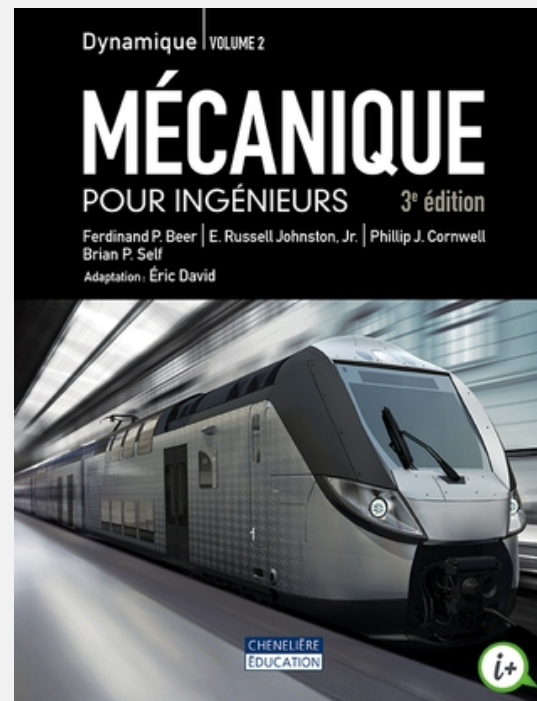
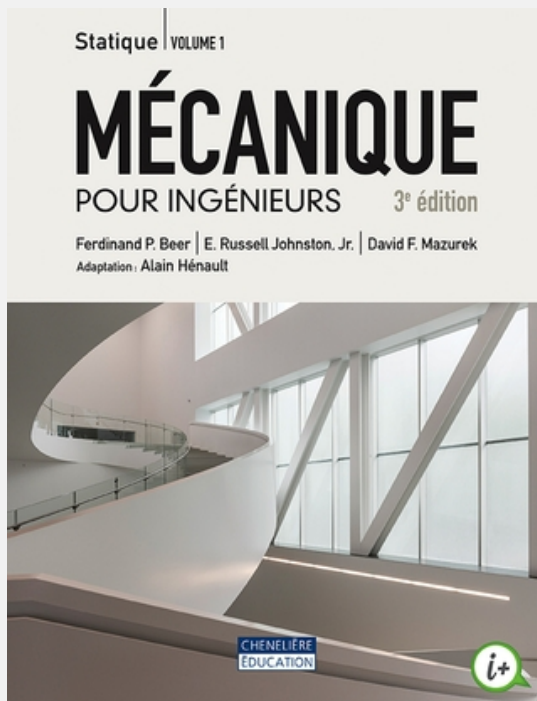
**Statique**  
(corps qui n'accélèrent pas)

**Dynamique**  
(corps qui accélèrent en translation et/ou en rotation)

# Manuel de référence

**Beer & Johnston, Mécanique pour ingénieurs (3<sup>e</sup> édition)**  
vol. 1 (Statique) et vol. 2 (Dynamique)

**Le manuel n'est pas obligatoire pour réussir le cours.  
Toutefois, c'est un excellent livre de référence.**



**En vente chez  
COOPOLY  
(2<sup>e</sup> étage du pavillon  
principal)**

**En usagé :  
surveillez la foire  
aux livres!  
(1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> éditions font l'affaire)**

# Évaluations du cours

Cours	Contenu
1	Introduction et révision (trigonométrie et forces)
2	Moment de force et couple
3	Équilibre statique de structures (1 <sup>re</sup> loi de Newton, réactions aux appuis et frottement)
4	Statique des fluides
5	Cinématique du point matériel (trajectoires)
6	Cinétique du point matériel (2 <sup>e</sup> loi de Newton)
7	Travail et énergie
8	Quantité de mouvement et centre de masse
9	Moment cinétique et moment d'inertie
10	Systèmes de particules variables
11	Cinématique et cinétique des corps rigides en 2D
12	Travail et énergie de rotation des corps rigides en 2D

**Contrôle  
périodique #1**  
(Cours 1 à 4, 25 %)

**Contrôle  
périodique #2**  
(Cours 1 à 8, 30 %)

**Examen final**  
(Cours 1 à 12, 40 %)

**Test diagnostique**  
(1<sup>re</sup> fois au début  
du trimestre)



Fait deux fois : **5 %**  
Sinon : 0 %



**Test diagnostique**  
(2<sup>e</sup> fois à la fin  
du trimestre)

## Test diagnostique (5 %)

### Objectifs

- Vérifier par vous-même votre compréhension de la mécanique au moment de débiter ce cours ;
- Observer l'évolution de votre compréhension après avoir suivi ce cours (vous refaites le même test une 2<sup>e</sup> fois).

### Modalité d'évaluation

- Nous évaluons seulement si le test a été complété ou non. Nous supposons que vous y répondrez sérieusement : c'est dans votre intérêt.

### Précisions

- Vous devez avoir terminé le test avant l'heure de fermeture. Une tentative incomplète ne compte pas ;
- Vous disposez de 90 min : assurez-vous d'avoir une connexion Internet stable.
- Pour pouvoir reprendre le test après sa fermeture, il vous faut un **motif sérieux** : avoir oublié de le faire n'est pas un motif sérieux.



# Équipe pédagogique et encadrement

## Coordonnateur du cours

Jérémie Villeneuve

[jeremie.villeneuve@polymtl.ca](mailto:jeremie.villeneuve@polymtl.ca)

**Contacter pour toute question administrative  
ou problème d'accès à Moodle**

## Cours théoriques

G01 et G02 : Djamel Seddaoui

G03 : Jérémie Villeneuve

## Travaux dirigés

G01 : Rodrigue Beaini   G02 : Djamel Seddaoui

G03 : Jérémie Villeneuve

## Répétiteurs

Marie Belaval

Atyab Calloo

Kévin Gagné

Zoe Solomon-Baird

## En classe à chaque semaine

- 2 heures de cours théoriques
- 2 heures de travaux dirigés (problèmes résolus)

## Hors classe à chaque semaine

- 2 heures de disponibilité sans rendez-vous pour chaque membre de l'équipe pédagogique
- Forum du site Moodle pour poser vos questions
- **Plus de 10 heures de suivi individualisé par semaine : profitez-en!**

**L'horaire des périodes de disponibilité sans rendez-vous, ainsi que les locaux et adresses courriel, sont disponibles sur le site Moodle.**

**À consulter régulièrement pour les informations importantes !  
(consignes, dates des évaluations, etc.)**

**Site Moodle PHS1101**  
<https://moodle.polymtl.ca>



Bienvenue au cours PHS1101 - Mécanique pour ingénieurs  
Hiver 2019



Plan de cours

---

### Test diagnostique

Début de trimestre (1re fois) : 8 janvier au 18 janvier à 23h59

Fin de trimestre (2e fois) : 2 avril au 12 avril à 23h59

**Vous devez faire le test les deux fois pendant le trimestre en cours pour obtenir le 5 % associé, et ce même si vous reprenez le cours.**

Si jamais vous n'avez pas accès au test, contactez le responsable du cours avant la fermeture du test. Aucune extension ne sera accordée pour un problème d'accès signalé après la date de fermeture.



Test diagnostique (5% de la note)

---

### Contrôles périodiques et examen final

Les dates et les locaux des contrôles périodiques et de l'examen final seront affichés sur le site du Registrariat. (<http://www.polymtl.ca/registrariat/>)


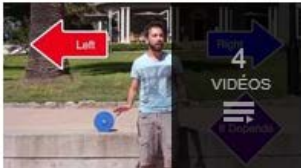



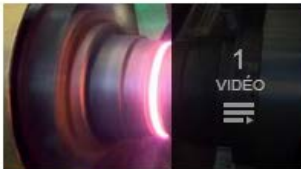

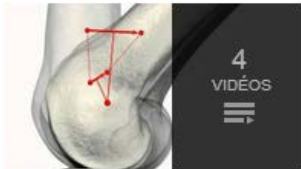




Contrôle périodique 1 - *Mardi 5 février de 18h30 à 20h20*

Contrôle périodique 2 - *Mardi 12 mars de 18h30 à 20h20*

# Chaîne PHS1101 sur YouTube

PHS1101 - Polytechnique Montréal Vidéos **Playlists** Chaînes Discussion À propos

Playlists créées Dernière vidéo ajoutée Grille

 <p><b>Collisions et quantité de mouvement</b> il y a 5 mois</p> <p>6 VIDÉOS</p>	 <p><b>Chap 2 : Forces et moments</b> il y a 5 mois</p> <p>4 VIDÉOS</p>	 <p><b>Chap 1 - Introduction</b> il y a 1 mois</p> <p>4 VIDÉOS</p>	 <p><b>Centre de masse et moment d'inertie</b> il y a 4 mois</p> <p>2 VIDÉOS</p>
 <p><b>Chap 3 : Principe de la statique</b> il y a 3 mois</p> <p>1 VIDÉO</p>	 <p><b>Chap 4 : Frottement</b> il y a 3 mois</p> <p>1 VIDÉO</p>	 <p><b>Chap 1 : Révisions</b> il y a 3 mois</p> <p>5 VIDÉOS</p>	 <p><b>Rotation</b> il y a 4 mois</p> <p>4 VIDÉOS</p>
 <p><b>Vidéos des TDs</b> il y a 5 mois</p> <p>1 VIDÉO</p>	 <p><b>Accélération</b> il y a 4 mois</p> <p>1 VIDÉO</p>	 <p><b>Systèmes à masse variable</b> il y a 5 mois</p> <p>4 VIDÉOS</p>	 <p><b>Moment cinétique</b> il y a 5 mois</p> <p>3 VIDÉOS</p>

Sélection de vidéos en rapport avec le cours/TD

## Pour réussir : la règle des trois P

Règle 1 : Pratique

Règle 2 : Pratique

Règle 3 : Pratique

Il n'y a pas de secret  
pour réussir ce cours!



**Ça a toujours l'air plus facile quand c'est le prof qui le fait !**

S'exercer permet de devenir efficace pour choisir une stratégie de résolution ainsi que pour poser et résoudre des équations.

### Des tonnes d'exercices

1. Exercices résolus en TD (soyez présents)
2. Exercices sur Moodle (faciles, intermédiaires, difficiles)
3. Anciens examens disponibles sur Moodle
4. Exercices supplémentaires sur Moodle
5. *Exercices résolus du manuel de référence*

# Apprendre efficacement

## Utilisation des diapositives notes de cours

- Les diapositives sont paginées ! **Notez seulement l'information complémentaire** à ce qui est écrit dans les présentations en indiquant le numéro de page associé. **Révisiez ensuite les présentations avec vos notes ;**
- Encadrés bleus : équations importantes vues pour la 1<sup>re</sup> fois ;  
Encadrés noirs : équation importante déjà vue et réutilisée ;  
Encadrés rouges : réponses finales des exercices résolus.

## Travailler pour rester à jour

- **Exercez-vous régulièrement** sur Moodle ;
- **Posez-vous des questions.** Si vous ne trouvez pas de réponse, passez voir un membre de l'équipe pédagogique ;
- Il a été démontré qu'**il est plus efficace de segmenter ses séances d'études** plutôt que de tout faire en une seule séance marathon (surtout si elle est faite la veille de l'examen).

# Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## Notion de vecteur

Un vecteur est décrit par trois éléments :

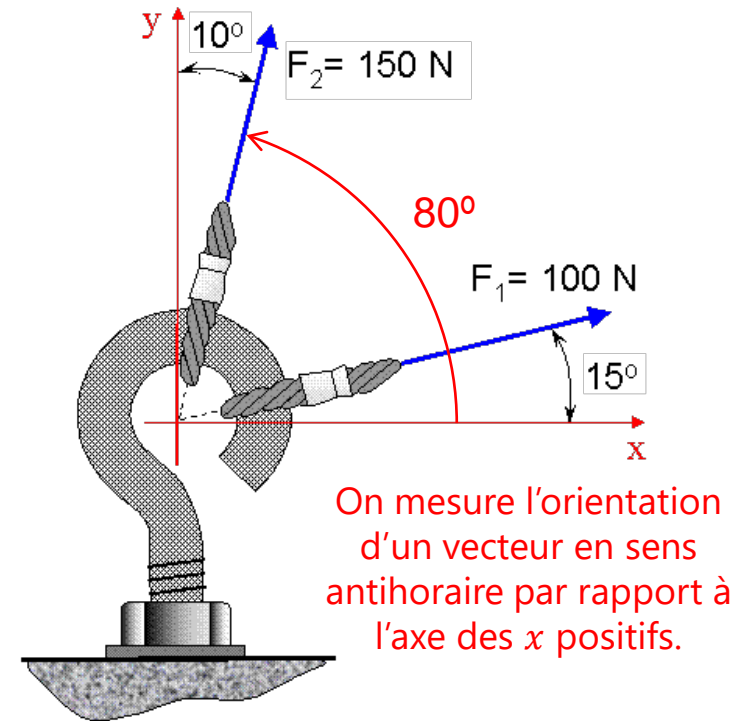
- Sa **grandeur** (norme ou module)
- Sa **direction** (l'angle que fait sa ligne d'action par rapport à un axe de référence)
- Son **sens** (+,-)

## Notion de force

Une force représente une **interaction entre deux objets**. Une force peut tirer ou pousser sur un objet.



Une force est un vecteur.  
L'unité de la force est le  
newton (N).



La force  $\vec{F}_1$  a une grandeur de 100 N et est orientée à  $15^\circ$ .

La force  $\vec{F}_2$  a une grandeur de 150 N et est orientée à  $80^\circ$ .

## Révision

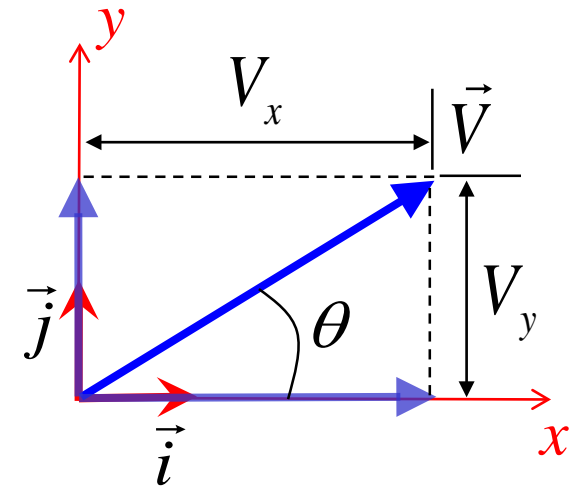
Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

### Décrire un vecteur 2D par ses composantes cartésiennes

$$V_x = V \cos \theta \quad V_y = V \sin \theta$$

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j}$$

Les **vecteurs unitaires**  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  et  $\vec{k}$  (norme égale à 1) pointent respectivement vers les axes positifs  $x$ ,  $y$  et  $z$ .



### Décrire un vecteur 2D par sa norme et son orientation

#### Norme (longueur du vecteur)

(théorème de Pythagore)

$$V = |\vec{V}| = \|\vec{V}\| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

#### Orientation

$$\theta = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$$

Attention à bien interpréter l'angle obtenu selon les signes de  $V_x$  et de  $V_y$ .



## Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

### Décrire un vecteur 3D

On peut décrire un vecteur 3D en donnant :

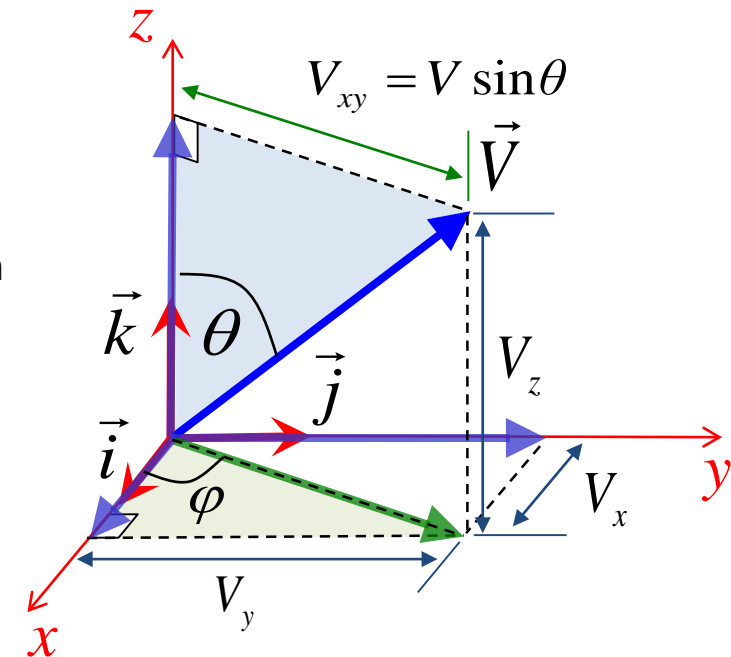
- Sa norme  $V$  ;
- Son angle d'inclinaison  $\theta$  ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ) mesuré en sens horaire à partir de l'axe des  $z$  positifs ;
- Son angle azimutal  $\varphi$  ( $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$ ) mesuré en sens antihoraire à partir de l'axe des  $x$  positifs.

Les composantes cartésiennes du vecteur sont alors :

$$V_x = V_{xy} \cos \varphi = V \sin \theta \cos \varphi$$

$$V_y = V_{xy} \sin \varphi = V \sin \theta \sin \varphi$$

$$V_z = V \cos \theta$$



$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k}$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

# Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## Addition vectorielle

La méthode la plus directe d'additionner des vecteurs est de sommer leurs composantes.

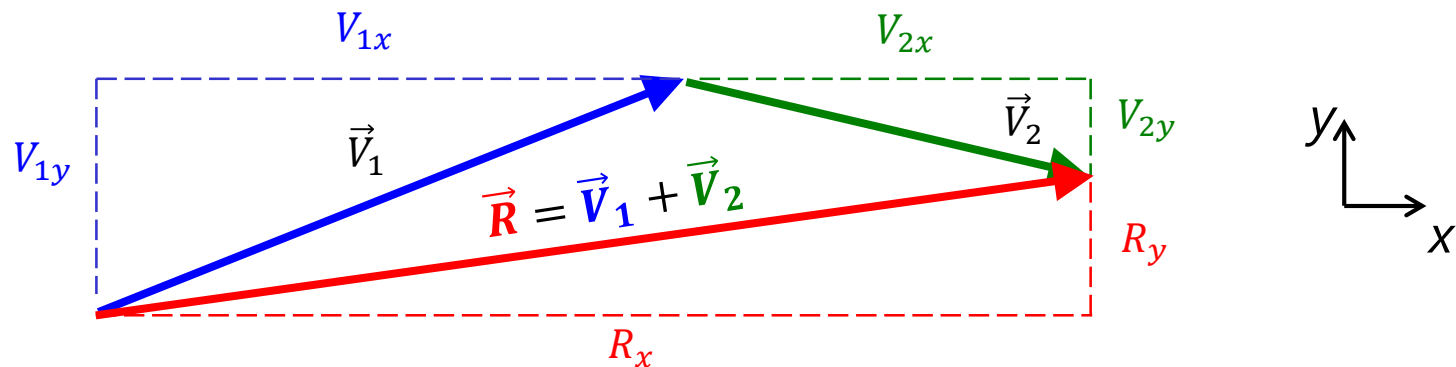
$$\vec{R} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \cdots + \vec{V}_N \quad \longleftrightarrow \quad \vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} + R_z \vec{k}$$

$$R_x = V_{1x} + V_{2x} + \cdots + V_{Nx}$$

$$R_y = V_{1y} + V_{2y} + \cdots + V_{Ny}$$

$$R_z = V_{1z} + V_{2z} + \cdots + V_{Nz}$$

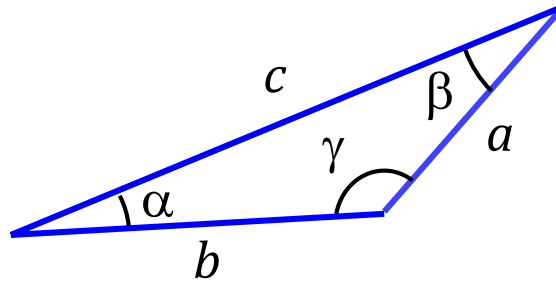
Interprétation géométrique



## Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

### Géométrie dans des triangles quelconques



#### Loi des sinus

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

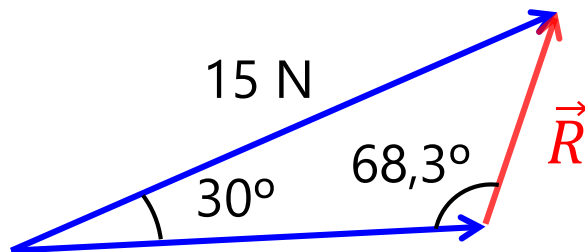
#### Loi des cosinus

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

Angle entre  $a$  et  $b$

#### Exemple

Quel est le module du vecteur  $\vec{R}$  ?



#### Loi des sinus

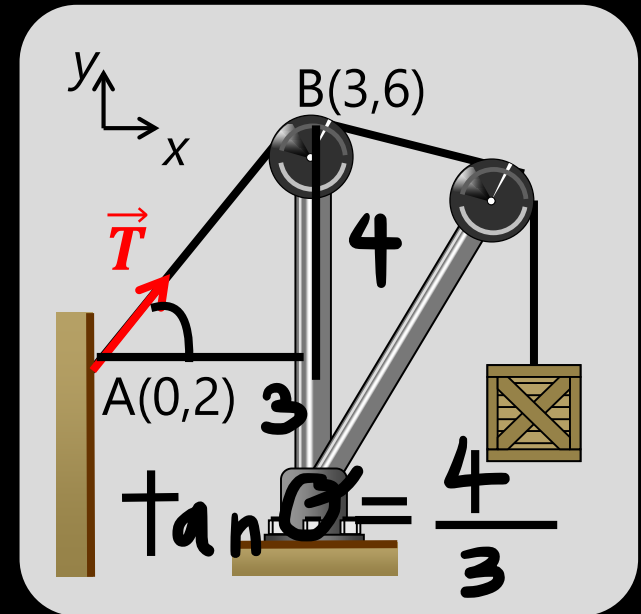
$$\frac{\sin 30^\circ}{R} = \frac{\sin 68,3^\circ}{15}$$



$$R = \frac{15 \sin 30^\circ}{\sin 68,3^\circ} = 8,07 \text{ N}$$

## Quiz #1

La tension dans le câble fixé au point A est  $T = 500$  N. Les coordonnées des points A et B sont en mètres.



Quelles expressions décrivent  
correctement le vecteur tension  $\vec{T}$  ?

**A :**  $\vec{T} = (3\vec{i} + 4\vec{j})$  N

**B :**  $\vec{T} = (300\vec{i} + 400\vec{j})$  N

**C :**  $\vec{T} = 300\vec{i} + 400\vec{j}$

**D :**  $\vec{T} = 500$  N à  $53,1^\circ$

Pour obtenir les composantes cartésiennes, il faut maîtriser la  
notion de **vecteur unitaire**.

# Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## Vecteur unitaire

Vecteur de norme 1 et sans unité qui permet d'obtenir n'importe quel vecteur ayant la même orientation. En mécanique, on obtient souvent le vecteur unitaire à partir de la géométrie du problème.

On note un vecteur unitaire à l'aide d'un « chapeau » (ex. :  $\hat{u}$ ,  $\hat{\lambda}$ , etc.)

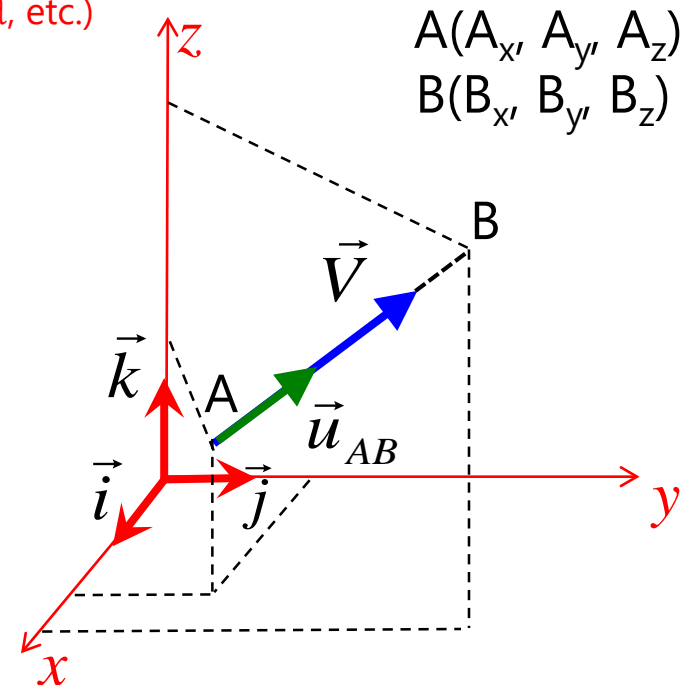
### Vecteur unitaire pointant de A vers B

$$\hat{u}_{AB} = \frac{\vec{r}_{AB}}{r_{AB}} = \frac{(B_x - A_x)\vec{i} + (B_y - A_y)\vec{j} + (B_z - A_z)\vec{k}}{\sqrt{(B_x - A_x)^2 + (B_y - A_y)^2 + (B_z - A_z)^2}}$$

Sans unité : les unités de distance au numérateur et au dénominateur se simplifient !

**Vecteur  $\vec{V}$  qui pointe dans la direction de  $\hat{u}_{AB}$**   $\vec{V} = V\hat{u}_{AB}$

Unités :  $\vec{V}$  a les mêmes unités que  $V$ .



## Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

### Décrire un vecteur 3D par la méthode des cosinus directeurs

On peut décrire un vecteur 3D en donnant :

- Sa norme  $V$  ;
- Les trois angles  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  et  $\theta_z$  que le vecteur fait avec chacun des axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ .

(En fait deux angles seulement sont suffisants.)

Les composantes cartésiennes du vecteur sont alors :

$$V_x = V \cos \theta_x$$

$$V_y = V \cos \theta_y$$

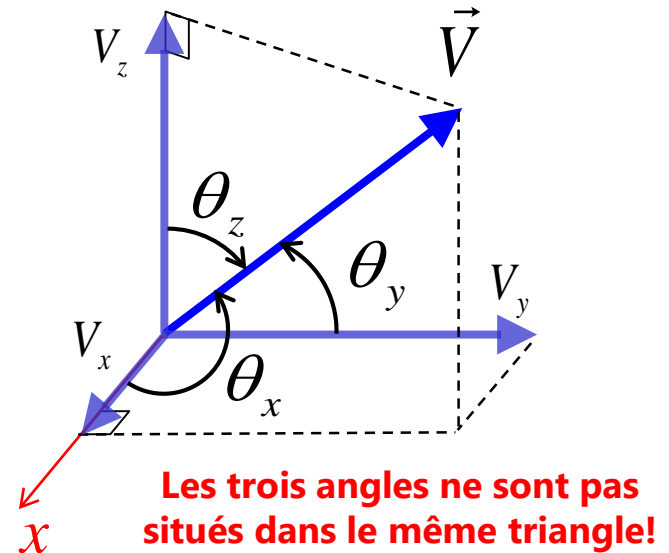
$$V_z = V \cos \theta_z$$

Puisque

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

alors :

$$\cos^2 \theta_x + \cos^2 \theta_y + \cos^2 \theta_z = 1$$



$$\theta_x + \theta_y + \theta_z \neq 180^\circ$$

# Révision – Lois du mouvement de Newton

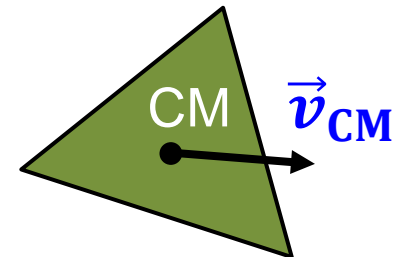
## 1<sup>re</sup> loi – Principe de l'inertie

Dans un référentiel galiléen (non accéléré), lorsque la somme des forces sur un système est nulle, alors le vecteur vitesse du centre de masse (CM) du système demeure constant. Ainsi, il y a 2 possibilités :

- Le CM est immobile et le demeure (vitesse nulle).

OU

- Le CM se déplace à vitesse constante sans changer de direction.



On appelle  $\vec{R}$   
**résultante** la  
somme des  
forces.

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v}_{\text{CM}} \text{ est constante}$$

Quand la résultante est nulle, la **norme** et l'**orientation** de la vitesse restent constantes.



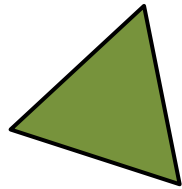


# Révision – Lois du mouvement de Newton

## Système isolé et système pseudo-isolé

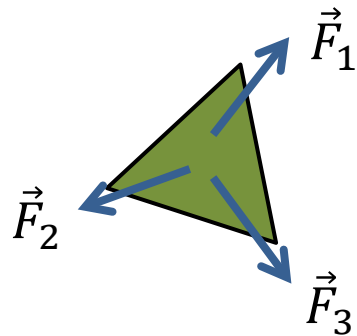
On distingue deux cas possibles où la 1<sup>re</sup> loi de Newton s'applique :

- **Système isolé** : aucune force externe ne s'applique sur le système.



$$\vec{R} = \sum \vec{F} = \vec{0}$$

- **Système pseudo-isolé** : des forces externes s'appliquent sur le système, mais leur résultante est nulle.



$$\vec{R} = \sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$$

Quel cas survient le plus souvent selon vous?



# Révision – Lois du mouvement de Newton

## 2<sup>e</sup> loi – Principe fondamental de la dynamique

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces appliquées sur un système est égale au produit de la masse de la particule par l'accélération du centre de masse du système.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_{\text{CM}}$$



Les forces à considérer dans la somme sont celles qui **s'exercent sur le système par des éléments qui ne font pas partie du système.**

Si la somme des forces est nulle, alors on retrouve la 1<sup>re</sup> loi :

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{a}_{\text{CM}} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{v}_{\text{CM}} \text{ est constante}$$

# Révision – Lois du mouvement de Newton

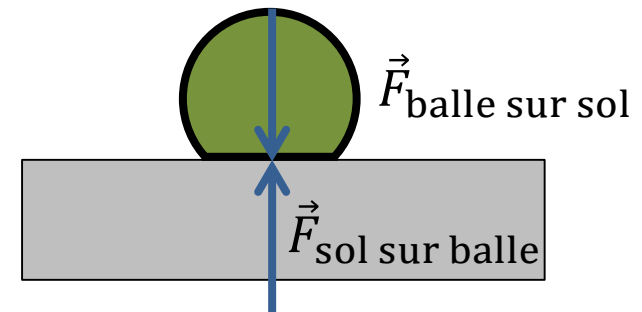
## 3<sup>e</sup> loi – Principe d'action-réaction

Lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une action mécanique représentée par une force, le corps B exerce sur A une action mécanique représentée par une force de **même norme**, de **même direction** et de **sens contraire** à celle exercée par A sur B.



$$\vec{F}_{A \text{ sur } B} = -\vec{F}_{B \text{ sur } A}$$

$$\vec{F}_{\text{balle sur sol}} = -\vec{F}_{\text{sol sur balle}}$$



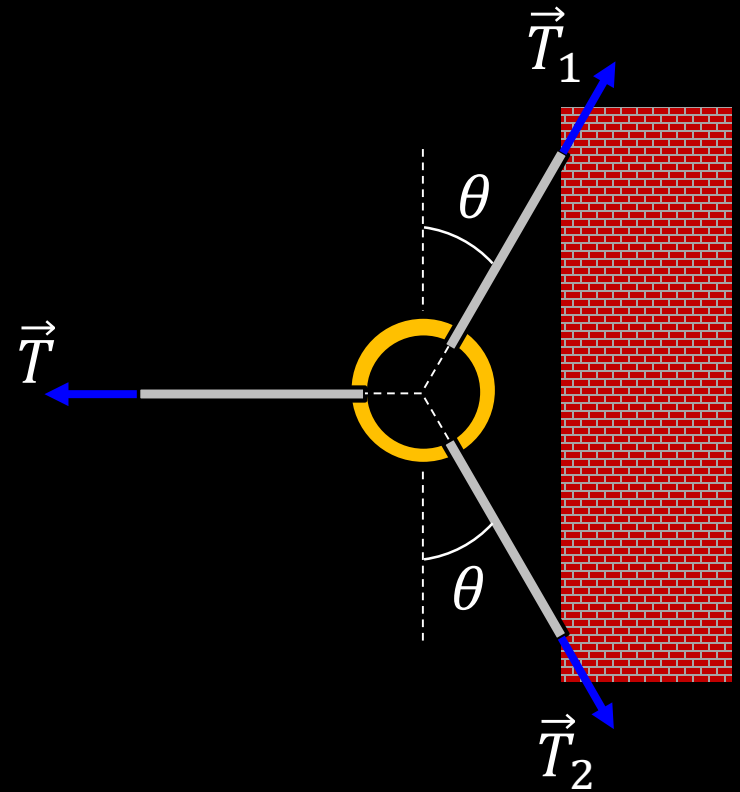
Cela implique que toutes les forces viennent par paires!

Pour être une paire action-réaction, deux forces doivent être de **même nature**!  
(deux forces de gravité, deux forces de frottement, etc.)

## Quiz #2

### Trois câbles et un anneau

Trois câbles sont fixés à un anneau. On tire sur le câble horizontal avec une force  $\vec{T}$ . En réaction à la force  $\vec{T}$ , les câbles de droite (fixés au mur) se tendent de sorte que l'anneau est immobile. L'angle entre les câbles de droite et la verticale est donné par  $\theta$ .



**Les tensions  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$  sont de même module.  
Le module de chacune vaut la moitié du module de  $\vec{T}$ .**

$$T_1 = T_2 = T/2$$

**A : Vrai**

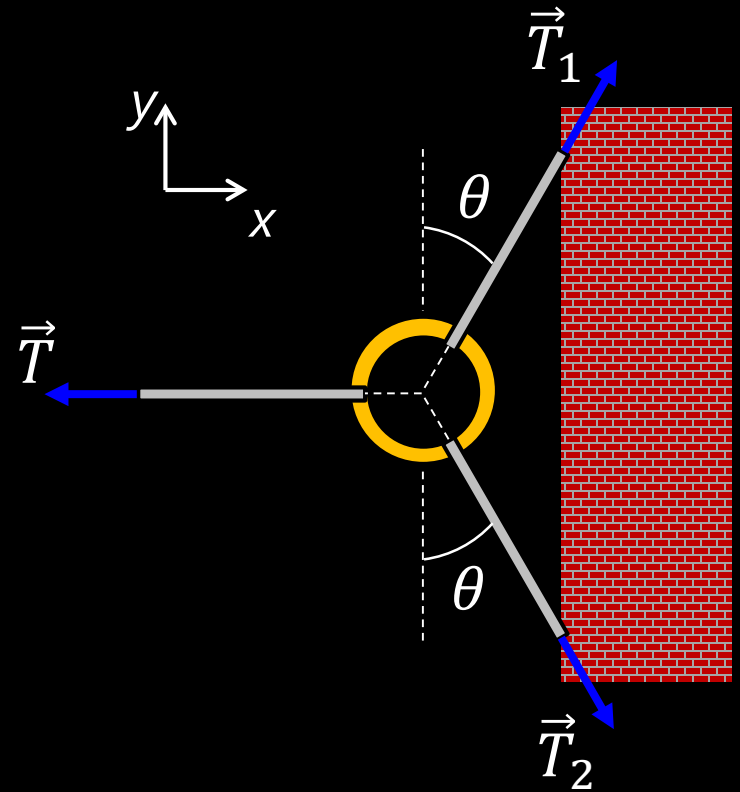
**B : Faux**

## Quiz #3

### Trois câbles et un anneau

Puisque l'anneau est immobile, on peut appliquer la 1<sup>re</sup> loi de Newton sur l'anneau ( $\sum \vec{F} = \vec{0}$ ).

On suppose que l'on connaît  $T$ . En travaillant avec les axes  $x$  et  $y$ , on peut alors trouver  $T_1$  et  $T_2$ .



Quelles sont les expressions de  $T_1$  et de  $T_2$  en fonction de  $T$  et de la géométrie du problème ?

**A :**  $T_1 = T_2 = \frac{T}{2}$

**B :**  $T_1 = T_2 = \frac{T}{2 \sin \theta}$

**C :**  $T_1 = T_2 = \frac{T}{2 \tan \theta}$

**D :**  $T_1 = T_2 = \frac{T}{2 \cos \theta}$

## Quiz #4

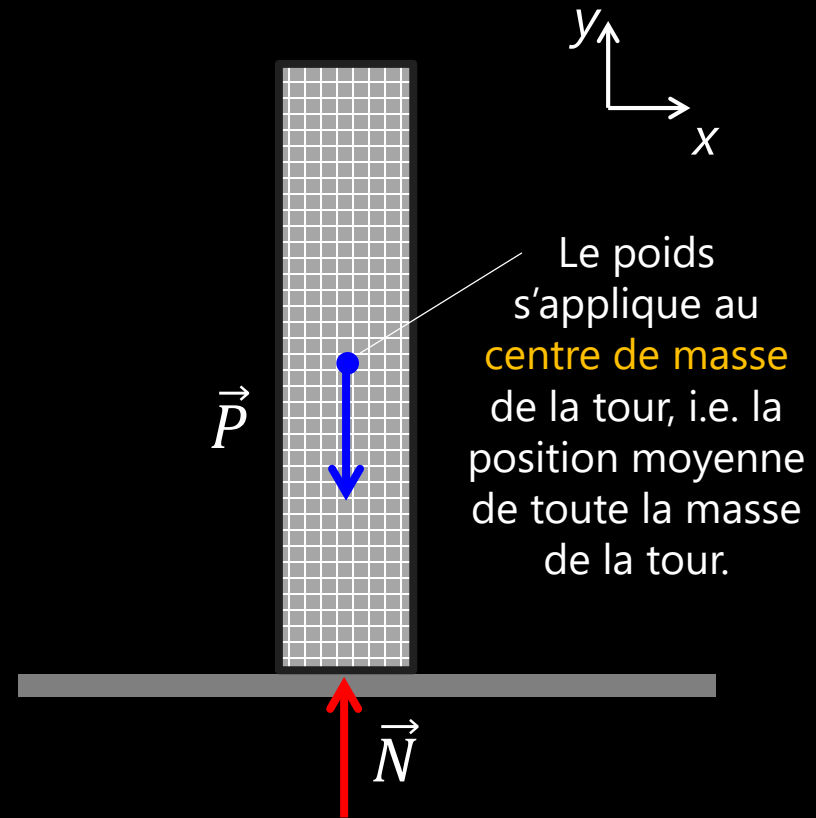
### La Place Ville Marie

Quelles forces agissent sur l'édifice ?

L'édifice subit deux forces principales : son poids dirigé vers le bas et la force normale exercée par le sol vers le haut.

Pour être immobile par rapport au sol, l'édifice doit être à l'équilibre statique (1<sup>re</sup> loi de Newton). La résultante des deux forces doit être nulle, ce qui implique que :

$$\sum F_y = P - N = 0 \Rightarrow P = N$$

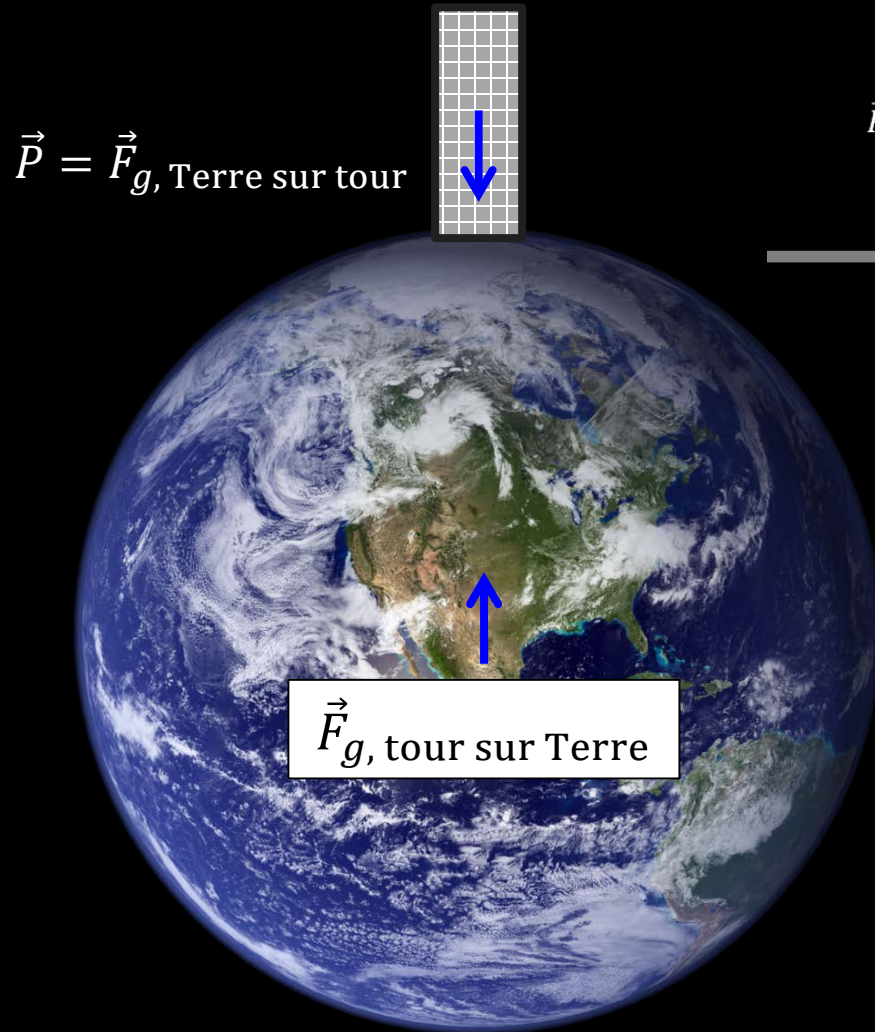


**Le poids  $\vec{P}$  de la Place Ville Marie et la normale  $\vec{N}$  forment une paire de forces action-réaction.**

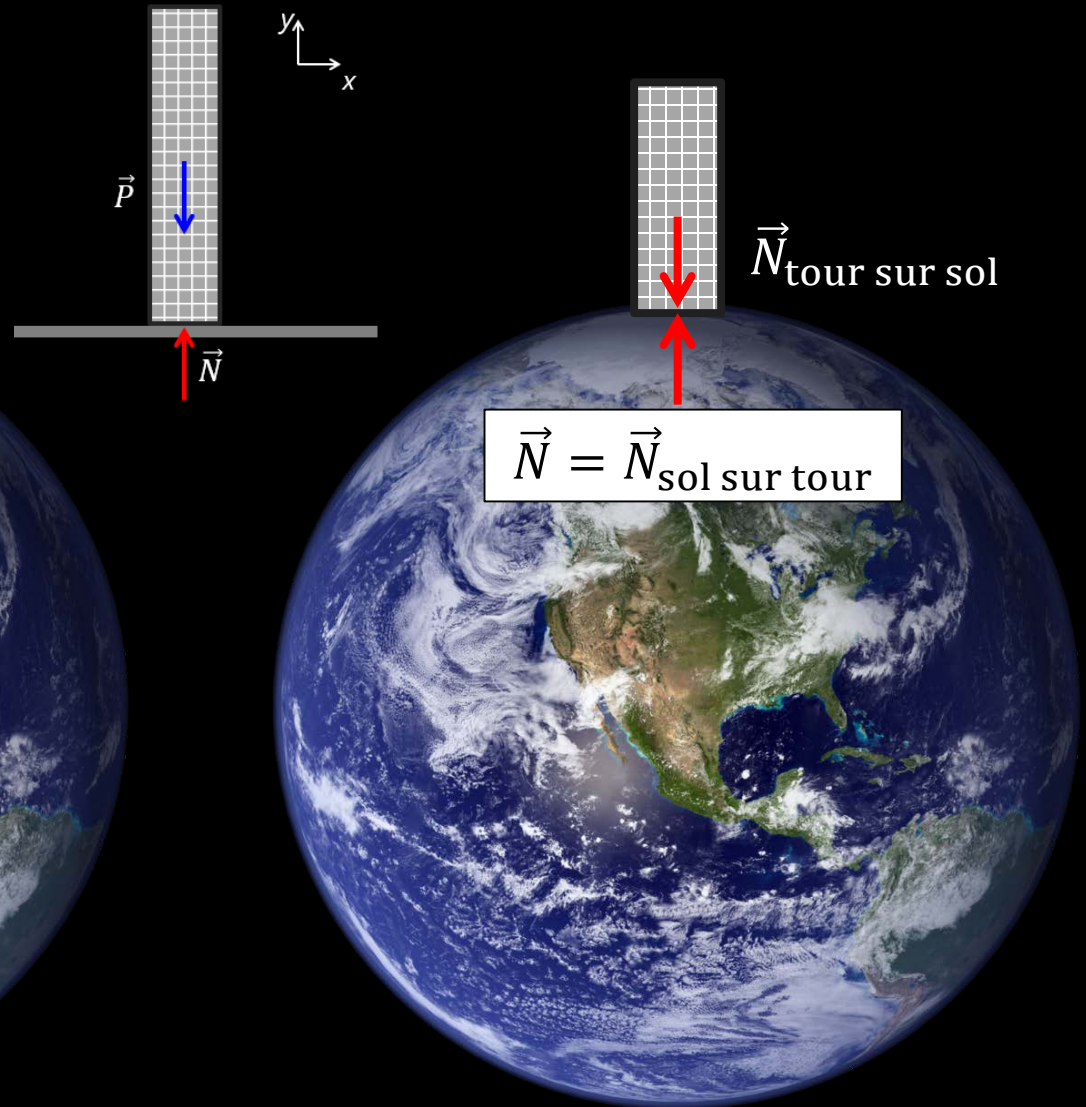
**A : Vrai**

**B : Faux**

## Paire action-réaction #1 (attraction gravitationnelle)



## Paire action-réaction #2 (normales, forces de contact)





# Révision

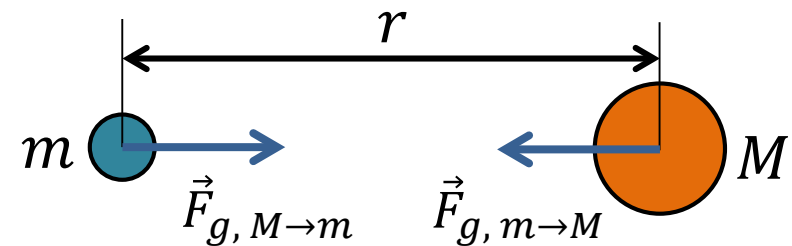
Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## Force gravitationnelle (poids)

Deux objets possédant une masse s'attirent mutuellement avec une force  $\vec{F}_g$  (ou  $\vec{P}$ ) de module :

$$F_g = \frac{GMm}{r^2}$$

Constante gravitationnelle  
 $G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$



## Paire de forces action-réaction

(même nature, module, sens opposé et s'appliquent sur deux objets en interaction l'un avec l'autre)

## Champ gravitationnel et poids

La force ressentie par  $m$  est le produit de sa masse et du champ gravitationnel généré par la masse  $M$  :

**Poids d'une  
masse  $m$  [N]**

$$F_g = mg$$

À la surface de la Terre ( $r \approx 6380 \text{ km}$ ,  $M \approx 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ ),  $g$  est à peu près constante.

**Champ gravitationnel  
[N/kg ou  $\text{m/s}^2$ ]**

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

Dans ce cours, on utilise  **$g = 9,81 \text{ m/s}^2$** .

# Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## Force effectuée par un ressort idéal (loi de Hooke)

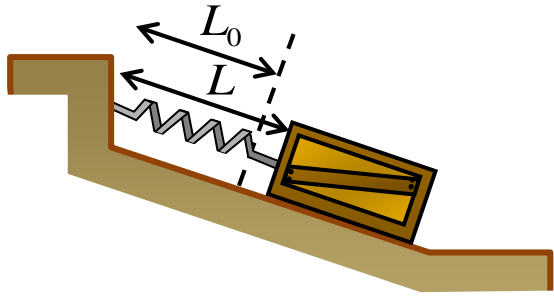
Un ressort est décrit par sa longueur naturelle  $L_0$  et sa constante de rappel  $k$  (en N/m).

### Loi de Hooke vectorielle

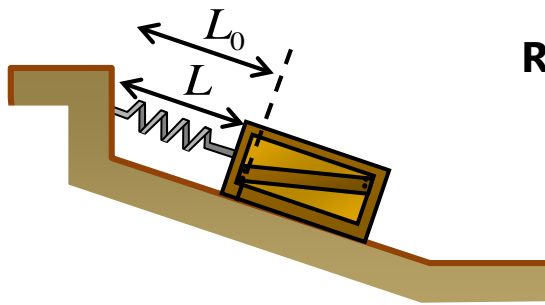
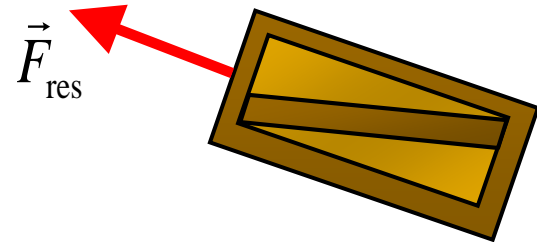
$$\vec{F}_{\text{res}} = -k\Delta\vec{L} = -k(\vec{L} - \vec{L}_0)$$

### Loi de Hooke en module

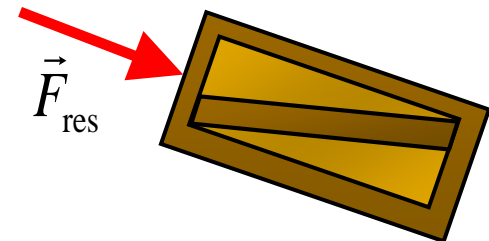
$$F_{\text{res}} = k|L - L_0|$$



Ressort étiré ( $L > L_0$ )



Ressort comprimé ( $L < L_0$ )

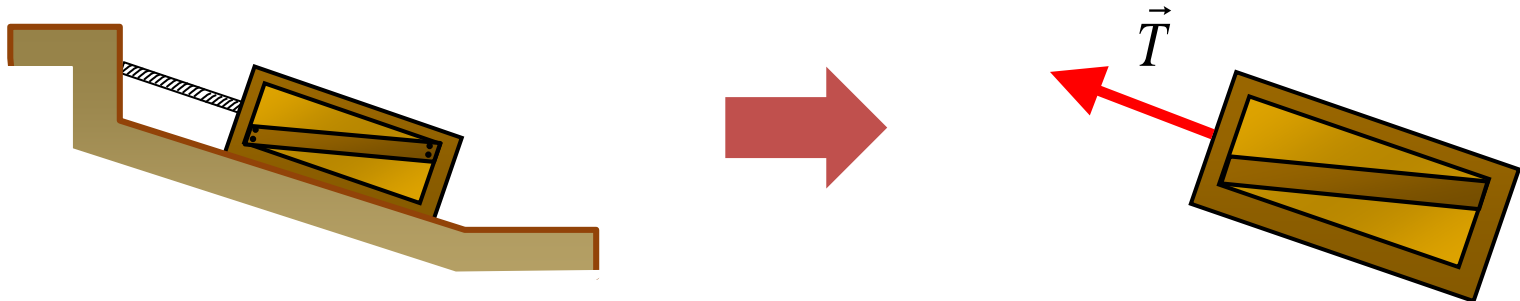


# Révision

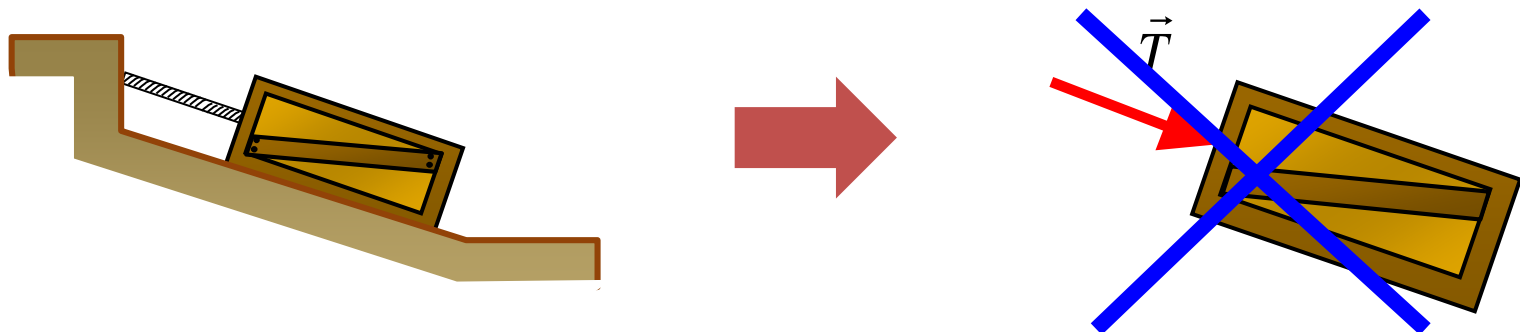
Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## Tension dans un câble

Une corde travaille seulement en tension (jamais en compression). Ainsi, une corde **tire toujours sur un objet**.



Ceci n'a jamais été observé expérimentalement (du moins, à ce jour).



# Révision

Nous supposons que vous savez déjà appliquer ce qui suit avant de suivre ce cours (vous vous perfectionnerez en vous exerçant) :

## **Force de frottement sec entre deux surfaces (statique et cinétique)**

Le frottement apparaît entre deux surfaces à cause de leur rugosité (souvent microscopique).

Le frottement est toujours :

- **Tangent aux surfaces** en contact ;
- En **sens opposé au mouvement (imminent)** d'un objet.



**Frottement statique**

Les skis sont immobiles.

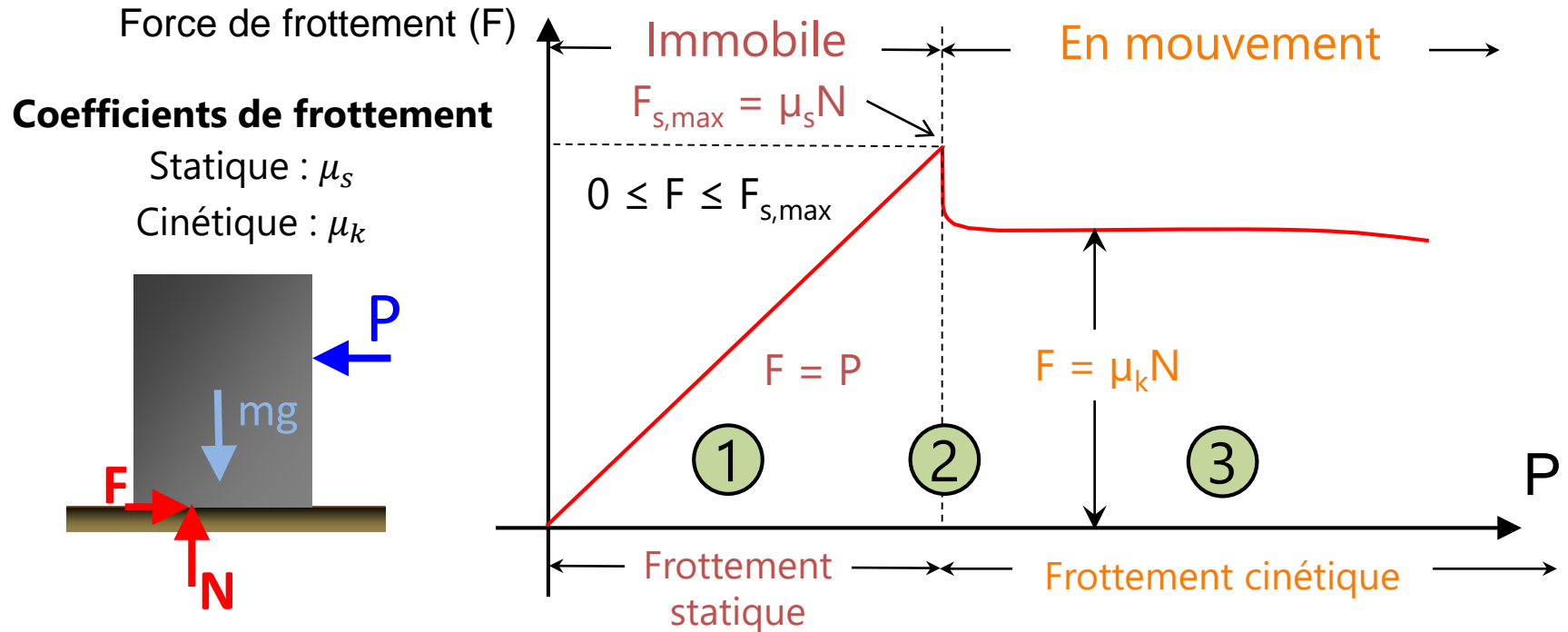


**Frottement cinétique**

Les skis sont en mouvement par rapport au sol.

# Révision

## Force de frottement sec entre deux surfaces (statique et cinétique)



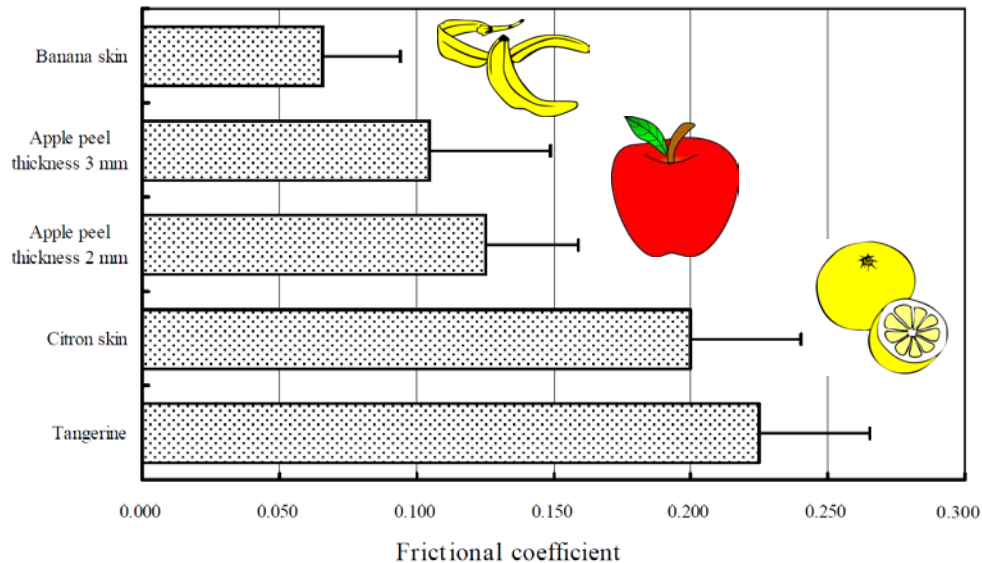
- ① 1. Le bloc demeure **immobile** et le **frottement statique** est égal à  $P$ .
- ② 2. Le frottement atteint une grandeur maximale : c'est le **frottement statique maximal**  $F_{s,max} = \mu_s N$ . Le bloc est **sur le point de se déplacer**.
- ③ 3. Si on augmente  $P$ , les surfaces ne peuvent plus générer le frottement nécessaire pour compenser  $P$  et le bloc se met **en mouvement**. C'est le **frottement cinétique** qui est à peu près constant :  $F = \mu_k N$ .

## Coefficients de frottement

$\mu_k < \mu_s$	$\mu_s$	$\mu_k$	
Acier sur acier	0,78	0,42	
Cuivre sur fer	1,05	0,29	
Verre sur verre	0,94	0,40	
Chêne sur chêne //	0,62	0,48	<b>sans unité</b>
Chêne sur chêne $\perp$	0,54	0,32	
Téflon sur acier	0,04	0,04	
Articulations humaines	0,004	0,004	

**Quantités mesurées expérimentalement**

## Différents fruits



## Prix IgNobel 2014



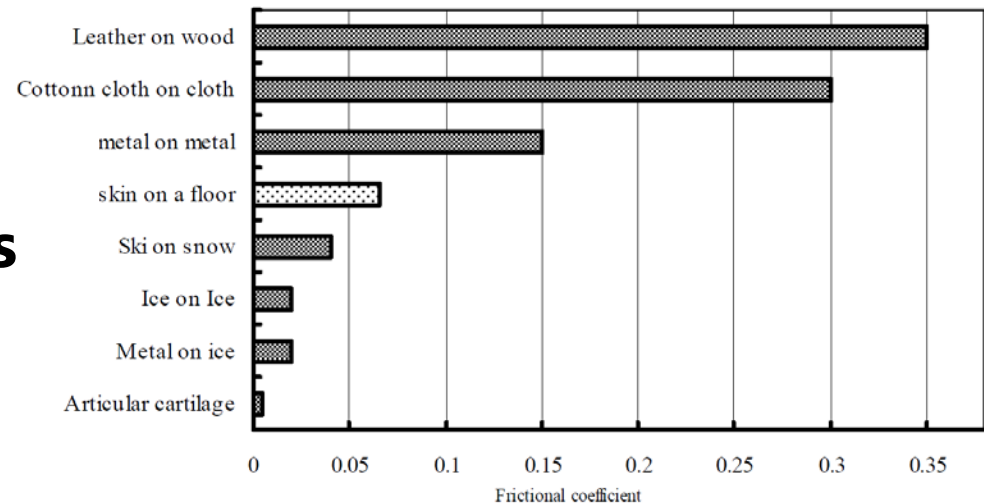
Tribology Online, 7, 3 (2012) 147-151.  
ISSN 1881-2198  
DOI 10.2474/trol.7.147

Short Communication

### Frictional Coefficient under Banana Skin

Kiyoshi Mabuchi<sup>1)\*</sup>, Kensei Tanaka<sup>2)</sup>, Daichi Uchijima<sup>2)</sup> and Rina Sakai<sup>1)</sup>

## Différentes surfaces



**Le coefficient de frottement dépend des surfaces en présence.**

Fig. 7 Frictional coefficient of general materials [2,3]

# Ce que vous devez faire d'ici au prochain cours

## Prenez vos aises !

- Allez explorer le site Moodle (informations, exercices, etc.) ;
- Récupérez les notes de cours d'aujourd'hui et relisez-les afin d'être à jour dans vos connaissances avant de poursuivre le cours ;
- Il y a sur Moodle des exercices formatifs sur les notions mathématiques que vous devez connaître avant de débiter le cours : vous pouvez les essayer.

## Assistez à la première séance de travaux dirigés

- Vous aurez du temps pour résoudre des problèmes sur la matière vue aujourd'hui et pourrez poser des questions aux répétiteurs.

## Test diagnostique

- N'oubliez pas de faire le test diagnostique sur Moodle ;
- Si vous rencontrez des **difficultés d'accès au test, écrivez au responsable du cours** sans attendre.



BON TRIMESTRE !