ACADÉMIE DE TOULOUSE
Liberté Égalité Fraternité

Document à destination des enseignants de Sciences Physiques et de Sciences de l'Ingénieur
Eléments de description des programmes, points de vigilance, exemples… pour faciliter l'articulation des deux disciplines

<table>
<tr><th>Sciences Physiques</th><th>Sciences de l'Ingénieur</th></tr>
<tr><td>LOIS DE NEWTON
(Mécanique du point)</td><td>PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE
(Mécanique du solide)</td></tr>
<tr><td>Le programme de terminale permet d'aborder explicitement les notions de mouvements et d'interactions.

L'élève doit être capable de :
- Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées pour en déduire :
• la vectrice accélération du centre de masse, les forces appliquées au système étant connues ;
• la somme des forces appliquées au système, le mouvement du centre de masse étant connu. »

Cas étudiés :

Mouvement plan dans un champ de pesanteur uniforme. Mouvement plan dans un champ électrique uniforme. Equations horaires et équation de la trajectoire.
<u>Sujet -2022 – La Panenka</u>

Mouvement d'un satellite ou d'une planète dans un champ de gravitation newtonien (repère de Frenet ; lois de Képler) : déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire.

<u>Sujet-2021-En orbite autour de la Lune</u></td><td>Le programme de terminale permet de développer les compétences (titre en gras) et connaissances associées (puces) suivantes.

L'élève doit être capable de :

Déterminer la grandeur flux (vitesse linéaire ou angulaire) lorsque les actions mécaniques sont imposées
Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé.
• Principe fondamental de la dynamique
• Solide en rotation autour d'un axe fixe dont le centre de gravité est sur l'axe de rotation
• Notion d'inertie et d'inertie équivalente
• Solide en translation rectiligne

Compléments sur les connaissances associées :
• Mécanique du point
  ○ principe fondamental de la dynamique
• Mécanique du solide
  ○ principe fondamental de la dynamique pour les mouvements de translation et de rotation autour d'un axe fixe
Remarques :
• Les compétences "modéliser les mouvements" et "modéliser les actions mécaniques" sont des prérequis à celles énoncées ci-dessus.
• Le "Principe Fondamental de la Statique" (PFS) peut être présenté comme un cas particulier du PFD : cas des mouvements à vitesse constante ou des situations d'équilibre (repos).</td></tr>
<tr><td>Points de vigilance, commentaires…

▪ Le programme de sciences physiques cite la deuxième loi de Newton (aucune référence n'est faite au principe fondamental de la dynamique) : $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a}$

▪ La notion de quantité de mouvement n'est pas au programme et donc aucune étude ne porte sur des systèmes ouverts.

▪ Seule la mécanique du point est traitée donc la relation des moments dans le cadre du PFD n'est pas étudiée.

▪ La très grande majorité des activités de physique en mécanique sont liées à un mouvement de pesanteur dans un champ uniforme.</td><td>Précisions sur les attendus :

En SI, le PFD ne peut se réduire à "somme des forces extérieures égale masse fois accélération du centre de gravité" puisque les rotations sont prises en compte ; il faut donc associer obligatoirement "somme des moments des forces extérieures égale moment d'inertie fois accélération angulaire".

Le PFD s'écrit donc :
$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\,\vec{a}$$
$$\sum \overrightarrow{M^{G}_{F_{ext}}} = J\,\vec{\alpha}$$
m : masse du solide en kg
a : accélération linéaire du centre d'inertie en $m \cdot s^{-2}$
J : moment d'inertie du solide en $kg \cdot m^2$
α : accélération angulaire du solide en $rad \cdot s^{-2}$

Un formulaire pour le calcul du moment d'inertie des principaux types de volume (solide) rencontrés est fourni.</td></tr>
</table>

En conclusion :
Le PFD = 2^{ième} loi de NEWTON (*Théorème de la résultante dynamique*)
+ Théorème du moment dynamique

Points de convergence et différences d'approche

Sciences Physiques	Sciences de l'Ingénieur

Action mécanique

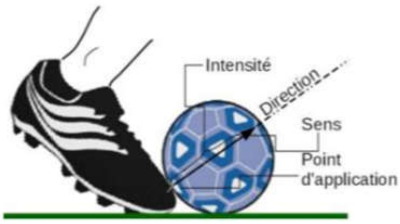
Lorsqu'un système agit sur un autre système, on parle d'action mécanique. Une action mécanique est susceptible de :

- **Faire varier un mouvement**
- **Maintenir en équilibre**
- **Déformer un système matériel**

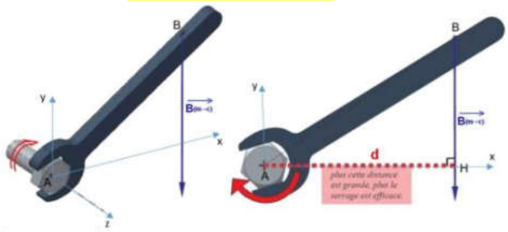
Modélisation d'une action mécanique

Une action mécanique est modélisée par un vecteur force $\vec{F}$ qui est caractérisé par :

- Son point d'application
- Sa direction
- Son sens
- Sa valeur mesurée en Newton [N] (on parle parfois de son intensité ou de la norme du vecteur)



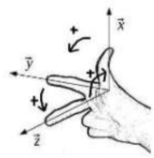
Moment d'une force



Norme : $\left\| \overrightarrow{M^{A}_{Bm\to c}} \right\| = \left\| \overrightarrow{B_{m\to c}} \right\| . d$

Vecteur moment : $\overrightarrow{M^{A}_{Bm\to c}} = -\left\| \overrightarrow{B_{m\to c}} \right\| . d . \vec{z}$

Signe du vecteur moment :



Modélisation par un torseur

Une action mécanique d'un système matériel sur un autre peut être décomposée en 2 actions élémentaires, modélisées par des vecteurs :

- Le vecteur force ou la résultante [N]

$$\overrightarrow{R_{S1\to S2}} = X_{1\to 2} . \vec{x} + Y_{1\to 2} . \vec{y} + Z_{1\to 2} . \vec{z}$$

- Le vecteur moment [N.m]

$$\overrightarrow{M^{A}_{Rs1\to s2}} = L_{A1\to 2} . \vec{x} + M_{A1\to 2} . \vec{y} + N_{A1\to 2} . \vec{z}$$

Ces 2 vecteurs composent le torseur des actions mécaniques :

$$\{T_{S2\to S1}\} = {}_{A}\begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_{S1\to S2}} \\ \overrightarrow{M^{A}_{Rs1\to s2}} \end{Bmatrix} = {}_{A}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & L_{A1\to 2} \\ Y_{1\to 2} & M_{A1\to 2} \\ Z_{1\to 2} & N_{A1\to 2} \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Ecriture d'un torseur :

Nom de la liaison	Schématisation plane	Schématisation spatiale	Degrés de liberté	Torseur des actions mécaniques transmissibles	Torseur des actions mécaniques simplifiées dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$
Ponctuelle de normale $(A, \vec{y})$			T R 1 1 0 1 1 1	${}_{A}\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$	${}_{A}\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
Rotule de centre O			T R 0 1 0 1 0 1	${}_{O}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ Z_{1\to 2} & 0 \end{Bmatrix}_R$	${}_{O}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
Appui plan de normale $(D, \vec{y})$			T R 1 0 0 1 1 0	${}_{D}\begin{Bmatrix} 0 & L_{A1\to 2} \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & N_{A1\to 2} \end{Bmatrix}_R$	${}_{D}\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & N_{A1\to 2} \end{Bmatrix}_R$
Pivot glissant d'axe $(C, \vec{z})$			T R 0 0 0 0 1 1	${}_{C}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & N_{A1\to 2} \\ Y_{1\to 2} & M_{A1\to 2} \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$	${}_{C}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
Pivot d'axe $(A, \vec{z})$			T R 0 1 0 0 0 0	${}_{A}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & 0 \\ Y_{1\to 2} & M_{A1\to 2} \\ Z_{1\to 2} & N_{A1\to 2} \end{Bmatrix}_R$	${}_{A}\begin{Bmatrix} X_{1\to 2} & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
Glissière d'axe $(A, \vec{x})$			T R 1 0 0 0 0 0	${}_{A}\begin{Bmatrix} 0 & L_{A1\to 2} \\ Y_{1\to 2} & M_{A1\to 2} \\ Z_{1\to 2} & N_{A1\to 2} \end{Bmatrix}_R$	${}_{A}\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1\to 2} & 0 \\ 0 & N_{A1\to 2} \end{Bmatrix}_R$

Sciences Physiques	Sciences de l'Ingénieur

Sciences Physiques

Exemples de forces vues en première et terminale

- **Poids $\vec{P}$:** $\vec{P} = m \times \vec{g}$

  Avec P : poids (N) ; m : masse (kg) ;
  g : intensité du champ de pesanteur terrestre (N·kg^{-1}).
  Point d'application : centre de masse
  Direction : verticale
  Sens : vers le bas

- **Force électrique :** $\vec{F} = q \times \vec{E}$

  Avec F : poids (N) ; q : charge électrique (C) ;
  E champ électrique (N·C^{-1} ou V·m^{-1})

- **Force d'attraction gravitationnelle :**

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\frac{G(m_A \times m_B)}{d_{AB}^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

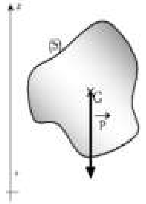
Point de vigilance

- Aucune action mécanique en lien avec un ressort n'est étudiée en sciences physiques.
- La poussée d'Archimède et les forces pressantes ont été vues en première eds physique-chimie mais, d'un point de vue de la discipline physique chimie ne sont donc pas exigibles pour un élève en eds SI complément sciences physiques : les élèves ayant choisi SI en première ne sont pas tenus de choisir l'eds physique chimie.

Sciences de l'Ingénieur

Exemples

- **Torseur Poids $\vec{P}$:**



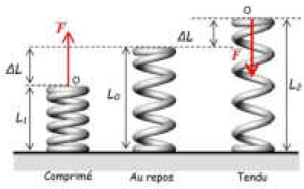
$$\{T_{P\to S}\} = {}_G\begin{Bmatrix} \vec{P} = -m.g.\vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = {}_G\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m.g & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

On peut également modéliser une Force par un vecteur : $\vec{P} = -m.g.\vec{z}$

- **Action mécanique d'un ressort $\overrightarrow{R_{ressort}}$:**

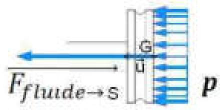
$$\{T_{Ressort\to S}\} = {}_O\begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_{Ressort\to S}} = \vec{F} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

Avec : $\|\vec{F}\| = k.\Delta L$



- **Action d'un fluide sous pression sur une surface $\overrightarrow{F_{fluide}}$:**

$$\{T_{fluide\to S}\} = {}_G\begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_{fluide\to S}} = \vec{F} = p.S.\vec{u} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$



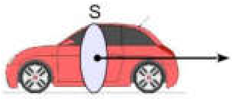
- **Force de frottement fluide (traînée) $\vec{F}$:**

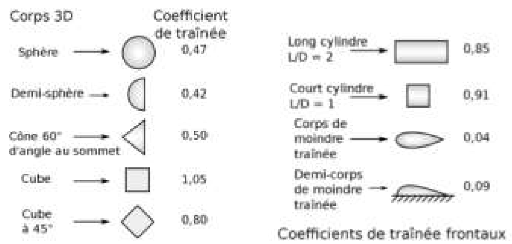
$$F = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times S \times C_x$$

ρ : masse volumique du fluide ($kg.m^3$)
v : vitesse du système ($m.s^{-1}$)
S : surface de référence (m^2)
C_x : coefficient de traînée

Relation non étudiée, donnée si besoin

Point d'application : point de contact
Direction : celle du mouvement
Sens : opposé à celui du mouvement





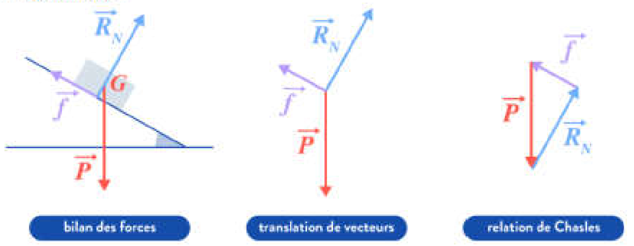
Coefficients de traînée frontaux

1ère loi de Newton (Principe d'inertie)

Dans un référentiel galiléen, un système isolé ou soumis à des forces qui se compensent poursuit son mouvement rectiligne uniforme (ou reste immobile)

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \iff \vec{v} = \overrightarrow{c^{ste}} \iff \vec{a} = \vec{0}$$

La résolution d'un problème de statique se fait par **méthode analytique** ou **graphique**.



$\vec{f} + \vec{R_N} + \vec{P} = \vec{0}$

Points de vigilance

Ce type de résolution graphique est très rarement rencontré en physique chimie. Aucune partie de programme de terminale du complément sciences physiques ne cite spécifiquement la notion d'équilibre ou bien l'utilisation de premier principe.

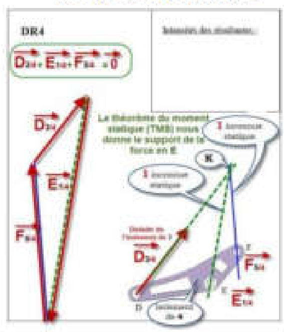
PFS - Principe Fondamental de la Statique

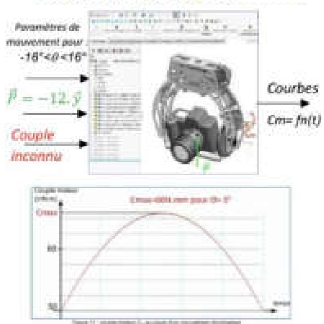
Si un ensemble matériel {S} est en équilibre par rapport à un repère R :

$$\{T_{\bar{S}\to S}\} = {}_A\begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_R$$

- Théorème de la résultante : $\sum \overrightarrow{F_{\bar{S}\to S}} = \vec{0}$
- Théorème du moment statique en A : $\sum \overrightarrow{M_{A,F_{\bar{S}\to S}}} = \vec{0}$

La résolution d'un problème de statique peut se faire par :
- **méthode analytique** (6 équations dans l'espace, 3 dans le plan)
- **méthode graphique**
- **simulation progiciel**





Sciences Physiques	Sciences de l'Ingénieur
2ème loi de Newton **Si le système subit une accélération dans un référentiel supposé galiléen :** $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a}$ $\sum \overrightarrow{F_{ext}}$: somme des forces extérieures appliquées au système m : masse du solide en kg a : accélération du centre de masse en m·s^{-2}	**PFD - Principe fondamental de la dynamique** $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\,\vec{a}$ $\sum \overrightarrow{M^G_{F_{ext}}} = J\,\vec{\alpha}$ m : masse du solide en kg a : accélération linéaire du centre d'inertie en m/s² J : moment d'inertie du solide en kg.m² α : accélération angulaire du solide en rd/s² *Un formulaire pour le calcul du moment d'inertie des principaux types de volume (solide) rencontrés est fourni.*

EXTRAITS DE SUJETS DE BAC DE SCIENCES PHYSIQUES

QUESTIONS	ELEMENTS DE CORRECTION

Sujet -2022 – La Panenka

QUESTIONS

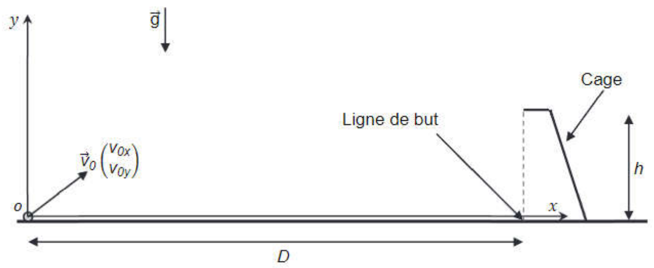


Figure 1. Schéma de la situation

Q2. Déterminer l'expression des coordonnées du vecteur accélération dans le repère proposé sur la figure 1.

Q3. Montrer que les équations horaires du mouvement sont les suivantes :

$$x(t) = v_{0x}t$$

$$y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t$$

ELEMENTS DE CORRECTION

Q2. On applique la deuxième loi de Newton au système {ballon} de masse m.

$\Sigma \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a}$

$\vec{P} = m.\vec{a}$

$m.\vec{g} = m.\vec{a}$

$\vec{g} = \vec{a}$

$\vec{g}$ étant vertical et orienté vers le bas alors $\vec{a}\begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{pmatrix}$

Q3. Comme $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, on primitive pour obtenir les coordonnées de $\vec{v}$

$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = C_1 \\ v_y = -g.t + C_2 \end{pmatrix}$

En tenant compte des conditions initiales, à $t = 0$ s, $\vec{v}(t=0) = \vec{v_0}\begin{pmatrix} v_{0x} \\ v_{0y} \end{pmatrix}$, on en déduit que $C_1 = v_{0x}$ et $C_2 = v_{0y}$.

$\vec{v}\begin{pmatrix} v_x = v_{0x} \\ v_y = -g.t + v_{0y} \end{pmatrix}$

On nomme M le centre du ballon, on a $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$, on primitive pour trouver les coordonnées de $\overrightarrow{OM}$.

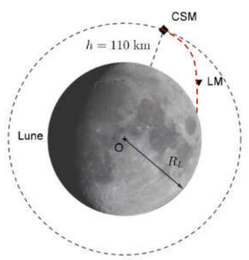
$\overrightarrow{OM}\begin{pmatrix} x = v_{0x}.t + C_3 \\ y = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_{0y}.t + C_4 \end{pmatrix}$

En tenant compte des conditions initiales, à $t = 0$ s, le centre du ballon est à l'origine du repère, on en déduit que $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$\overrightarrow{OM}\begin{pmatrix} x = v_{0x}.t \\ y = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_{0y}.t \end{pmatrix}$

Sujet-2021-En orbite autour de la Lune

QUESTIONS



Le CSM est en orbite supposée circulaire autour de la Lune à une altitude de 110 km. Le LM « Eagle » descend vers la Lune. Il est alors à plus de 350 000 km de la Terre.

L'étude qui suit se fait dans le référentiel lunocentrique supposé galiléen. On ne tient compte que de l'action de la Lune sur le CSM.

1. Reproduire le schéma précédent en indiquant la direction dans laquelle se situe le Soleil par rapport à la Lune.

   Représenter sur ce schéma, sans souci d'échelle, le vecteur force qui permet au CSM de rester en orbite circulaire autour de la Lune.
2. Montrer, en appliquant la deuxième loi de Newton, que l'accélération du CSM est indépendante de sa masse.
3. En déduire l'expression de la vitesse v du CSM en fonction de G, M_L et r, où r est la distance séparant le CSM du centre de la Lune.

ELEMENTS DE CORRECTION

2. *(2 pts) Montrer, en appliquant la deuxième loi de Newton, que l'accélération du CSM est indépendante de sa masse.*

Deuxième loi de Newton au système {CSM} dans le référentiel lunocentrique :

$$m\,\vec{a} = \overrightarrow{F_{\frac{L}{CSM}}}$$

$$m\,\vec{a} = \frac{G\,m\,M_L}{(R_L + h)^2} \cdot \overrightarrow{u_N}$$

$$\vec{a} = \frac{GM_L}{(R_L + h)^2} \cdot \overrightarrow{u_N}$$

Le vecteur $\overrightarrow{u_n}$ étant radial et centripète.

De l'expression ci-dessus, on en déduit que l'accélération est indépendante de la masse m du CSM.

3. (2,5 pts) En déduire l'expression de la vitesse v du CSM en fonction de G, M_L et r, où r est la distance séparant le CSM du centre de la Lune.

Dans la base de Frenet le vecteur accélération a pour expression générale :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{r} \cdot \overrightarrow{u_N} + \frac{dv}{dt}\,\overrightarrow{u_T}$$

Pour la situation étudiée, en projetant le vecteur accélération sur la base de Frenet, on obtient :

$$\frac{dv}{dt} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{v^2}{R_L + h} = \frac{G\,M_L}{(R_L + h)^2} \quad (2)$$

De la première relation, on déduit que la norme de la vitesse est constante, donc le mouvement est circulaire uniforme.

De la deuxième relation, en posant $r = R_L + h$, on en déduit l'expression de la vitesse du CSM :

$$v = \sqrt{\frac{GM_L}{r}}$$