

Synthèse chapitre 2 : Principe fondamental de la dynamique

Extrait du B.O. PCSI-2021 :

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Lois de Newton	
Quantité de mouvement Masse d'un système. Conservation de la masse pour un système fermé. Quantité de mouvement d'un point et d'un système de points. Lien avec la vitesse du centre de masse d'un système fermé.	Exploiter la conservation de la masse pour un système fermé. Etablir l'expression de la quantité de mouvement pour un système de deux points sous la forme : $\vec{p} = m \cdot \vec{v}(G)$
Première loi de Newton : principe d'inertie. Référentiels galiléens.	Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.
Notion de force. Troisième loi de Newton.	Etablir un bilan des forces sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur un schéma.
Deuxième loi de Newton. Théorème de la quantité de mouvement.	Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel ou du centre de masse d'un système fermé dans un référentiel galiléen. Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
Force de gravitation. Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Etudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.
Modèle d'une force de frottement fluide. Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute.	Exploiter, sans la résoudre analytiquement, une équation différentielle : analyse en ordres de grandeur, détermination de la vitesse limite, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique. Ecrire une équation adimensionnée. Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau.	Modéliser un comportement élastique par une loi de force linéaire, extraire une constante de raideur et une longueur à vide à partir de données mesurées ou fournies. Analyser la limite d'une modélisation linéaire à partir de documents expérimentaux.
Tension d'un fil Pendule simple.	Etablir l'équation différentielle du pendule simple. Justifier l'analogie avec l'oscillateur harmonique dans le cadre de l'approximation linéaire.
Modèle des lois de frottement de glissement : lois de Coulomb.	Exploiter les lois de Coulomb fournies dans les trois situations : équilibre, mise en mouvement, freinage. Formuler une hypothèse (quant au glissement ou non) et la valider.

Formulaire : Soit M un point matériel de masse m , observé dans un référentiel R .

Référentiel galiléen : si M est libéré de toute interaction ($\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$) alors il décrit une trajectoire rectiligne et uniforme dans un référentiel R privilégié appelé **référentiel galiléen** : $\vec{p}(M)_R = \overrightarrow{cte}$. Ceci implique que tout référentiel en translation rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel galiléen est un référentiel galiléen.

Dans la pratique, c'est **l'expérience** qui permet d'apprécier le caractère galiléen d'un référentiel.

Principe fondamental de la dynamique (P.F.D.) :

Supposons que M soit soumis à la résultante $\sum \vec{F}_{ext}$ des forces extérieures à M dans un référentiel R galiléen. Le principe fondamental de la dynamique postule que :

$$\left(\frac{d\vec{p}(M)_R}{dt} \right)_R = \sum \vec{F}_{ext}$$

Exemples de forces extérieures :

- Le poids : $\vec{p} = m \cdot \vec{g}$: définit la verticale locale du lieu.
- force de rappel élastique : $\vec{T} = -k \cdot (l(t) - l_0) \cdot \vec{u}_x = -k \cdot x(t) \cdot \vec{u}_x$, avec $x(t) = l(t) - l_0$: allongement du ressort.
- Force gravitationnelle : $\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \vec{u}_r$ avec $\vec{u}_r = \frac{\overrightarrow{M_1 M_2}}{M_1 M_2}$
- Poussée d'Archimède :
Tout corps immergé dans un (ou plusieurs) fluide(s) subit une force pressante résultante (notée $\vec{\pi}$) opposée au poids du fluide déplacé. Soit m_f la masse de fluide déplacé :

$$\vec{\pi} = -m_f \cdot \vec{g}$$

Soit M un point matériel de masse m immergé dans un fluide. Le poids apparent de M est défini par :

$$\vec{p}_{app} = \vec{p} + \vec{\pi} = (m - m_f) \cdot \vec{g}$$

- Force de frottement fluide (à faible vitesse) : $\vec{F} = -\alpha \cdot \vec{v}(M)_R$.
- Force de frottement solide : lois de Coulomb
On assimile un solide à un point matériel M de masse m . Supposons que M soit posé sur un support et que l'on note \vec{R} sa réaction :

$$\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t$$

avec \vec{R}_n réaction normale au support, et \vec{R}_t réaction tangentielle. \vec{R}_t correspond à **la force de frottement solide** exercé par le support sur M . Posons $R_n = \|\vec{R}_n\|$; $R_t = \|\vec{R}_t\|$ et f coefficient de frottement solide avec $f \geq 0$:

Si M est en mouvement : alors la réaction tangentielle satisfait la loi de Coulomb dite du frottement solide :

$$R_t = f \cdot R_n$$

Si M est au repos : alors la relation précédente n'est plus vérifiée. Les composantes R_n et R_t peuvent être déterminée par le bilan des forces extérieures. On peut vérifier que :

$$R_t < f \cdot R_n$$

- Application du P.F.D. : pour appliquer de manière efficace le P.F.D. il faut :

- 1) Faire un schéma
- 2) Définir le système.
- 3) Définir le référentiel d'étude.
- 4) Effectuer le bilan des forces extérieures au système.
- 5) Appliquer le P.F.D.
- 6) Choisir un système de coordonnées adapté (cartésiennes ou cylindriques).
- 7) Projeter le P.F.D.
- 8) Résoudre les équations différentielles du mouvement en tenant compte des conditions initiales.