

TITRE DE LA LEÇON : LES ELEMENTS ET PRINCIPES DE LA DYNAMIQUE

Discipline : Sciences physiques

Sous-discipline : Physique

Cycle : Lycée

-

Niveaux : Terminale C et D

OG₃ : Analyser les systèmes mécaniques en mouvement.

OS_{3.1} : Distinguer les éléments de la dynamique ; OS_{3.2} : Enoncer les principes de la dynamique

I. Les éléments de la dynamique

I.1. Quelques définitions

I.1.1. La dynamique

La dynamique est une discipline de la mécanique classique qui étudie les corps en mouvement sous l'action des forces qui leur sont appliquées.

I.1.2. Le système mécanique

❖ Notion de système mécanique

Un système mécanique ou système matériel est un objet dont on veut étudier le mouvement. Il peut être solide, liquide ou gazeux. Sa matière peut être homogène ou hétérogène. Un système mécanique peut aussi être un ensemble d'objets parfaitement identifiés, liés entre eux ou non.

❖ Centre d'inertie d'un système mécanique

Le centre d'inertie d'un système mécanique est le point qui décrit la trajectoire la plus simple lorsque le système est en mouvement. On le note **G**.

- Pour un solide homogène, le centre d'inertie est confondu au centre de gravité.
- Pour un système constitué de plusieurs solides de masses $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ et de centres d'inertie respectifs $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$, le centre d'inertie **G** vérifie la relation :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2} + m_3 \overrightarrow{OG_3} + \dots + m_n \overrightarrow{OG_n}}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \overrightarrow{OG_i}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Le point O peut être un point du système ou un point qui n'appartient pas au système. La somme des masses, $\sum_{i=1}^n m_i = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n$, est égale à la masse du système matériel.

I.1.2.3. Point matériel

Un point matériel ou solide ponctuel est un système matériel de petites dimensions pouvant être assimilé à un point.

I.1.2.4. Milieu extérieur

Choisir un système matériel revient à séparer l'univers en deux : d'un côté le système mécanique à étudier, de l'autre le milieu extérieur. Le milieu extérieur comprend tout ce qui n'appartient pas au système.



I.2. Le vecteur quantité de mouvement

I.2.1. Cas d'un point matériel

Le vecteur quantité de mouvement \vec{p} d'un point matériel de masse m , à une date t , est donné par la relation : $\vec{p} = m\vec{v}$, avec \vec{v} le vecteur vitesse du point matériel à la date t .

Unités : p s'exprime en kg.m.s^{-1} lorsque m s'exprime en kg et v en m.s^{-1} .

I.2.2. Cas d'un système matériel

Pour un système matériel de masse M et de centre d'inertie G , le vecteur quantité du mouvement est donné par la relation :

$$\vec{p} = M\vec{v}_G ; \text{ avec } \vec{v}_G \text{ le vecteur vitesse instantanée du centre d'inertie.}$$

Si le système matériel est un ensemble d'objets ayant les vecteurs quantité de mouvement $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3 \dots$ et \vec{p}_n , la quantité de mouvement dudit système est alors :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_n = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$$

II. Les principes de la dynamique

La mécanique classique est régie par trois principes ou lois qui sont : le principe de l'inertie, le principe fondamental et le principe des actions mutuelles. Ces trois principes s'appliquent dans des référentiels galiléens.

II.1. Les énoncés des principes

II.1.1. Le premier principe de la dynamique : le principe de l'inertie

II.1.1.1. Enoncé du principe

Dans un référentiel galiléen, le centre d'inertie d'un système isolé ou pseudo-isolé est soit immobile soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Autre énoncé du principe : le vecteur quantité de mouvement d'un système isolé ou pseudo-isolé, déformable ou non, est toujours constant.

NB : un système est dit **isolé** lorsque le milieu extérieur n'exerce aucune force sur lui. Il est dit **pseudo-isolé** lorsque la somme vectorielle des forces exercées par le milieu extérieur est nulle.

II.1.1.2. Exemple de système pseudo-isolé

Un ensemble de deux solides ponctuels, se déplaçant sans frottement et à des vitesses constantes sur une surface plane, qui entre en collision.



Le vecteur quantité de mouvement du système avant le choc est : $\vec{p}_{av} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$. Après le choc, on a : $\vec{p}_{ap} = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2$. La conservation de la quantité de mouvement conduit à la relation :

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2$$

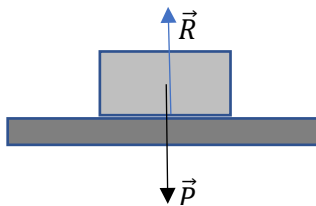
II.1.2. Le deuxième principe de la dynamique : le principe fondamental de la dynamique

II.1.2.1. Enoncé du principe

Lorsque la somme vectorielle des forces appliquées à un système mécanique est non nulle, il existe un référentiel galiléen dans lequel cette somme est égale à la dérivée par rapport au temps du vecteur quantité de mouvement du système :

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Cette formule est appelée **relation fondamentale de la dynamique**.

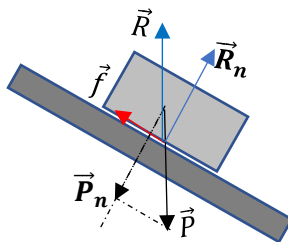


II.1.2.2. Forces extérieures et forces intérieures

Il existe deux types de forces :

- les forces intérieures \vec{F}_{int} qui résultent des interactions entre les différentes parties du système ;
- les forces extérieures \vec{F}_{ext} qui sont exercées par le milieu extérieur.

On peut alors écrire : $\sum \vec{F} = \vec{F}_{int} + \vec{F}_{ext}$.



Les forces intérieures se compensent deux à deux ; leur somme est donc nulle. Ainsi, $\sum \vec{F} = \vec{F}_{ext}$. D'où la forme définitive de la relation fondamentale de la dynamique :

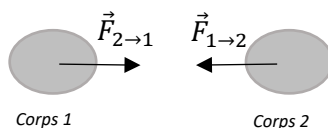
$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

mutuelles

II.1.3. Le troisième principe de la dynamique : le principe des actions

II.1.3.1 Enoncé du principe

Lorsqu'un corps (1) exerce sur un corps (2) une force $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ localisée en un point B, le corps (2), en retour, exerce sur le corps (1) une force opposée $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ localisée en un point A.



$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$$

II.1.3.2 Applications

(1) Solide immobile sur un support

\vec{P} est le poids du solide ; \vec{R} est la réaction, la force exercée par le support sur le solide. On a : $\vec{R} = -\vec{P}$.

(2) Solide en équilibre sur un plan incliné

On a : $\vec{R} = -\vec{P}$; avec $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{f}$, où \vec{R}_n est la réaction normale et \vec{f} la force due aux frottements.



II.2.2. Les référentiels galiléens

II.2.2.1. Notion de référentiel galiléen

On définit un référentiel galiléen comme un référentiel dans lequel les principes de la dynamique sont vérifiés. Tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est aussi galiléen.

II.1.2.2. Les différents référentiels galiléens

a) Le référentiel de Copernic

Le repère associé a pour origine le centre d'inertie du système solaire, et pour axes, trois axes dirigés vers trois étoiles suffisamment éloignées pour être considérées comme fixes. Il est utilisé pour l'étude des mouvements des planètes et des comètes.

b) Le référentiel héliocentrique ou de Kepler

L'origine du repère associé est le centre d'inertie du Soleil. Les trois axes du repère sont dirigés vers trois étoiles suffisamment éloignées pour être considérées comme fixes. En pratique, ce référentiel est souvent confondu avec le référentiel de Copernic, puisque le centre d'inertie du soleil est très proche de celui du système solaire.

c) Le référentiel géocentrique

L'origine du repère associé est le centre de la Terre ; les trois axes sont dirigés par rapport à trois étoiles suffisamment éloignées pour être considérées comme fixes.

Comme la Terre a un mouvement circulaire uniforme autour du Soleil, le référentiel géocentrique n'est pas galiléen. Cependant pour un mouvement qui se fait pendant une durée négligeable par rapport à la période de révolution de la Terre (environ une année), la Terre peut être considérée comme immobile ; le référentiel géocentrique est alors supposé galiléen.

Le référentiel géocentrique est supposé galiléen pour les mouvements qui se font autour de la Terre, pendant une durée négligeable devant la période de révolution de la Terre.

d) Le référentiel terrestre

L'origine du repère associé est le centre de la Terre ; les trois axes sont orientés suivant trois étoiles suffisamment éloignées pour être considérées comme fixes. Ce référentiel n'est pas galiléen puisque la Terre a un mouvement de rotation autour d'elle-même, de période 24 heures. Cependant pour un mouvement qui ne dure que quelques minutes, il peut être considéré comme galiléen.

Le référentiel terrestre est supposé galiléen pour les mouvements qui se font à la surface de la Terre et qui ne dure que quelques minutes.