



# MECANIQUE DU POINT MATERIEL

## Chapitre IV : Dynamique du point matériel *Lois de Newton*

**Pr. Fatima BOUYAHIA**  
1<sup>ère</sup> Année  
Cycle Préparatoire

---

**IV.1 Introduction**

**IV.2 Principe de l'inertie et référentiel galiléen**

**IV.3 Principe des actions réciproques**

**IV.4 Loi fondamentale de la dynamique :**

**IV.5 Changement de référentiels**

**IV.6 Notion de stabilité d'un équilibre d'un point matériel**

---

---

## IV.1 Introduction

---

La dynamique a pour objet la prévision du mouvement des corps pourvus de masse et soumis à des forces. Donc en plus des notions fondamentales de la cinématique on introduira dans ce chapitre les notions de masse et de force.

Soit  $\vec{r}(t)$  ( $=\vec{OM}$ ) le vecteur position de M à t.

La loi fondamentale :

L'observation de certains mouvements dans un repère choisis permet de dégager une fonction

$$\vec{F}(m, \vec{r}(t))$$

telle que pour les divers mouvement observés on ait :

$$m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}(m, \vec{r}).$$

Cette équation différentielle de 2<sup>ème</sup> ordre permet de prédire tous les mouvements spécifiés par leurs conditions initiales

$$\vec{r}(t_0) \text{ et } \dot{\vec{r}}(t_0).$$

En pratique, il arrive dans pas mal de problèmes de mécanique, que la fonction F dépend en outre de t et de la vitesse r ; d'où l'énoncé suivant :

**Loi fondamentale :** Après avoir choisi un repère R, il existe une fonction vectorielle

$$\vec{F}(t, \vec{r}, \dot{\vec{r}})$$

telle que pour tous les mouvements d'un point matériel, on a :

$$m\ddot{\vec{r}}(t) = \vec{F}(t, \vec{r}, \dot{\vec{r}}).$$

La fonction  $\vec{F}$  sera appelée la résultante dans le repère R des forces appliquées au point matériel.

Cette loi est aussi appelée **loi de Newton** ou **principe** (ou **relation**) **fondamental de la dynamique**.

## IV.2 Principe de l'inertie et référentiel galiléen

---

- L'expression de cette loi décrit le mouvement d'un point mobile si et seulement si l'accélération est prise par rapport à une classe spécifique de repère où on réserve à  $\vec{F}$  une signification consacrée par l'usage ; d'où une expression simple de  $m\ddot{\vec{r}}$  en fonction de t,  $\vec{r}$ ,  $\dot{\vec{r}}$ .

- Dans de tels repères, il ne doivent plus apparaître des forces qui tendent vers l'infini avec la distance comme c'est le cas par exemple pour une force d'inertie d'entraînement
- Par exemple le mouvement des planètes s'explique aisément dans un repère dont les axes sont issus du centre d'inertie du système solaire et pointent vers des étoiles fixes. On appelle ce repère le **repère de Copernic**.

**Définition :** Tout repère en translation rectiligne et uniforme par rapport au repère de Copernic est dit **galiléen**, il est noté  $R_g$ .

**Remarque :** Le repère de Copernic n'a pas fourni l'explication définitive de tous les mouvements observés dans la nature, en particulier des mouvements à très grande vitesse, approchant celle de la lumière ; d'où l'introduction de la mécanique relativiste, de la mécanique ondulatoire, etc.

Lorsque dans  $R_g$  la résultante  $\vec{F} = \vec{0}$ , le point matériel aura un mouvement rectiligne et uniforme (la trajectoire est une droite).

### **IV.3 Principe des actions réciproques**

#### **(ou principe de l'action et de la réaction)**

Soient deux objets matériels ponctuels A et B qui exercent l'un sur l'autre des forces  $\vec{F}_{AB}$  et  $\vec{F}_{BA}$ . Ces deux forces sont égales en module et de sens opposées ; on a :

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Elles sont portées par la droite définie par les objets A et B.

Les forces :

Par principe, les actions mécaniques s'exerçant sur un point matériel peuvent se traduire par une grandeur vectorielle appelée **force**.

La **somme vectorielle** des forces est connue (loi du parallélogramme des forces) :  $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$ ,

les  $\vec{F}_i$  sont les forces agissantes sur l'objet M.

#### **Types de forces :**

##### **- Les forces d'interaction gravitationnelles :**

Loi de gravitation de Newton : deux objet A et B situés à une distance  $AB=r$ , exercent l'un sur l'autre une force attractive de direction AB. D'après le principe de l'action et de la réaction, ces deux forces sont égales et opposées :  $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$ . On parle de forces

d'attraction universelle (ou de gravitation universelle). Le module de cette force d'interaction entre les objet A et B s'écrit :  $F = G \frac{m_A m_B}{r^2}$ , où G est appelé **constante gravitationnelle**.  $G=6,67.10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$  (dans le système SI).

- **Les forces d'interaction électrostatiques :**

Entre les charges  $q_A$  et  $q_B$ : **Loi de coulomb** donne, dans le vide, l'expression :

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_B}{r^3} \vec{r} \text{ où } \vec{r} = \vec{AB}$$

- **Les forces électromagnétiques :**

**Loi de Laplace** : charge ponctuelle q se déplaçant à la vitesse  $\vec{v}$  dans un champ magnétique  $\vec{B}$  est soumise à  $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$  ; c'est une force normale à la vitesse et au champ magnétique.

- **Les forces de contacts ou de liaison :** Comme la réaction  $\vec{R}$  d'une table ou la tension  $\vec{T}$  d'un fil sur un objet. La réaction  $\vec{R}$  des forces de contact peut s'écrire :

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T$$

**Définitions :**

1°) **Contact sans frottement**  $\Leftrightarrow \vec{R}_T = \vec{0}$  alors  $\vec{R} = \vec{R}_N$  ;

2°) **Contact avec frottement**, on pose  $\vec{R}_T = -\lambda\vec{v}$  et  $R_T=fR_N$ , f est appelé **coefficient de frottement**.

**Champ gravitationnelle :**

Tout objet matériel de masse m (point matériel ou astre) placé en un point O est la source d'un champ vectoriel dit **champ gravitationnel**, tel que en tout point M de l'espace, ce champ, noté  $\vec{G}(M)$ , est donné par :

$$\vec{G}(M) = -K \frac{m}{r^3} \vec{r}, \vec{r} = \vec{OM}$$

Par analogie avec le champ gravitationnel, on définit pour une particule de charge q le **champ électrostatique**  $\vec{E}(M)$  créé en M par cette charge :

$$\vec{E}(M) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r.$$

**Poids des corps :**

Tout objet de masse  $m$  placé au voisinage de la surface de la terre est soumis à l'action du champ de gravitation terrestre  $\vec{g}$ . La force d'attraction de cet objet est appelé son **poinds**, notée  $\vec{P}$ , on a :  $\vec{P} = m\vec{g}$  ;  $\vec{g}$  étant un vecteur constant dirigé vers le centre de la terre.

#### IV.4 Loi fondamentale de la dynamique :

**La loi fondamentale dans un repère galiléen :**

$$\vec{F} = m \vec{\gamma}(M / R_g)$$

**La loi fondamentale dans un repère non galiléen :**

Dans  $R_g$ , la loi fondamentale s'écrit :  $\vec{F} = m \vec{\gamma}(M/R_g)$

Dans un repère  $R$  en mouvement quelconque par rapport à  $R_g$  :

$$\vec{\gamma}(M / R_g) = \vec{\gamma}(M / R) + \vec{\gamma}_e + \vec{\gamma}_c$$

Avec  $\vec{F} = m \vec{\gamma}(M / R_g)$

on tire que :

$$m \vec{\gamma}(M/R) = \vec{F} - m \vec{\gamma}_e - m \vec{\gamma}_c$$

c'est la **loi fondamentale de la dynamique dans un repère non galiléen.**

**C/c :** Dans un repère non galiléen, on doit ajouter à la force  $\vec{F}$  pour décrire le mouvement de  $M$ , les termes  $- m \vec{\gamma}_e$  et  $- m \vec{\gamma}_c$  ce sont des forces d'inertie que l'on note :

$\vec{f}_e = -m \vec{\gamma}_e$  : force d'inertie d'entraînement,

$\vec{f}_c = -m \vec{\gamma}_c$  : force d'inertie de Coriolis.

#### IV.5 Changement de référentiels :

**Soient  $R(O,xyz)$  et  $R'(O',x'y'z')$  deux référentiels galiléens** (donc en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre) :

$$\vec{v}_e = \vec{v}(O' / R) \text{ et } \vec{\gamma}_e = \vec{0}, \vec{\gamma}_c = \vec{0}$$

$$\vec{v}(M / R) = \vec{v}(M / R') + \vec{v}_e$$

$$\vec{F} = m \vec{\gamma}(M/R) \text{ et } \vec{F}' = m \vec{\gamma}(M/R') \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}'$$

La force ne change pas pour deux repères en translation rectiligne et uniforme l'un par rapport à l'autre.

#### IV.6 Notion de stabilité d'un équilibre d'un point matériel

**Définitions :** un point matériel  $M$  de masse  $m$  est en équilibre relatif dans un référentiel  $R(O,xyz)$  s'il est immobilisé dans ce référentiel, la résultante des forces agissantes sur ce point est **nécessairement** nulle. Les positions d'équilibre sont les lieux où le point matériel peut être immobilisé.

*L'équilibre en  $M_0$  est dit :*

- **stable** si, faiblement écarté de sa position  $M_0$  d'équilibre et libéré sans vitesse initiale, le point demeure au voisinage de  $M_0$  ;
- **instable** si, faiblement écarté de sa position  $M_0$  d'équilibre et sans vitesse initiale, le point évolue vers une autre position  $M_1$  différente de  $M_0$  ;
- **indifférent** si l'écart provoqué par rapport à la position initiale  $M_0$  laisse le point à nouveau immobile en une autre position  $M_2$ .