Chapitre 4 – *Dynamique du Point Matériel*

Sidi M. Khefif

Département de Physique
EPST Tlemcen

22 Novembre 2012

Définition de la dynamique

Cinématique : *Comment* un corps de déplace.

Dynamique : *Pourquoi* un corps se déplace.

Définition de la dynamique

Cinématique : *Comment* un corps de déplace.

Dynamique : *Pourquoi* un corps se déplace.

Définition : La dynamique est l'étude des relations entre les forces et les mouvements qu'elles produisent.

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

Question : Peut-on prouver ces lois de Newton ?

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

Question : Peut-on prouver ces lois de Newton ?
Réponse : Non !

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

Question : Peut-on prouver ces lois de Newton ?
Réponse : Non !
Question : On y croit-on ?

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

Question : Peut-on prouver ces lois de Newton ?
Réponse : Non !
Question : On y croit-on ?
Réponse : Oui !

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

Question : Peut-on prouver ces lois de Newton ?
Réponse : Non !
Question : On y croit-on ?
Réponse : Oui !
Question : Pourquoi ?

I. Les axiomes de Newton (1642–1727)

Axiome : vérité non démontrable.

La mécanique classique, dîte aussi newtonienne, est gouvernée par trois axiomes :

1. La loi de l'inertie,
2. L'équation fondamentale de la dynamique,
3. La loi d'intéraction.

Question : Peut-on prouver ces lois de Newton ?
Réponse : Non !
Question : On y croit-on ?
Réponse : Oui !
Question : Pourquoi ?
Réponse : L'expérience le montre.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.
2. L'espace est absolu : un système de coordonnées dans un état de repos absolu qui remplit tout l'espace existe.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.
2. L'espace est absolu : un système de coordonnées dans un état de repos absolu qui remplit tout l'espace existe.
3. La masse est indépendante de la vitesse.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.
2. L'espace est absolu : un système de coordonnées dans un état de repos absolu qui remplit tout l'espace existe.
3. La masse est indépendante de la vitesse.
4. La masse d'un système de corps (ponctuels ou rigides) fermé est indépendante des processus à l'intérieur de ce système.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.
2. L'espace est absolu : un système de coordonnées dans un état de repos absolu qui remplit tout l'espace existe.
3. La masse est indépendante de la vitesse.
4. La masse d'un système de corps (ponctuels ou rigides) fermé est indépendante des processus à l'intérieur de ce système.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.
2. L'espace est absolu : un système de coordonnées dans un état de repos absolu qui remplit tout l'espace existe.
3. La masse est indépendante de la vitesse.
4. La masse d'un système de corps (ponctuels ou rigides) fermé est indépendante des processus à l'intérieur de ce système.

Remarques :

- Les prémisses (1), (2) et (3) ne sont plus valides dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.

Les prémisses de la mécanique newtonienne sont les suivantes :

1. Le temps est absolu : invariant pour tous les observateurs.
2. L'espace est absolu : un système de coordonnées dans un état de repos absolu qui remplit tout l'espace existe.
3. La masse est indépendante de la vitesse.
4. La masse d'un système de corps (ponctuels ou rigides) fermé est indépendante des processus à l'intérieur de ce système.

Remarques :

- Les prémisses (1), (2) et (3) ne sont plus valides dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.
- la prémisse (4) n'est plus valide dans les processus physiques de très hautes énergies :
  $p + p \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^-$ *i.e.*, de nouvelles masse sont générées !

En 1687, dans *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton formula ses axiomes comme suit :

En 1687, dans *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton formula ses axiomes comme suit :

Axiome (1) : Toute masse ponctuelle demeure dans un état immobile ou suit un mouvement rectiligne uniforme si la force totale appliquée à cette masse est nulle. Ceci est un cas particulier du second axiome.

En 1687, dans *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton formula ses axiomes comme suit :

Axiome (1) : Toute masse ponctuelle demeure dans un état immobile ou suit un mouvement rectiligne uniforme si la force totale appliquée à cette masse est nulle. Ceci est un cas particulier du second axiome.

$\vec{F} = 0$, alors $m \cdot \vec{v} = \mathrm{Cste}$.

En 1687, dans *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton formula ses axiomes comme suit :

Axiome (1) : Toute masse ponctuelle demeure dans un état immobile ou suit un mouvement rectiligne uniforme si la force totale appliquée à cette masse est nulle. Ceci est un cas particulier du second axiome.

$\vec{F} = 0$, alors $m \cdot \vec{v} = \mathrm{Cste.}$

Puisque m est indépendante de $\vec{v}$, alors $\vec{v} = \mathrm{Cste.}$

En 1687, dans *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton formula ses axiomes comme suit :

Axiome (1) : Toute masse ponctuelle demeure dans un état immobile ou suit un mouvement rectiligne uniforme si la force totale appliquée à cette masse est nulle. Ceci est un cas particulier du second axiome.

$\vec{F} = 0$, alors $m \cdot \vec{v} = \mathrm{Cste}.$

Puisque m est indépendante de $\vec{v}$, alors $\vec{v} = \mathrm{Cste}.$

La grandeur $\vec{p} = m\vec{v}$ est appelée *quantité de mouvement*,
où $[p] = \mathrm{kg\ m/s}$.

En 1687, dans *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton formula ses axiomes comme suit :

Axiome (1) : Toute masse ponctuelle demeure dans un état immobile ou suit un mouvement rectiligne uniforme si la force totale appliquée à cette masse est nulle. Ceci est un cas particulier du second axiome.

$\vec{F} = 0$, alors $m \cdot \vec{v} = \mathrm{Cste}.$

Puisque m est indépendante de $\vec{v}$, alors $\vec{v} = \mathrm{Cste}.$

La grandeur $\vec{p} = m\vec{v}$ est appelée *quantité de mouvement*,
où $[p] = \mathrm{kg\ m/s}$.

Deux nouveaux concepts ont été introduits : la masse et la force.

Axiome (2) : La première dérivée temporelle de la quantité de mouvement d'une masse ponctuelle est égale à la force agissant sur cette masse :

Axiome (2) : La première dérivée temporelle de la quantité de mouvement d'une masse ponctuelle est égale à la force agissant sur cette masse :

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}.$$

Axiome (2) : La première dérivée temporelle de la quantité de mouvement d'une masse ponctuelle est égale à la force agissant sur cette masse :

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}.$$

La masse est indépendante de la vitesse et donc du temps, alors :

Axiome (2) : La première dérivée temporelle de la quantité de mouvement d'une masse ponctuelle est égale à la force agissant sur cette masse :

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}.$$

La masse est indépendante de la vitesse et donc du temps, alors :

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}.$$

Axiome (2) : La première dérivée temporelle de la quantité de mouvement d'une masse ponctuelle est égale à la force agissant sur cette masse :

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}.$$

La masse est indépendante de la vitesse et donc du temps, alors :

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}.$$

où

$$[F] = \mathrm{kg\ m/s^{-2}} = \mathrm{N}.$$

Axiome (3) : Les forces exercées par deux masses ponctuelles l'une sur l'autre ont des normes égales et des directions opposées.

Axiome (3) : Les forces exercées par deux masses ponctuelles l'une sur l'autre ont des normes égales et des directions opposées.

Autrement dit, action=(-)réaction : $\vec{F_{ij}} = -\vec{F_{ji}}$ où $i \neq j$.

Remarques

- $\vec{F}$ et $\vec{a}$ sont proportionnelles et de même direction.

Remarques

- $\vec{F}$ et $\vec{a}$ sont proportionnelles et de même direction.
- Si plusieurs forces agissent simultanément sur une masse, le p.f.d. s'appliquerait sous la forme :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i.$$

Remarques

- $\vec{F}$ et $\vec{a}$ sont proportionnelles et de même direction.
- Si plusieurs forces agissent simultanément sur une masse, le p.f.d. s'appliquerait sous la forme :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i.$$

- Si la masse n'est pas constante dans le temps, le cas d'une fusée par exemple, le p.f.d. s'appliquerait sous la forme :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}.$$

II. Les référentiles inertiels

Calculons les forces qui agissent sur une masse ponctuelle P du point de vue de deux observateurs O et O', dans deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre.

II. Les référentiles inertiels

Calculons les forces qui agissent sur une masse ponctuelle P du point de vue de deux observateurs O et O', dans deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre.

Soient $\vec{r}$ et $\vec{r'}$ les vecteurs positions de P dans les deux référentiels :

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \quad \vec{F'} = m\frac{d^2\vec{r'}}{dt^2}$$

II. Les référentiles inertiels

Calculons les forces qui agissent sur une masse ponctuelle P du point de vue de deux observateurs O et O', dans deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre.

Soient $\vec{r}$ et $\vec{r'}$ les vecteurs positions de P dans les deux référentiels :

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \quad \vec{F'} = m\frac{d^2\vec{r'}}{dt^2}$$

ou bien

$$\vec{F} - \vec{F'} = m\frac{d^2(\vec{r} - \vec{r'})}{dt^2} = m\frac{d^2\vec{R}}{dt^2}.$$

II. Les référentiles inertiels

Calculons les forces qui agissent sur une masse ponctuelle P du point de vue de deux observateurs O et O', dans deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre.

Soient $\vec{r}$ et $\vec{r'}$ les vecteurs positions de P dans les deux référentiels :

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \quad \vec{F'} = m\frac{d^2\vec{r'}}{dt^2}$$

ou bien

$$\vec{F} - \vec{F'} = m\frac{d^2(\vec{r} - \vec{r'})}{dt^2} = m\frac{d^2\vec{R}}{dt^2}.$$

Puisque $m \neq 0$, alors $\dfrac{d^2\vec{R}}{dt^2} = 0$, *i.e.*, $\dfrac{d\vec{R}}{dt} = \vec{v}_R = \mathrm{Cste}.$

II. Les référentiles inertiels

Calculons les forces qui agissent sur une masse ponctuelle P du point de vue de deux observateurs O et O', dans deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre.

Soient $\vec{r}$ et $\vec{r\prime}$ les vecteurs positions de P dans les deux référentiels :

$$\vec{F} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \quad \vec{F\prime} = m\frac{d^2\vec{r\prime}}{dt^2}$$

ou bien

$$\vec{F} - \vec{F\prime} = m\frac{d^2(\vec{r} - \vec{r\prime})}{dt^2} = m\frac{d^2\vec{R}}{dt^2}.$$

Puisque $m \neq 0$, alors $\dfrac{d^2\vec{R}}{dt^2} = 0$, *i.e.*, $\dfrac{d\vec{R}}{dt} = \vec{v}_R = \mathrm{Cste}.$

Ceci signifie que les forces sont égales si les deux référentiels se déplacent à vitesse constante l'un par rapport à l'autre. De tels référentiels sont dits inertiels (ou galiléens) si l'un d'eux satisfait le premier axiome de Newton.

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est un réféntiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est un réféntiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

Les référentiels inertiels sont soit au repos, soit en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est un référentiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

Les référentiels inertiels sont soit au repos, soit en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

Dans de tels référentiels, les équations de Newton ont la même forme et les forces sont égales : $\vec{F} = \vec{F'}$

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est unréféntiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

Les référentiels inertiels sont soit au repos, soit en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

Dans de tels référentiels, les équations de Newton ont la même forme et les forces sont égales : $\vec{F} = \vec{F'}$

Question : Est-ce cet amphithéâtre constitue un repèrt inertiel ?

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est un réfentiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

Les référentiels inertiels sont soit au repos, soit en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

Dans de tels référentiels, les équations de Newton ont la même forme et les forces sont égales : $\vec{F} = \vec{F'}$

Question : Est-ce cet amphithéâtre constitue un repèrt inertiel ?
Réponse : La terre tourne sur elle-même, donc il y a accélération !

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est un réféntiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

Les référentiels inertiels sont soit au repos, soit en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

Dans de tels référentiels, les équations de Newton ont la même forme et les forces sont égales : $\vec{F} = \vec{F'}$

Question : Est-ce cet amphithéâtre constitue un repèrt inertiel ?
Réponse : La terre tourne sur elle-même, donc il y a accélération !
À l'équateur, $T = 24 \times 3600 \text{ s}$ et $R = 6400 \text{ km}$

II.1. Définition

Un référentiel galiléen, ou inertiel, est un référentiel dans lequel un corps isolé (n'est soumis à aucune force, ou la résultante des forces est zéro) conserve son état de mouvement ; *i.e.*, il est doté d'un mouvement rectiligne uniforme (l'immobilité en est un cas particulier).

Les référentiels inertiels sont soit au repos, soit en translation uniforme les uns par rapport aux autres.

Dans de tels référentiels, les équations de Newton ont la même forme et les forces sont égales : $\vec{F} = \vec{F'}$

Question : Est-ce cet amphithéâtre constitue un repèrt inertiel ?
Réponse : La terre tourne sur elle-même, donc il y a accélération !
À l'équateur, $T = 24 \times 3600$ s et $R = 6400$ km
où l'accélération centripète est maximale :

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 0.034 \mathrm{~m/s^{-2}} \ll g!$$

II.2 Les forces d'inertie

Les forces d'inertie sont les forces ressenties par un observateur lié à un référentiel accéléré, *elles ne sont pas la cause mais la conséquence de l'accélération.*

II.2 Les forces d'inertie

Les forces d'inertie sont les forces ressenties par un observateur lié à un référentiel accéléré, *elles ne sont pas la cause mais la conséquence de l'accélération.*

Leur sens est opposé à celui de l'accélération qui les a produites.

II.2 Les forces d'inertie

Les forces d'inertie sont les forces ressenties par un observateur lié à un référentiel accéléré, *elles ne sont pas la cause mais la conséquence de l'accélération.*

Leur sens est opposé à celui de l'accélération qui les a produites.

Les forces inertielles, appelées également pseudo-forces ou forces fictives, ne sont pas dues à des interactions entre corps, *elles sont d'origine purement cinématique*.

II.2 Les forces d'inertie

Les forces d'inertie sont les forces ressenties par un observateur lié à un référentiel accéléré, *elles ne sont pas la cause mais la conséquence de l'accélération.*

Leur sens est opposé à celui de l'accélération qui les a produites.

Les forces inertielles, appelées également pseudo-forces ou forces fictives, ne sont pas dues à des interactions entre corps, *elles sont d'origine purement cinématique*.

Les lois de Newton ne sont valables que dans un référentiel inertiel.

II.2 Les forces d'inertie

Les forces d'inertie sont les forces ressenties par un observateur lié à un référentiel accéléré, *elles ne sont pas la cause mais la conséquence de l'accélération.*

Leur sens est opposé à celui de l'accélération qui les a produites.

Les forces inertielles, appelées également pseudo-forces ou forces fictives, ne sont pas dues à des interactions entre corps, *elles sont d'origine purement cinématique*.

Les lois de Newton ne sont valables que dans un référentiel inertiel.

Si l'on se place dans un référentiel non-inertiel, les lois de Newton resteront valables à condition d'ajouter les forces d'inertie :

$$\vec{F}' = \vec{F} - m\frac{d^2\vec{R}}{dt^2} = \vec{F} + \vec{F}_{\mathrm{inertie}}$$