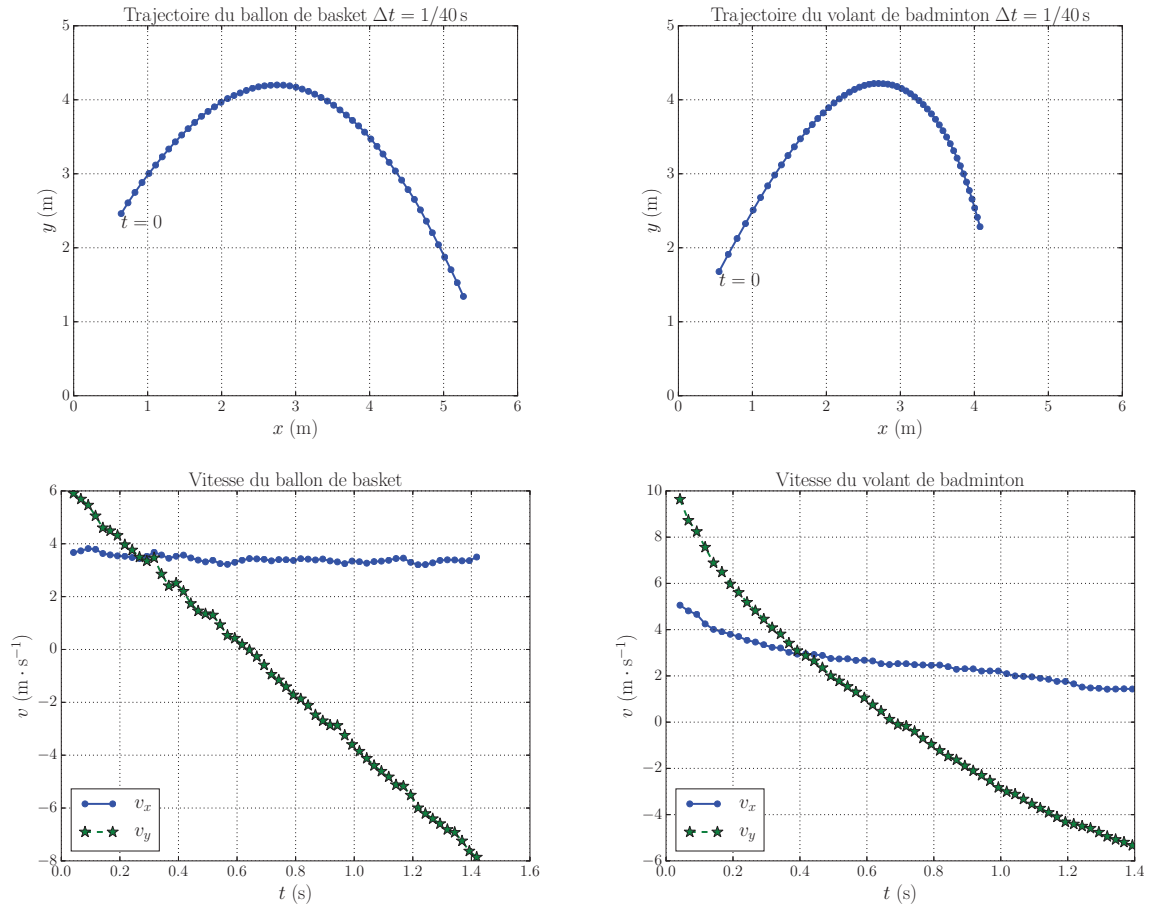
M2 Lois de Newton

Dans le chapitre précédent, on s'est contenté d'une analyse du mouvement mais sans considérer les causes et l'origine du mouvement. Dans ce chapitre on pose le cadre de la mécanique classique en énonçant les lois de Newton et en les appliquant.

Tout au long de ce chapitre, on s'appuiera sur deux expériences où on a enregistré le mouvement d'un ballon de basket et d'un volant de badminton dans un gymnase.

Le mouvement du ballon et du volant ont été enregistré avec une caméra puis traité à l'aide du logiciel Tracker. Les positions du ballon et du volant et les composantes du vecteur vitesse sont représentées sur les figures ci-dessous.



Un des objectifs de ce chapitre sera d'étudier ces mouvements et de les modéliser.

I Masse et quantité de mouvement

I.1 Masse

Quelques constatations :

- Il est plus « facile » de stopper une balle de ping-pong qu'une boule de pétanque animée de la même vitesse.
- Il est plus « facile » de mettre en mouvement une balle de ping-pong qu'une boule de pétanque.

Pour caractériser la capacité qu'à un corps à s'opposer au mouvement, on introduit la masse qui est une grandeur proportionnelle à la quantité de matière. La masse est une grandeur scalaire positive qui s'exprime dans le système SI en kg.

Définition du kilogramme : Entre 1889 et 2019, le kilogramme était défini à partir du grand K ; un cylindre de platine et d'iridium conservé au pavillon de Sèvres. Depuis le 20 mai 2019, le kilogramme est défini à partir de la constante de Planck $h = 6{,}626\,070\,040 \times 10^{-34}\,\mathrm{m^2\,kg\,s^{-1}}$.

I.2 Quantité de mouvement d'un point matériel

Dans un référentiel $\mathcal{R}$, la quantité de mouvement d'un point matériel M de masse m et de vitesse $\vec{v}$ est défini par :

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

C'est une grandeur vectorielle, sa norme s'exprime en $\mathrm{kg\,m\,s^{-1}}$ et traduit le fait qu'il est d'autant plus difficile de détourner un objet qu'il va vite ou qu'il est lourd.

II Notion de forces

II.1 Définitions

- On appelle force la grandeur vectorielle décrivant l'interaction capable de produire ou de modifier le vecteur vitesse d'un point matériel.
- La résultante des forces est la somme des forces appliquées au point matériel : $\vec{F} = \Sigma\vec{f_i}$.
- Un point matériel isolé n'est soumis à aucune force.
- Un point matériel pseudo-isolé à une résultante des forces nulle.
- Lorsqu'on s'intéresse à un solide, il est important de préciser en quel point du solide s'applique la force.
- On distingue deux grandes catégories de forces : les forces à distance et les forces de contact.
- Un point matériel est libre lorsqu'il n'est soumis qu'à des forces à distances.

La suite se comporte un peu comme un catalogue de forces dans lequel vous viendrez puiser les forces qui s'exercent sur le système étudié.

II.2 Forces à distance

Actuellement quatre types d'interactions à distance entre particules sont connues.

II.2.a) Interaction gravitationnelle

Soient deux points matériels M_1 de masse m_1 et M_2 de masse m_2 séparé d'une distance $r = M_1M_2$.

La force gravitationnelle d'attraction exercée par M_1 sur M_2 s'écrit :

$$\vec{F}_{1\to2} = -\frac{Gm_1m_2}{r^2}\vec{u}_{1\to2} \quad \text{où} \quad \vec{u}_{1\to2} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{r}$$

où G est la constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{N\,m^2\,kg^{-2}}$.

Remarques :

- Le champ de gravitation exercé par un astre A de masse m_A sur un point matériel de masse m s'écrit : $\vec{\mathcal{G}}_A = -\frac{Gm_A}{r^2}\vec{u}_{AM}$ tel que $\vec{F}_{A\to M} = m\vec{\mathcal{G}}_A$.
- En première approximation, on assimile souvent le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ au champ de gravitation exercé par la Terre. $g \approx \frac{GM_T}{R_T^2} = 9{,}8\,\mathrm{m\,s^{-2}}$. C'est le cas lorsque l'altitude z du système étudié est négligeable devant le rayon terrestre.
- Quelques données numériques utiles :
  - Masse de la Terre : $M_T = 6{,}0 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}$
  - Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}4 \times 10^{3}\,\mathrm{km}$
  - Distance Terre-Lune : $d_{TL} = 3{,}8 \times 10^{5}\,\mathrm{km}$
  - Distance Terre-Soleil (unité astronomique) : $d_{TS} = 1{,}5 \times 10^{8}\,\mathrm{km}$
  - Rapport entre les masses de la Terre et de la Lune : $\frac{M_T}{M_L} = 81$
  - Masse du Soleil : $M_S = 2{,}0 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$

II.2.b) Interaction électromagnétique

On considère une particule M de masse m et de charge q plongée dans un champ électromagnétique $(\vec{E},\ \vec{B})$ et animée d'une vitesse $\vec{v}(M/R)$ par rapport au référentiel d'étude R. Elle est soumise à l'action de la **force de Lorentz** :

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v}(M/R) \wedge \vec{B})$$

Remarques :

- La force de Lorentz est une des rares forces à dépendre du référentiel d'étude.
- Le produit vectoriel qui intervient dans l'expression de cette force, impose le choix d'un repère orthonormé direct.

Dans le cas d'une interaction uniquement électrostatique entre deux charges q_1 et q_2 situées en M_1 et M_2 et distantes de $r = M_1M_2$, la force qu'exerce la particule 1 sur la particule 2 est l'interaction coulombienne et s'écrit :

$$\vec{F}_{1\to2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\vec{u}_{1\to2} \quad \text{où} \quad \vec{u}_{1\to2} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{r}$$

où ε_0 est la permittivité du vide : $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\,\mathrm{F\,m^{-1}}$

- Lorsque $q_1q_2 > 0$, l'interaction coulombienne est répulsive (deux charges de même signe se repoussent).
- Lorsque $q_1q_2 < 0$, l'interaction coulombienne est attractive (deux charges de signes opposés s'attirent).

II.2.c) Interaction nucléaire forte

L'interaction nucléaire forte est l'interaction qui assure la cohésion des noyaux atomiques (entre les constituants du noyaux). Sa portée est de l'ordre de $1 \times 10^{-15}\,\mathrm{m}$.

II.2.d) Interaction nucléaire faible

L'interaction nucléaire faible assure la cohésion des constituants des noyaux atomiques (quarks). Son intensité est 10^{-5} fois plus faible que l'interaction nucléaire forte, et sa portée est de l'ordre de $1 \times 10^{-17}\,\mathrm{m}$.

Les interactions nucléaires (fortes ou faibles) sont négligeables au niveau macroscopique.