

Systeme à 2 corps - Actions réciproques

1 - Expérience

Le système étudié est composé de 2 billes en acier de masses identiques $m = 20,38$ g reliées par un fil élastique et soumises à leur poids. L'une d'elles est propulsée par un lanceur.

Le mouvement des 2 billes peut être regardé sur la vidéo [_2_billes_211_ralenti_832_624.avi](#).

Cette vidéo a été pointée en 4K (3328 pixels par 2496) avec micropix.exe. Le résultat de ce pointage est lu par [mecalab_08_appli_003.py](#) (fichiers `resu_point_mecalab_x_1.txt` , `resu_point_mecalab_y_1.txt` , `resu_point_mecalab_x_2.txt` et `resu_point_mecalab_y_2.txt`). La longueur d'un pixel est : [coefpixpoint=0.0003698567](#) m.

Lancer Edupython et ouvrir [mecalab_08_appli_003.py](#) .

Cliquer sur "[Pointage](#)" pour voir les trajectoires des 2 billes.

Indiquer schématiquement les forces qui s'exercent sur chacune des 2 billes.

Schéma :

2 - Accélération

Construire en chaque point où le tracé des trajectoires le permet le vecteur accélération à partir des variations du vecteur vitesse, lui-même obtenu à partir des déplacements entre deux points A_i et A_{i+2} , pour chacune des billes.

Enregistrer ces constructions "[Enregistrer mcb](#)".

3 - Forces $F_{1/2}$ et $F_{2/1}$

Construire à l'extrémité de chaque vecteur accélération \vec{a} le vecteur pesanteur $-\vec{g}$ de norme $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ et vertical vers le haut (http://www.tuclic.fr/python_phy/mecalab/doc_mecalab_02.pdf) :

"Pour **tracer un vecteur arbitraire**, sélectionner son origine par **Clic-Gauche** pour un point de la trajectoire ou par **Contrôle-Clic-Droit** pour une extrémité de vecteur. **Cocher le bouton radio** du type de vecteur à créer : Déplacement, Vitesse, **Accélération** ou Force. **Contrôle-Majuscule-Clic-Gauche** fait apparaître successivement 2 fenêtres pour indiquer les composantes x et y du vecteur à créer, dans l'unité du Système International. Restaurer la fenêtre Mecalab qui s'est réduite en icône."

Justifier, en s'appuyant sur la 2^{ème} loi de Newton pour chacune des billes, que pour la bille 2 : $\vec{F}_{1/2} = m_2 \cdot (\vec{a}_2 - \vec{g})$ et que pour la bille 1 : $\vec{F}_{2/1} = m_1 \cdot (\vec{a}_1 - \vec{g})$ où $\vec{F}_{1/2}$ est la force que la bille 1 exerce sur la bille 2 par l'intermédiaire de l'élastique lorsque celui-ci est tendu, et $\vec{F}_{2/1}$ est la force que la bille 2 exerce sur la bille 1 par l'intermédiaire de l'élastique également.

Démonstration :

Vérifier, en sélectionnant à un instant donné les vecteurs $\vec{a}_1 - \vec{g}$ et $\vec{a}_2 - \vec{g}$, que ces 2 vecteurs sont opposés, à la précision du pointage près.

Exemples de valeurs :

Conclure, du fait qu'ici $m_1 = m_2 = 20,38 \text{ g}$, que cela entraîne que $\vec{F}_{1/2} = -\vec{F}_{2/1}$.

Démonstration :

Ceci est général : 2 corps qui interagissent exercent l'un sur l'autre des forces opposées. C'est le **principe des actions réciproques** ou 3^{ème} loi de Newton qu'on peut vérifier ici expérimentalement dans un cas particulier.

4 - Trajectoire du centre de masse du système $\{m_1, m_2\}$

Le centre de masse du système est aussi appelé centre de gravité ou encore barycentre de ce système. Comme les 2 masses ont ici la même valeur, ce point est ici le milieu des positions des masses m_1 et m_2 . Dans le cas général de n masses $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$, le centre de gravité G de ces n masses est tel que :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{1}{m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_n} \cdot (m_1 \overrightarrow{OM_1} + m_1 \overrightarrow{OM_1} + m_2 \overrightarrow{OM_2} + \dots + m_i \overrightarrow{OM_i} + \dots + m_n \overrightarrow{OM_n})$$

où O est un point arbitraire, par exemple l'origine du repère et M_i la position de la masse m_i .

Modifier **ligne 1969** `nb_cb_tra=2` en `nb_cb_tra=3` pour tracer la position du centre de masse en plus des 2 trajectoires expérimentales de chacune des billes (3 trajectoires en tout).

Tracer le vecteur accélération en chaque point de la trajectoire du centre de masse. Comparer ces vecteurs à la pesanteur \vec{g} de valeur $9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Conclusion :

Quelque soit la possibilité qu'a un système de se déformer et de subir des interactions internes, le mouvement de son centre de masse G est régi uniquement par les forces d'origine extérieure au système, ici le poids, comme si elles s'exerçaient sur le centre de masse G dont la masse serait la masse totale du système.

Il en résulte que ce point a un mouvement "plus simple" que les différentes masses qui constituent le système. En particulier, s'il n'y pas de force extérieure, le centre de masse G a un mouvement rectiligne uniforme.

5 - Simulation d'un système masses-ressort sans action extérieure

Ouvrir dans Edupython **mecalab_08_appli_004.py**. Les forces programmées lignes 1646 à 1663 correspondent à l'action d'un ressort de longueur au repos $\text{Longrepos} = 0.2 \text{ m}$ et de raideur $= 10 \text{ N.m}^{-1}$.

Lancer la simulation "**Trajectoire**", "**Démarrer**", "**Arrêter**". On voit les trajectoires des 2 billes.

Modifier la **ligne 1635** `nb_cb_tra_sim=2` en `nb_cb_tra_sim=3` pour tracer la trajectoire du centre de masse en plus des trajectoires des 2 masses. Que constate-t-on ?

Réponse :

Modifier la valeur d'une des masses ligne 1637, par exemple multiplier m_1 par 5 : $m_1 = 0.1019 \text{ kg}$. Relancer la simulation. Vérifier que le centre de masse a toujours un mouvement rectiligne uniforme en dépit de la trajectoire complexe de chacune des billes.

Remettre la masse m_1 à sa valeur initiale $m_1 = 0,02038 \text{ kg}$.

Soustraire aux vitesses initiales V_x et V_y de chacune des 2 billes la vitesse du centre de masse G .

Ceci revient à faire une observation dans le référentiel du centre de masse. Qu'observe-t-on en relançant la simulation ?

Réponse :

Il est bien sûr possible d'ajouter aux forces lignes 1646 à 1663 le poids $P = m \cdot g$ pour chacune des billes.

6 - Simulation d'un système masses-fil élastique sans action extérieure

Ouvrir dans Edupython [mecalab_08_appli_006.py](#) . Tester sur cette simulation l'effet de la raideur, de la longueur au repos du fil, des vitesses initiales ...

La différence avec le ressort est que le fil élastique n'exerce pas de force répulsive entre les 2 billes lorsque leur distance est inférieure à la longueur du fil au repos.

7 - Simulation du système Soleil-Terre sans action extérieure

Ouvrir dans Edupython [mecalab_08_appli_007.py](#) . Lancer la simulation.

Du fait que la masse du Soleil est 300000 fois plus grande que la masse de la Terre, le centre de gravité du système Soleil-Terre est confondu avec le centre du Soleil. On peut tester ce qui se passerait si la masse du Soleil était réduite d'un facteur 100000. On doit dans ce cas réduire aussi la vitesse initiale de la Terre d'un facteur $\sqrt{100000} = 316,227766$ et augmenter le pas de temps dans le même rapport : [mecalab_08_appli_008.py](#)

Le Soleil décrit alors une petite ellipse et la Terre une grande ellipse. On peut tracer la trajectoire du centre de masse (`nb_cb_tra_sim = 3` ligne 1640). En prenant une vitesse initiale adaptée pour le Soleil, le centre de masse est immobile.