

Chaotic magnetic pendulum

Roxane OLLIVIER, et Arthur FRUH
Projet scientifique en équipe, IPT 2022

Introduction

Sujet

Consider a pendulum consisting of a magnetic bob attached to a string. If the pendulum is allowed to swing over a structure of permanent magnets, it will display complex motion.

Notre objectif

Notre objectif est d'étudier la dynamique du pendule et sa dépendance vis-à-vis du nombre d'aimants permanents et de leur disposition.

Montage

- Des aimants fixés avec de la pâtefix le support pour faire différents formes et pavages.
- Un cadre fixe et un pendule avec un aimant au bout.
- Une caméra verticale pour suivre le mouvement du pendule.



Figure – Schéma du pendule magnétique

Simulation

On résout cette équation du mouvement :

$$\ddot{\vec{r}} = -\omega_0^2 \vec{r} - \alpha \dot{\vec{r}} + \sum \gamma_i \frac{(\vec{r}_i - \vec{r})}{((x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + h^2)^{3/2}}$$

où ω_0 pulsation du pendule, α coefficient de frottement et (x_i, y_i) les coordonnées des aimants fixes.

Évaluation des paramètres

- mesure de l'aimantation des aimants avec un teslamètre : On mesure contre l'aimant $B_0 = 4000 \mu T$. En prenant une symétrie cylindrique on peut montrer que l'aimantation M de l'aimant est $M = \frac{2B_0}{\mu_0} \sqrt{R^2 + l^2}$ avec R le rayon de l'aimant et l son épaisseur et ainsi connaître le moment magnétique $\mu = MV$. On peut alors identifier γ_i à partir de la force d'interaction entre deux dipôles magnétiques de même moment magnétique :

$$\gamma_i = \frac{3\mu_0 \mu^2}{2\pi m} = 2,3410^{-5} m^5 s^{-2}$$

- estimation du coefficient de frottement à partir de la pseudo pulsation du pendule simple :
 $\alpha = 1,1 * 10^{-2} s^{-1}$

Résultats

Après avoir testé la simulation avec 3 aimants et retrouver l'énergie potentielle trouvé dans la littérature, nous avons généré des cercles concentriques d'aimants fixes.

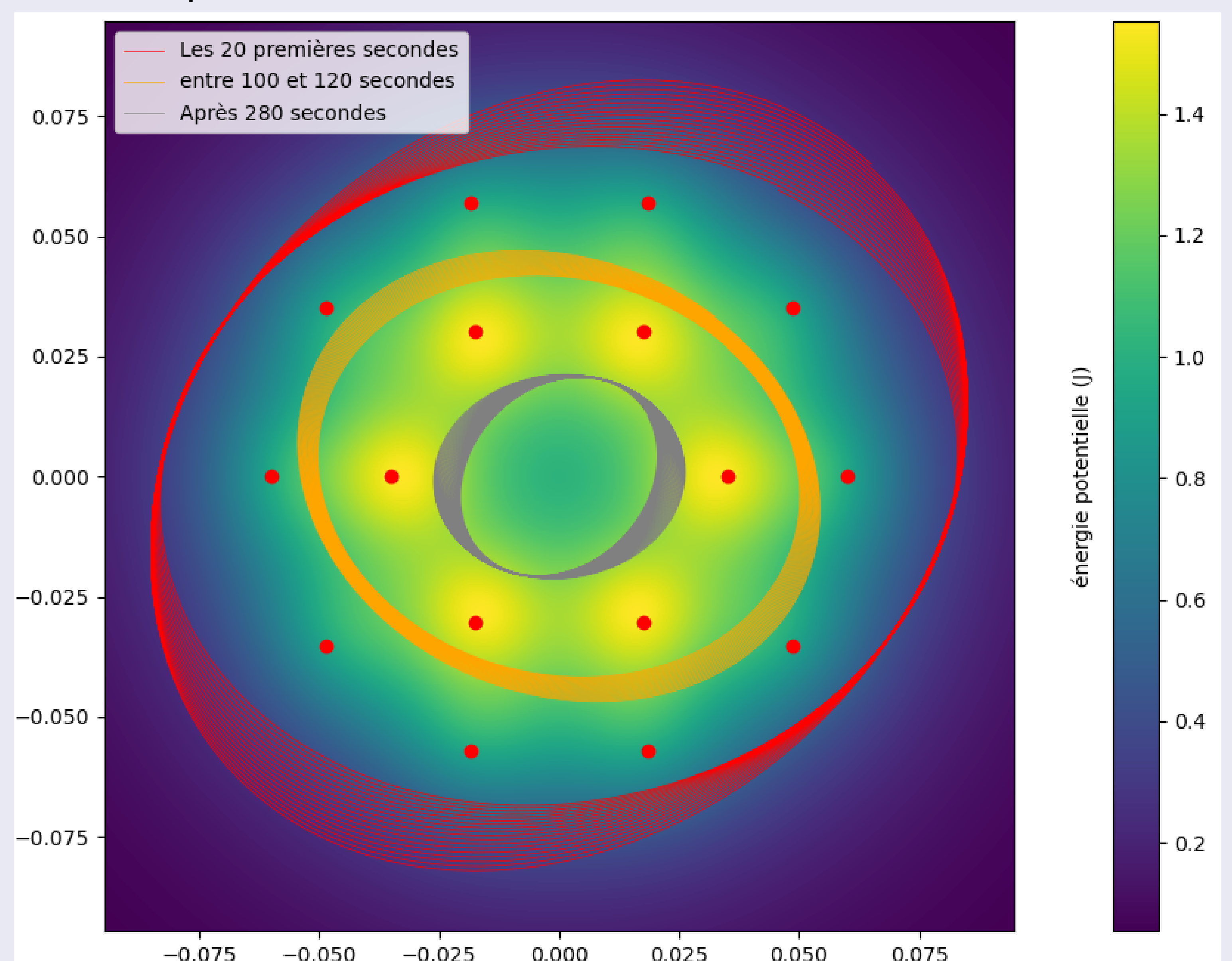


Figure – Simulation d'une trajectoire pour 2 cercles d'aimants concentriques

On constate que l'aimant mobile reste d'abord en dehors du pavage lorsque qu'il a une vitesse initiale suffisante, puis lorsque la perte d'énergie est suffisante il "tombe" dans la première couronne puis tourne dans cette dernière avant de finalement osciller dans le premier cercle. Nous avons retrouvé ce comportement expérimentalement.

Conclusion et perspective

Nous avons mis en place notre montage expérimental et créé une simulation qui nous a permis de découvrir la particularité du confinement de la trajectoire avec des cercles concentriques. Nous pouvons encore :

- faire de l'analyse d'image sur le montage expérimental et comparer avec la simulation.
- étudier l'influence du nombre d'aimants dans les cercles
- simuler les cas où les aimants forment de pavages.

Références

- chalkdustmagazine.com/features/the-magnetic-pendulum/
- Heinz-Otto Peitgen, Hartmut Jürgens, Dietmar Saupe (auth.)
- Chaos and Fractals: New Frontiers of Science (1992, Springer New York)