

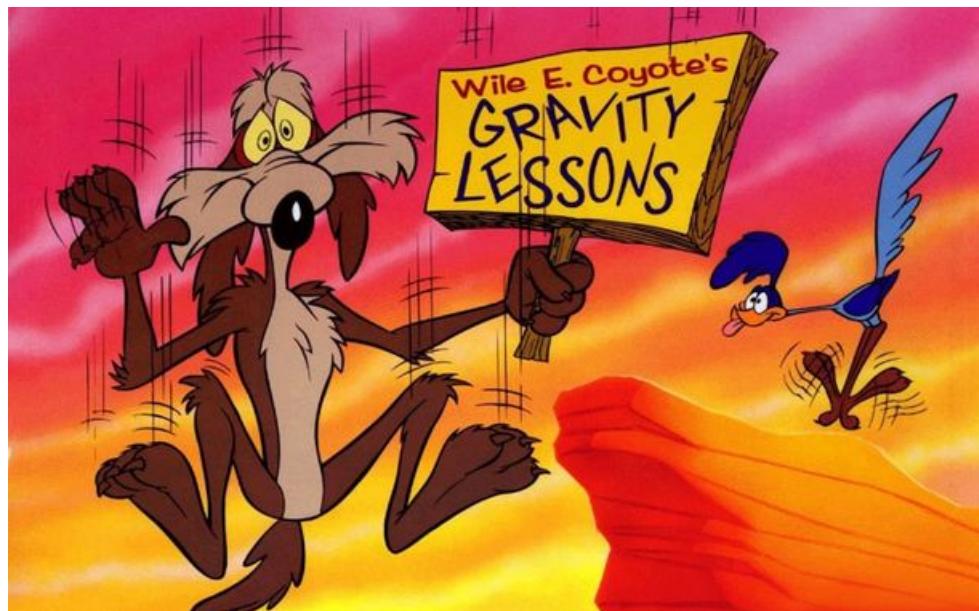
COMPTE RENDU DE MONTAGE DE PHYSIQUE

PRÉPARATION À L'AGRÉGATION DE PHYSIQUE DE L'ENS PARIS-SACLAY

BENHAMOU-BUI Benjamin
PLO Juliette

Montage n° 01

Dynamique du point et du solide



Présenté par Juliette

Table des matières

1	Introduction	2
2	Première loi de Newton	2
2.1	Principe d'inertie	2
2.2	Conservation de la quantité de mouvement	3
3	Deuxième loi de Newton : la chute libre	5
4	Le pendule pesant : un point matériel ?	6
5	Gyroscope	8
6	Manip alternatives	10

1 Introduction

Dans ce montage, on va vérifier certaines lois de la dynamique et discuter de différents systèmes et leur modélisation.

On commence par la 1ère loi de Newton pour aborder la notion de référentiel. Ensuite 2ème loi de Newton avec un exemple d'application du PFD (chute libre d'une bille). Ensuite le pendule pesant qui nous permet de discuter point matériel vs Solide. Finalement, on conclut sur le gyroscope qui est bien un solide quant à lui !

2 Première loi de Newton

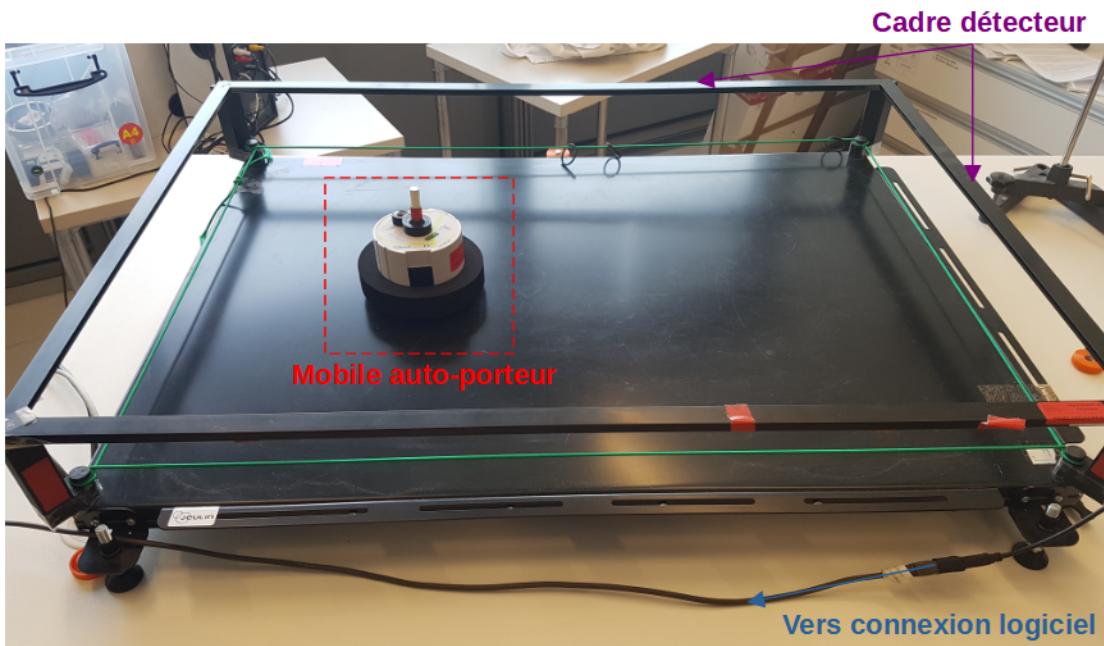


FIGURE 1 – Table sans frottements

2.1 Principe d'inertie

À l'aide de cette table et du mobile auto-porteur, on peut vérifier le principe d'inertie : "Tout point matériel dont la résultante des forces qui s'appliquent sur lui est nulle, est animé d'un mouvement rectiligne uniforme"

Pour cela, il suffit de lancer le mobile sur la table et de lancer une acquisition sur le logiciel "Atelier scientifique".

Le logiciel récupère les positions X et Y du mobile via le cadre détecteur. À l'aide d'un programme Python, nous sommes remontés à la vitesse du mobile en fonction du temps en calculant simplement la vitesse instantanée en chaque point i : $v_{x,i} = \frac{(x_{i+1} - x_i)}{dt}$.

En traçant la vitesse en fonction du temps, on peut observer la dispersion autour de sa valeur moyenne et conclure sur la validité du principe compte tenu de nos hypothèses.

On obtient ce genre de courbe :

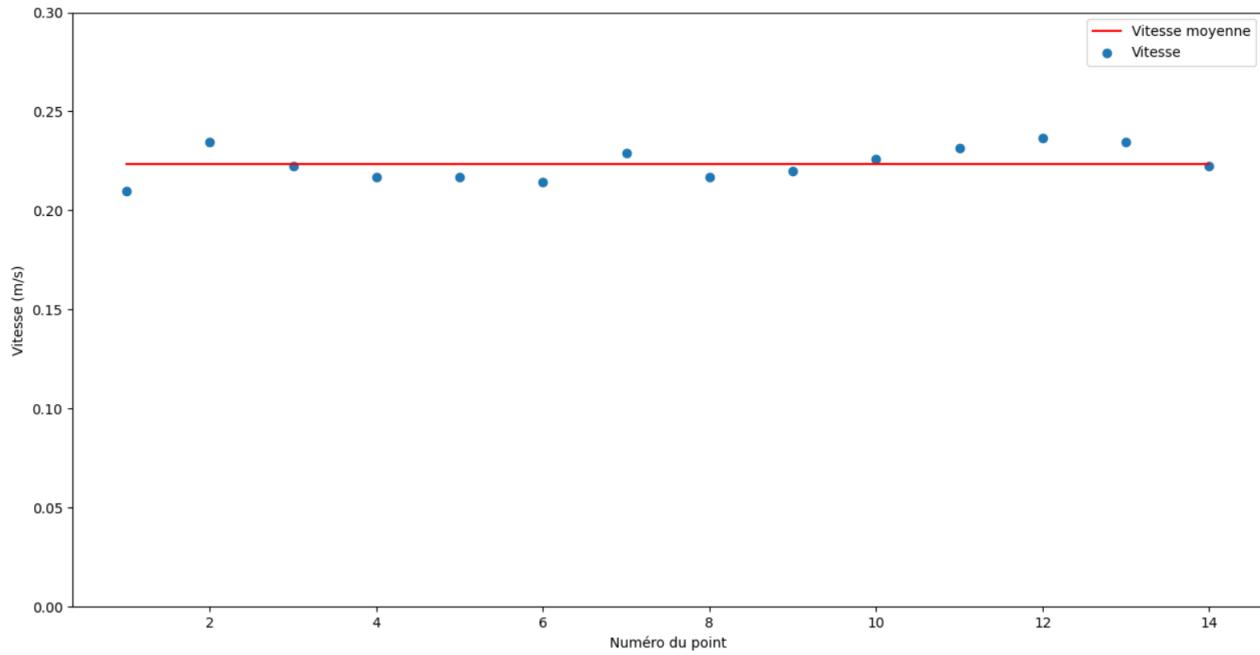


FIGURE 2 – Vitesse instantanée des différents points au cours du mouvement, $v_{moy} = 0.22 \text{ m.s}^{-1}$ d'écart-type $\sigma = 0.008 \text{ m.s}^{-1}$

Remarques :

- Avant quelconque mesure, il faut s'assurer que la table est bien horizontale pour négliger la pesanteur. Pour cela, on dispose de vis aux coins de la table pour ajuster l'horizontalité.
- Malgré ce réglage, l'horizontalité ne peut être réglée parfaitement : le mobile dérivera forcément de manière légère. Nous nous sommes donc assurés qu'il n'y ait pas de dérive pour au moins une direction (en l'occurrence selon les X), ainsi nous menons l'étude du mouvement uniquement sur la composante X de la vitesse.
- L'intervalle de temps entre deux points dt est réglable sur le logiciel. Ici nous avons pris dt=75 ms. ATTENTION, cependant, leur incrément dt n'est pas parfaitement constant (nous avons donc travaillé avec les "vraies" valeurs de temps, dt=t[i+1]-t[i])
- Le système de détection est le suivant : le cadre est constitué d'une multitude de LED infra-rouges qui envoie des signaux en permanence et de capteurs. Le mobile est surmonté d'un capuchon avec une bande réfléchissante : le logiciel suit donc sa trajectoire grâce aux rayons réfléchis.
- Pour respecter au mieux l'hypothèse de point matériel, il faut faire attention de bien lancer le mobile sans que celui-ci ne tourne sur lui-même.

2.2 Conservation de la quantité de mouvement

À l'aide la table, il est aussi possible de réaliser des collisions grâce à un second mobile auto-porteur. On peut ainsi vérifier que la quantité de mouvement totale des mobiles se conserve au cours du mouvement en réalisant le même type de traitement de donnée (attention : les deux mobiles n'ont pas la même masse). En préparation, on arrive à obtenir de jolies courbes :

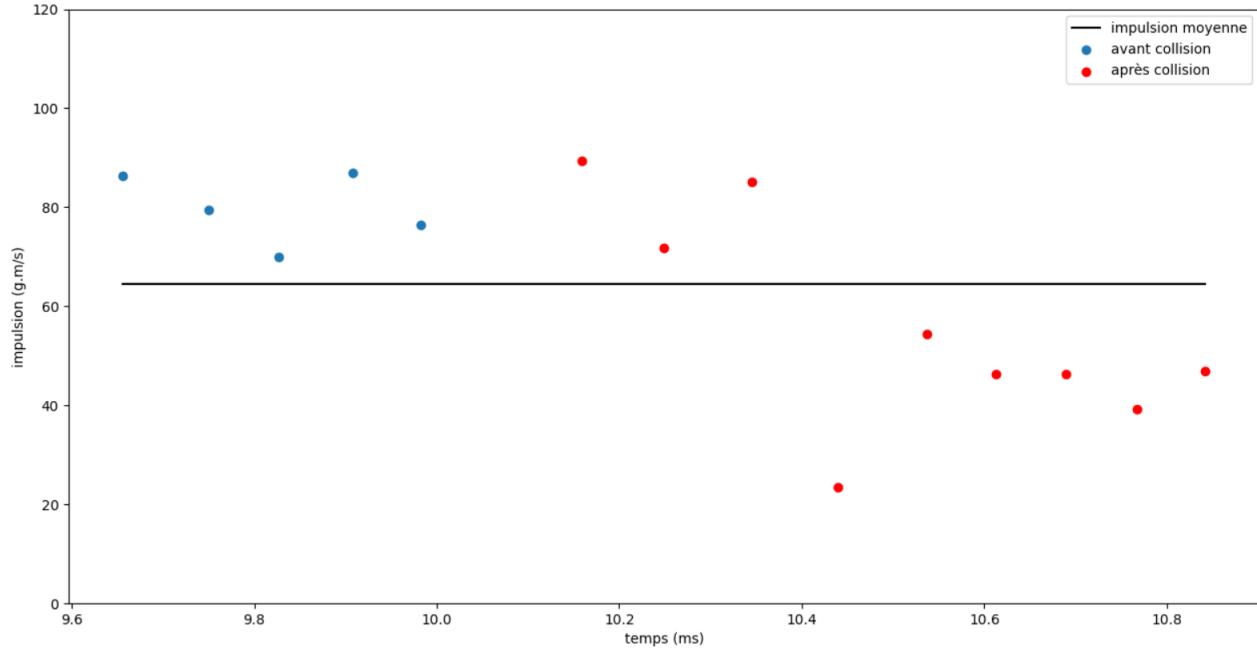


FIGURE 3 – Impulsion au cours du mouvement, $p_{moy} = 64 \text{ g.m.s}^{-1}$ d'écart-type $\sigma = 20 \text{ g.m.s}^{-1}$

ATTENTION manip foireuse pour plusieurs raisons :

- le logiciel devient complètement fou lorsqu'il doit gérer deux mobiles à la fois (il plante systématiquement après 2/3 mesures, il détecte les mobiles une fois sur trois, les mobiles contrôlent la souris de l'ordinateur oui oui...)
- la prise de mesure est très compliquée à faire tout seul en live, en partie à cause des problèmes mentionnés ci-dessus, mais aussi car il faut réussir à gérer les deux mobiles (ils se baladent tout seuls sur la table quand vous avez le dos tourné) et le logiciel en même temps, parvenir à réaliser une collision correcte (mobiles qui ne tournent pas, phase de mouvement libre avant et après collision...) et enfin il faut arriver à identifier quel mobile correspond à quel signal sur le logiciel car ils n'ont pas la même masse...

Remarques générales sur ces deux manip :

- les traitements de données sont relativement longs, il faut avoir l'habitude et parler pendant qu'on est sur l'ordi
- le principe d'inertie donne de bons résultats et est facile à faire donc nous le conseillons pour ce montage
- **nous déconseillons fortement les collisions** car dangereuses le jour J dans l'état actuel des choses (Pierre et Arnaud réfléchissent à un nouveau système de détection plus performant) puis pas forcément utile pour l'histoire du montage.

3 Deuxième loi de Newton : la chute libre

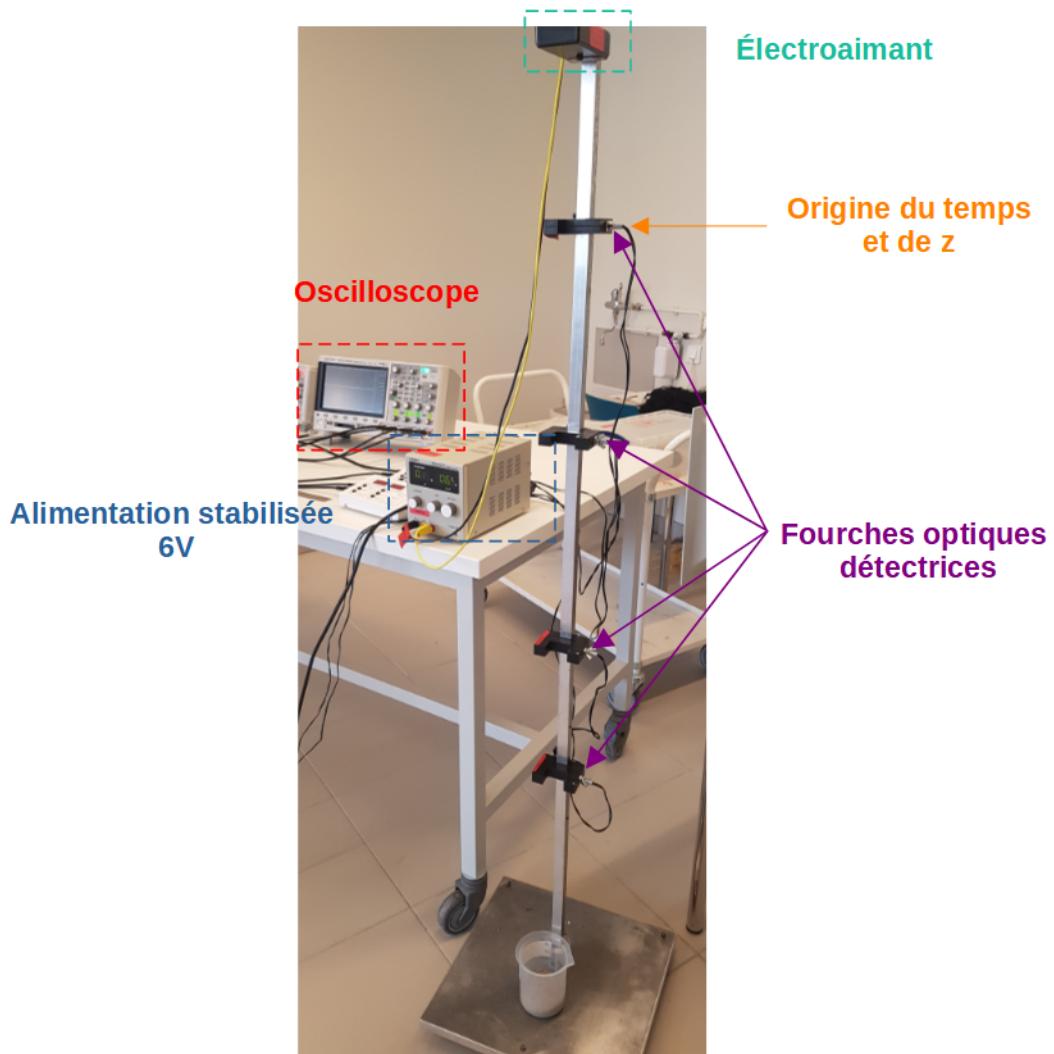


FIGURE 4 – Montage de chute libre de bille

OBJECTIF : vérifier la loi horaire, issue du PFD, qui donne la variation de hauteur en fonction du temps : $z(t) = \frac{g}{2}t^2 + v_0 t$.

Pour cela, on dispose des fourches optiques, reliées à un oscilloscope, qui génèrent un signal au passage de la bille. On remonte ainsi à $z(t)$ en relevant les positions des fourches et le temps de passage de la bille correspondant.

On traite les données sur Python et on obtient ce genre de courbe :

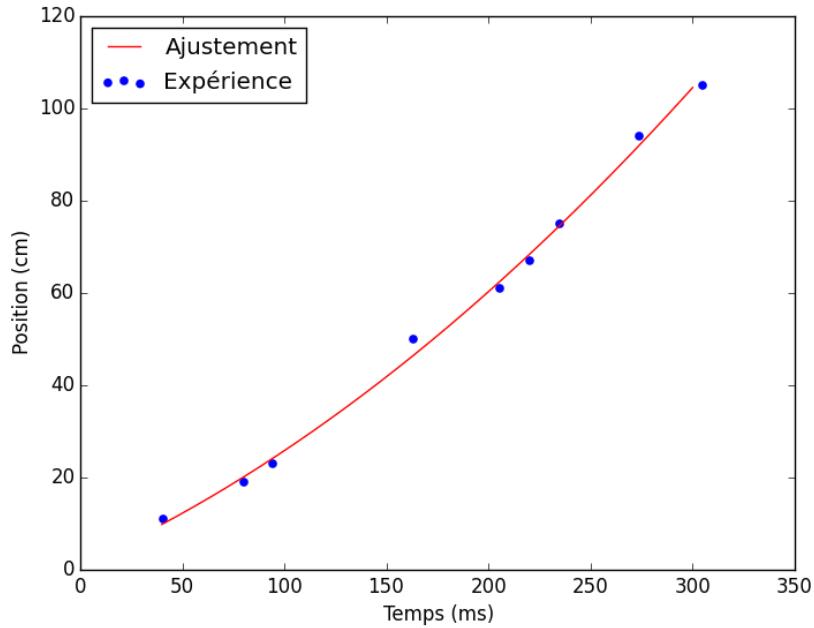


FIGURE 5 – Position en fonction du temps, ajustement polynômial

Remarques :

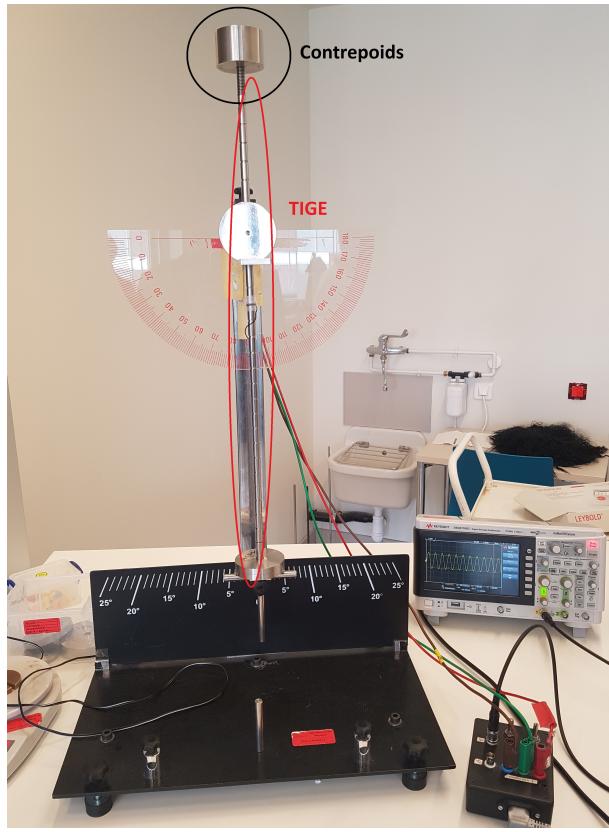
- L'électroaimant est alimenté en 6V et sert à tenir la bille. Un interrupteur permet de libérer la bille sans vitesse initiale.
- Au préalable : régler l'horizontalité de la plateforme à l'aide des vis et à l'aide d'un fil à plomb qui s'accroche à la place de la bille (étape indispensable sinon la bille risque de taper les détecteurs et de rebondir sur le sol au lieu du sceau de sable : ça fait plein de bruit et il faut lui courir après :))
- On s'affranchit de la position et du temps initiaux dans l'intégration du PFD en mesurant des longueurs et temps relatifs au premier capteur. En faisant ça, on se s'affranchit pas de la vitesse initiale au moment où la bille passe devant (ce qui explique qu'on ne peut pas ajuster par un simple at^2).
- On a choisi de traiter les données sous Python afin de tenir compte des incertitudes sur la mesure du temps qui sont prédominantes (chose que ne peut pas faire Igor qui ne prend en compte que les incertitudes selon y!!). On a utilisé le code issu du livre d'Arnaud "Physique Expérimentale" : <https://www.physique-experimentale.com/python/>

4 Le pendule pesant : un point matériel ?

- On équilibre dans un premier temps le pendule à vide afin de s'affranchir par la suite du moment du poids s'appliquant sur l'ensemble {tige + contre poids}
- On applique le TMC à l'ensemble {contre poids + tige + masse m} : aux petits angles, on a :

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + mgl\theta = 0 \quad \text{avec } J = J_0 + ml^2 + \frac{mR^2}{4} + \frac{me^2}{12}$$

R (respectivement e) étant le rayon (respectivement l'épaisseur) de la masse. On fait de plus l'approximation d'un cylindre plein afin de faciliter le problème.

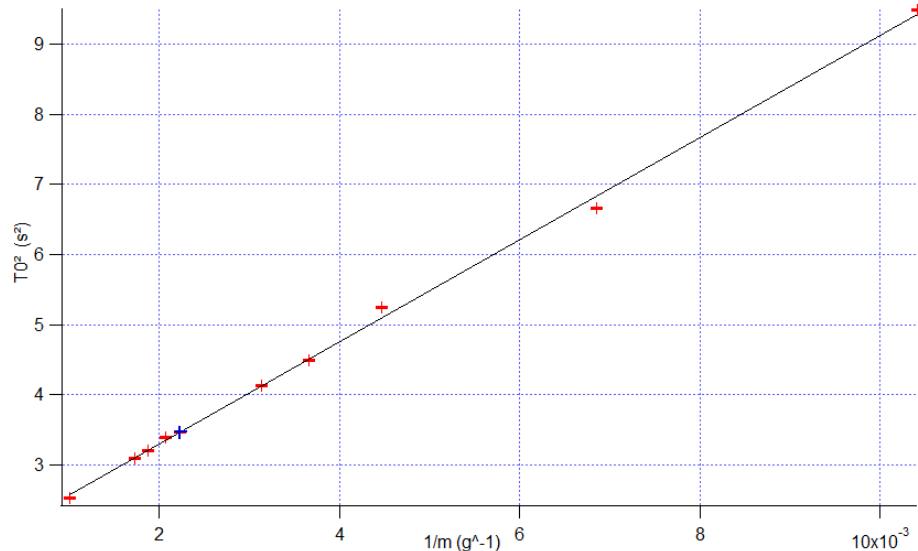


- On montre de plus que les moments d'inertie liés à R et e sont négligeables devant le terme ml^2 . Finalement on retient que $J = J_0 + ml^2$.

BUT : évaluer J_0 afin de discuter du modèle du pendule pesant (point matériel ou bien solide?).

$$\text{- On a } \omega_0^2 = \frac{mgl}{J} \Rightarrow T_0^2 = 4\pi^2 \left(\frac{J_0}{mgl} + \frac{l}{g} \right)$$

- On trace alors $T_0^2 = f(\frac{1}{m})$. Pour différentes masses m, on récupère sur un oscilloscope, les oscillations en mode SINGLE et à l'aide de curseurs, on obtient $T_{0,exp}$.



- En ajustant la courbe, on trouve ainsi la pente qui nous permet de remonter à la valeur de J_0 . J'ai trouvé $J_0 = 77.8 \text{ g.m}^2$ et $(ml^2)_{moyen} = 75.7 \text{ g.m}^2$.

On en conclut que le moment d'inertie du pendule à vide (J_0) n'est clairement pas négligeable. Il est possible de traiter le pendule pesant comme un point matériel du point de vue de la Dynamique car les moments d'inertie de la masse ($\frac{mR^2}{4} + \frac{me^2}{12}$) restent négligeables, à condition de ne pas oublier le terme J_0 .

5 Gyroscope

Le gyroscope est un exemple de système qui ne peut être traité par la dynamique du point. En effet, l'existence de degrés de liberté internes est propre aux solides. Un point matériel ne pourrait pas tourner sur lui-même :)

Voici la modélisation du gyroscope :

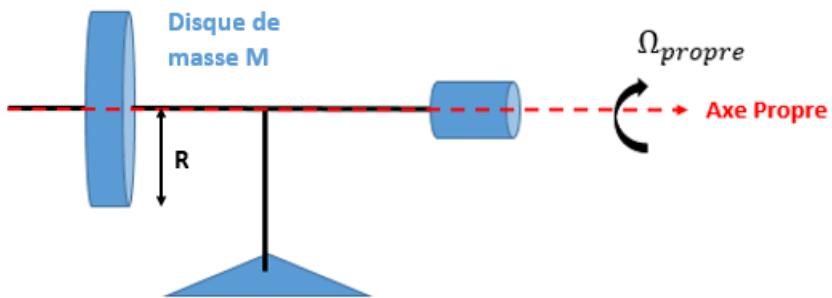


FIGURE 6 – Gyroscope équilibré

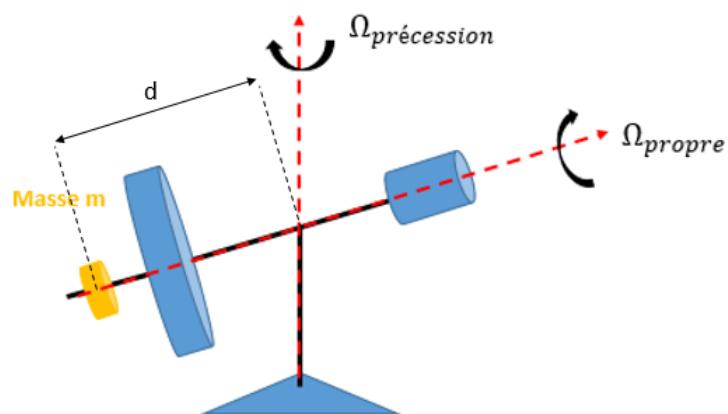
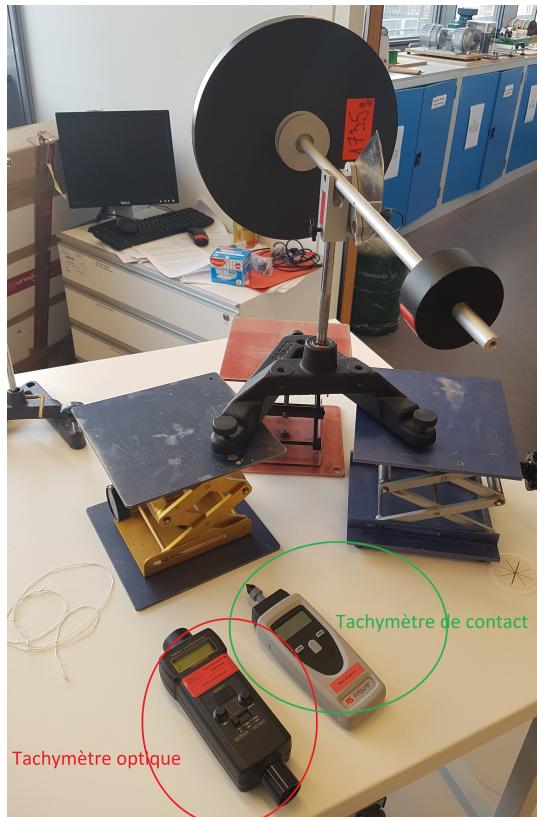


FIGURE 7 – Gyroscope déséquilibré par la masse, mouvement de précession

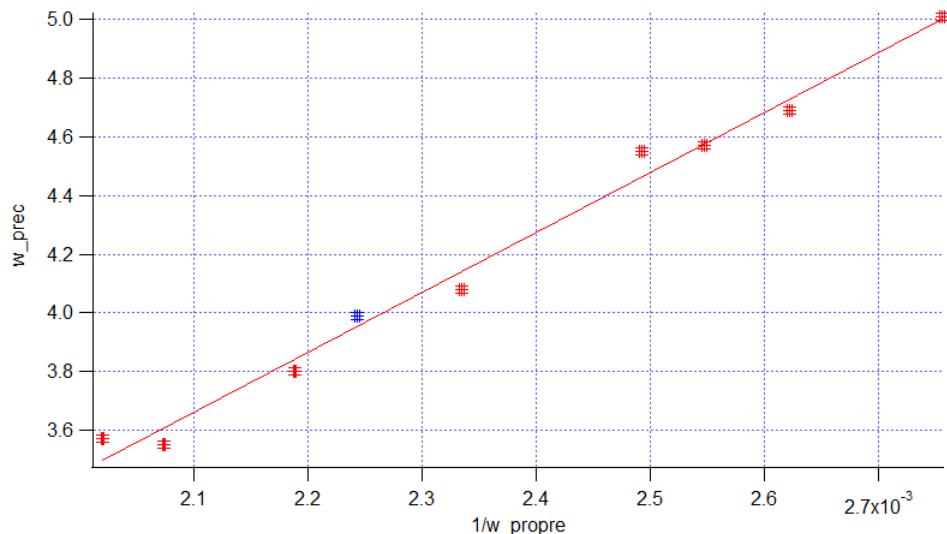
Voici le système réel :



BUT : vérifier la relation suivante (dans l'approximation gyroscopique) :

$$\Omega_{precession} = \frac{mgd}{J\Omega_{propre}}$$

Nous allons donc tracer $\Omega_{precession}$ en fonction de $\frac{1}{\Omega_{propre}}$.



- On lance le gyroscope (équilibré au préalable) à l'aide d'une ficelle, afin d'avoir plus de force, et d'obtenir ainsi Ω_{propre} important pour pouvoir se placer dans l'approximation gyroscopique.
- On relève la valeur de Ω_{propre} à l'aide d'un tachymètre optique (cf photo d'au dessus).
- On vient déséquilibrer ensuite le gyroscope en ajoutant la petite masse m . Le gyroscope se met à précesser. (ATTENTION ! pour certaines vitesses, il y a aussi un mouvement de nutation. Dans ce cas, attendre que le gyroscope se soit stabilisé).
- A l'aide d'un tachymètre de contact (positionné en dessous de l'axe de précession), on relève $\Omega_{\text{precession}}$.
- On obtient bien une fonction affine. On peut remonter à J en ordre de grandeur et la comparer à la valeur de $\frac{MR^2}{2}$

Remarques :

- manip un peu capricieuse, parfois pas très reproductible, s'y reprendre à plusieurs fois !
- trouver un moyen de positionner le tachymètre de contact au préalable, afin d'éviter tout frottement lors de la prise de la mesure (ce qui induit une erreur dans $\Omega_{\text{precession}}$ mesurée).

6 Manip alternatives

- force centrifuge avec un accéléromètre
- étude de la Dynamique d'une particule chargée accélérée