

Étude de la force centrifuge

Éric Brillaux

25 mai 2022

1 Principe de l'expérience

Nous proposons ici de vérifier l'expression de la force centrifuge en mesurant l'élongation d'un ressort attaché à une douille qui coulisse le long d'une tige, en fonction de la vitesse angulaire de rotation de la tige.

1.1 Mesures préliminaires

Avant toute expérience il serait préférable de mesurer la raideur du ressort et la masse totale de la douille coulissante avec ses accessoires.

Pour mesurer la raideur du ressort, on peut suspendre le ressort verticalement et lui attacher des masselottes de masse m connue tout en mesurant la longueur x du ressort. La régression affine

$$mg = k(x - x_0) \quad (1)$$

donne la raideur k grâce à la pente et la longueur à vide x_0 grâce à l'ordonnée à l'origine. Le ressort fourni avec le matériel est de raideur $k = (10,9 \pm 0,2) \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$.

La masse de la douille non lestée et de ses accessoires, c'est-à-dire de l'ensemble {douille + collier de serrage + joints + crochet} est $m_0 = (28,46 \pm 0,02) \text{ g}$. Pour l'expérience, on pourra lester la douille avec une masselotte d'environ 50 g. On notera m la masse de l'ensemble.

1.2 Matériel de base

L'expérience se compose d'une tige rotative animée par un moteur, d'une douille coulissante et de ses accessoires, d'un ressort fixée à un joint de la douille à l'une de ses extrémités, l'autre extrémité étant fixée à la vis de serrage du moteur, enfin d'une alimentation continue pour le moteur (comme l'alimentation P53.2).

La tension imposée par l'alimentation permet de mettre le moteur en route et contrôle la vitesse angulaire de rotation de la tige, notée ω . Lorsque la vitesse de rotation augmente, la douille s'éloigne du centre de rotation et s'équilibre à une distance ℓ du centre de rotation, telle que les forces de rappel du ressort $F_r = k(\ell - \ell_0)$ et centrifuge $F_c = m\omega^2\ell$ se compensent, soit lorsque

$$\omega^2 = \frac{k}{m} - \frac{k}{m} \frac{\ell_0}{\ell}. \quad (2)$$

La régression affine de ω^2 en fonction de $1/\ell$ donne une pente de valeur $-\ell_0 k/m$ et une ordonnée à l'origine k/m .

2 Réalisation de l'expérience

2.1 Méthodes de mesure

Mesurer la vitesse angulaire de rotation de la tige et surtout l'élongation du ressort pose problème puisque l'ensemble est en mouvement. Une possibilité est de filmer la trajectoire de la douille puis de déterminer la période de rotation T à partir de la périodicité du film, et de traiter un des clichés sur ImageJ pour mesurer l'abscisse ℓ de la douille le long de la tige. Cette méthode a l'inconvénient d'être chronophage.

Une méthode alternative consiste à envoyer un faisceau laser sur le bord du collier de serrage (ou de tout autre accessoire lié rigidement à la douille) pour repérer sa position et la période de rotation. Le faisceau laser est fixé à hauteur du collier de serrage sur une platine de translation, elle-même vissée sur un breadboard qui assure

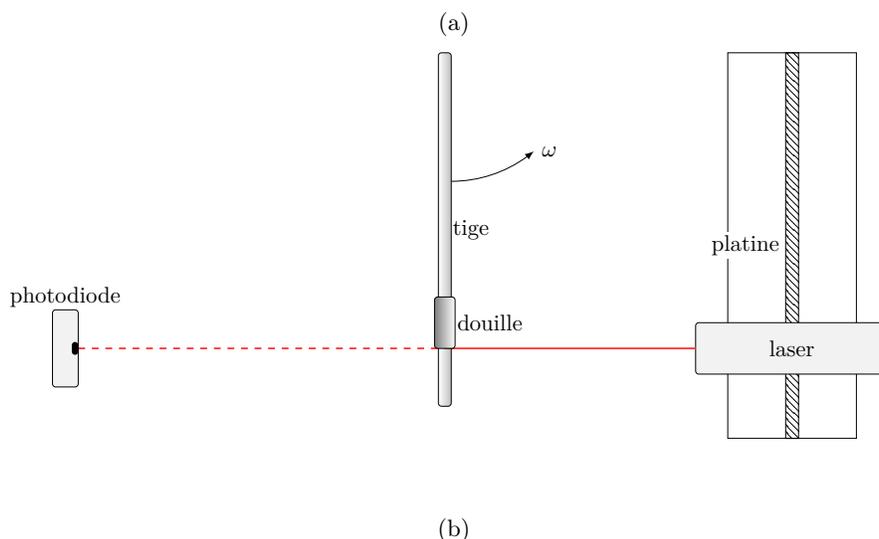
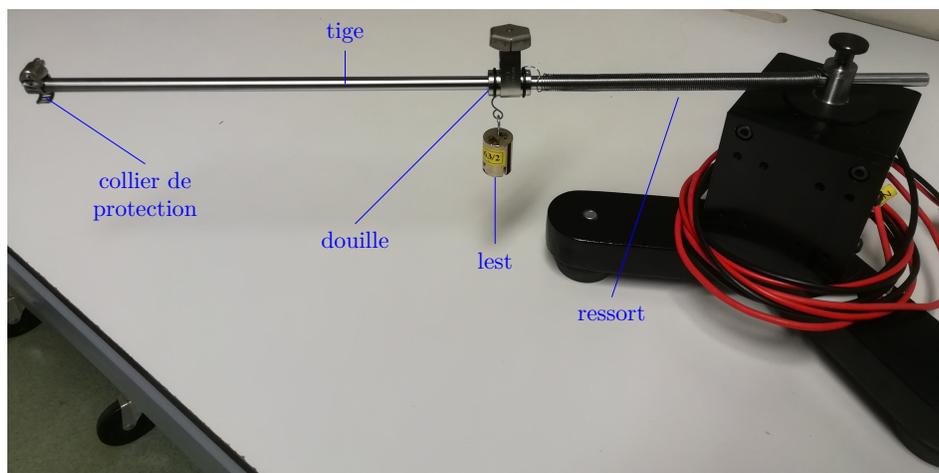


FIGURE 1 – (a) Dispositif tournant : le long d’une tige mise en rotation par un moteur coulisse une masse reliée à un ressort fixé au centre de rotation (ici la vis de fixation de la tige sur l’axe tournant du moteur). La masse comprend une douille à roulements à billes, un joint servant à fixer une extrémité du ressort, et un collier de serrage muni d’un crochet pour lester la douille. Une bague de serrage est ajoutée à l’extrémité de la tige pour des raisons de sécurité. (b) Un laser fixé à une platine de translation graduée permet de repérer la position de la masse coulissante et de mesurer la période de rotation.

l’immobilité de la platine. Lorsque la tige est en rotation, il suffit de translater le laser avec la platine de sorte à ce que le faisceau intercepte périodiquement le bord du collier de serrage. On lit ensuite la position de la douille (à une constante additive près) sur les graduations de la platine. À noter que ce qu’il faut repérer, en toute rigueur, est la position du centre de masse de l’ensemble constitué de la douille et de ses accessoires.

Cette méthode sert aussi à mesurer la période de rotation. Une fois le faisceau laser réglé pour frapper le bord du collier, placer une photodiode derrière le faisceau, et relier la sortie analogique de la photodiode à un oscilloscope. Le faisceau laser est partiellement occulté pendant un court instant une fois par période, ce qui permet de mesurer la période T sur le signal à l’oscilloscope, puis d’en déduire la vitesse angulaire $\omega = 2\pi/T$.

2.2 Conseils pratiques et résultats

- ▶ Pour minimiser les frottements solides au maximum, si besoin, lubrifier la tige à sec avec un lubrifiant pour micro-mécanisme (type serrure).
- ▶ Des frottements solides seront toujours présents. Afin d’obtenir les meilleurs mesures possibles, il est préférable de varier la pulsation dans un seul sens (soit croissante, soit décroissante, cela évite les effets d’hystérésis) et

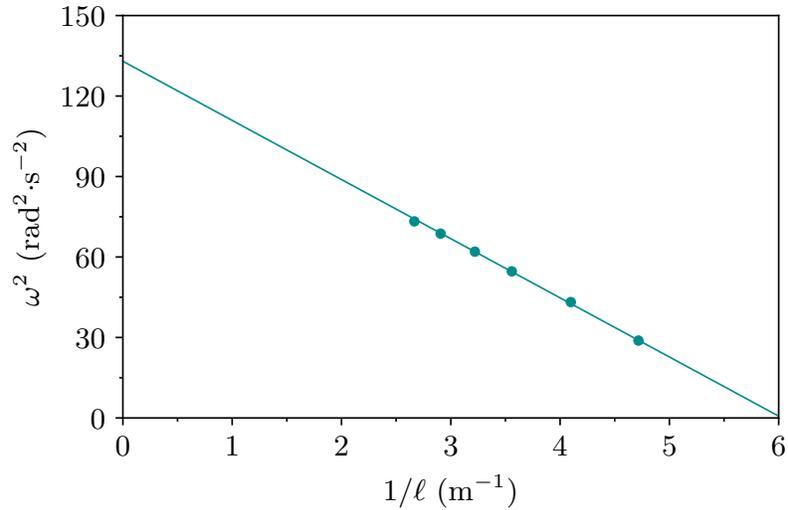


FIGURE 2 – Les points expérimentaux vérifient la loi affine $\omega^2 = b - a/\ell$ avec $b = (1,33 \pm 0,02) \times 10^2 \text{ rad}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ et $a = (2,21 \pm 0,03) \times 10^1 \text{ rad}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}$.

de ne pas prendre de points pour les très faibles pulsations.

- L'emploi d'un laser nécessite certaines précautions : toujours placer un écran derrière pour arrêter le faisceau au-delà de la paillasse, ne pas porter de montre ou tout objet réfléchissant, etc.

Les résultats de mesure sont présentés sur la Fig. 2. L'ordonnée à l'origine attendue est

$$\frac{k}{m} = 1,39 \times 10^2 \text{ rad}^2 \cdot \text{s}^{-2}, \quad (3)$$

en accord avec la valeur mesurée. La pente a donne accès à la distance du centre de la douille au centre de rotation au repos,

$$\ell_0 = \frac{am}{k} \simeq 160 \text{ mm}, \quad (4)$$

que l'on peut relier à la longueur à vide du ressort x_0 en estimant la position du centre de la masse coulissante par rapport à son point de fixation au ressort.