



## EXERCICES

- Confirmer la proportionnalité entre la fréquence de rotation  $f_R$  du disque tournant et le temps  $T_p$  d'une précession du gyroscope et déterminer le moment d'inertie à partir de la représentation graphique  $f_R(T_p)$ .
- Confirmer la proportionnalité entre la fréquence de rotation  $f_R$  et la fréquence de nutation  $f_N$  par la représentation graphique  $f_N(f_R)$  et les temps correspondants  $T_R(T_N)$ .

## OBJECTIF

Étudier par l'expérience la précession et la nutation d'un gyroscope et déterminer le moment d'inertie

## RESUME

En plus de son mouvement de rotation, une toupie effectue un mouvement de précession et de nutation, selon qu'une force extérieure et ainsi un couple supplémentaire agissent sur un axe de rotation ou que l'axe de rotation de la toupie tournant calmement est dévié de sa position d'équilibre. La période de précession est inversement proportionnelle à la période de rotation et la période de nutation directement proportionnelle à la période de rotation. Le rapport entre les périodes de précession et de rotation permet de déterminer le moment d'inertie du disque tournant.

## DISPOSITIFS NECESSAIRES

Nombre	Appareil	Référence
1	Gyroscope	1000695
2	Barrière photoélectrique	1000563
1	Diode laser rouge de précision	1003201
1	3B NETlog™ (230 V, 50/60 Hz)	1000540 ou
	3B NETlog™ (115 V, 50/60 Hz)	1000539
1	3B NETlab™	1000544
3	Socle pour statif, trépied, 150 mm	1002835
3	Noix universelle	1002830
3	Tige statif, 750 mm	1002935

## GENERALITES

La toupie est un corps rigide qui tourne sur un axe en un point fixe. Si une force extérieure agit sur l'axe, le couple de rotation modifie l'impulsion de rotation. La toupie tourne alors dans le sens perpendiculaire à l'axe de la figure et à la force agissante. Ce mouvement est appelé précession. Si l'on touche une toupie tournant calmement, elle effectue des mouvements de bascule-

2

ment, appelés la nutation. Les deux mouvements se superposent généralement.

Au cours de l'expérience, on utilise un gyroscope dont le grand disque circulaire tourne avec peu de frottements autour d'un axe de rotation situé sur un point d'appui. Un contrepoids est ajusté de manière à ce que le point d'appui coïncide au centre de gravité. Si le gyroscope est en équilibre et que le disque tournant est mis en rotation, on observe une impulsion de rotation constante  $L$  :

$$(1) \quad L = I \cdot \omega_R$$

$I$  : moment d'inertie,  $\omega_R$  : vitesse angulaire

Le moment d'inertie du disque tournant du gyroscope est donné par :

$$(2) \quad I = \frac{1}{2} M \cdot R^2$$

$M$  : masse du disque,  $R$  : rayon du disque

Si l'axe de rotation est alourdi par une masse supplémentaire  $m$ , le couple de rotation  $\tau$  provoqué par la force due au poids supplémentaire modifie l'impulsion de rotation :

$$(3) \quad \tau = m \cdot g \cdot r = \frac{dL}{dt}$$

$r$  : écart entre le point d'appui de l'axe de rotation et le point d'attaque de la masse supplémentaire

L'axe de rotation se déplace alors selon la Fig. 2 d'un angle

$$(4) \quad d\varphi = \frac{dL}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r \cdot dt}{L}$$

et se trouve en précession. Il en résulte pour la vitesse angulaire du mouvement de précession :

$$(5) \quad \omega_p = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{m \cdot g \cdot r}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r}{I \cdot \omega_R}$$

et avec  $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$  :

$$(6) \quad \frac{1}{T_p} = f_p = \frac{m \cdot g \cdot r}{I} \cdot T_R$$

Si le disque tournant est mis en rotation sans subir de couple de rotation extérieur supplémentaire et que l'axe de rotation est dévié légèrement, le gyroscope effectue des mouvements de nutation. La vitesse angulaire de la nutation est directement proportionnelle à celle de la rotation :

$$(7) \quad \omega_N = C \cdot \omega_R \quad \text{et} \quad T_R = C \cdot T_N$$

$C$  : constante

Au cours de l'expérience, nous allons saisir les mouvements de rotation, de précession et de nutation avec des barrières lumineuses et enregistrer puis représenter les courbes temporelles des impulsions à l'aide de 3B NETlog™ et 3B NETlab™.

## EVALUATION

Les périodes de rotation, de précession et de nutation sont déterminées par les courbestemporelles des impulsions enregistrées. Selon l'équation (6), la période de précession est inversement proportionnelle à la période de rotation et, selon l'équation (7), la période de nutation directement proportionnelle à la période de rotation. Dans le cadre de la précision de mesure, les valeurs de mesure se situent donc sur une droite passant par l'origine dans les diagrammes correspondants. À partir de la pente d'une droite adaptée aux points de mesure  $f_R(T_p)$ , on peut déterminer par l'expérience le moment d'inertie du disque tournant du gyroscope et le comparer à celui qui a été calculé au moyen de l'équation (2).

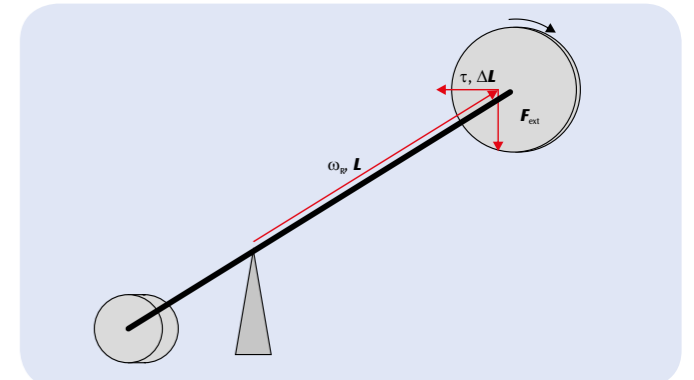


Fig. 1 Représentation schématique du gyroscope pour la précession

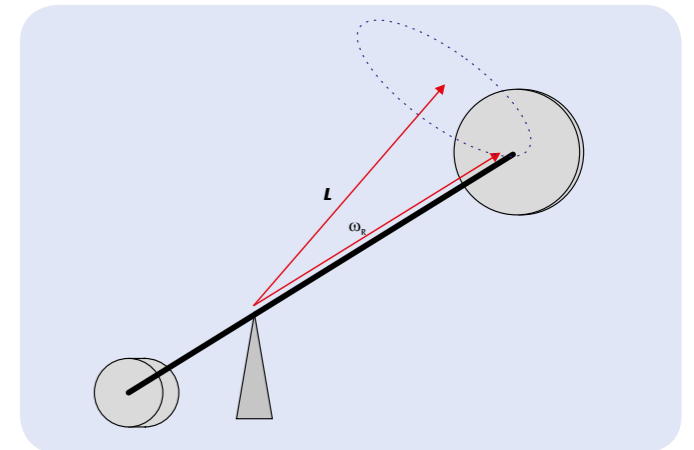
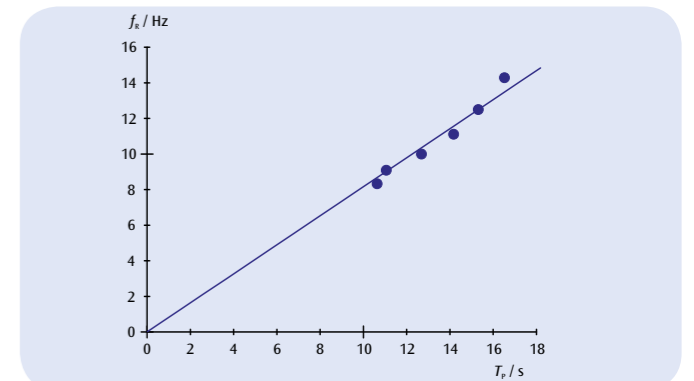
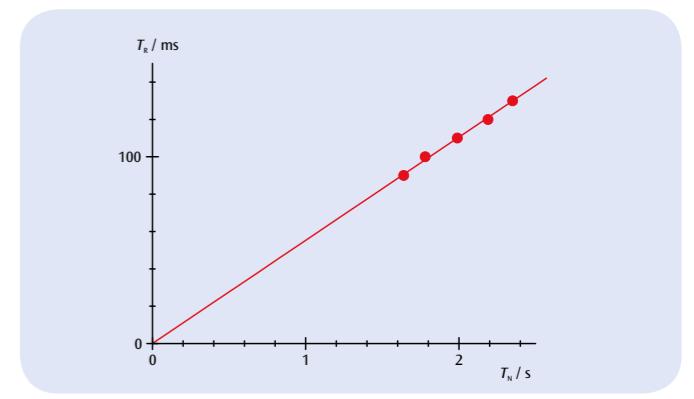


Fig. 2 Représentation schématique du gyroscope pour la nutation


 Fig. 3 Fréquence de rotation  $f_R$  du disque tournant en fonction du temps de précession  $T_p$ 

 Fig. 4 Temps de rotation  $T_R$  en fonction du temps de nutation  $T_N$