

Pendule de Foucault

DÉMONTRER LA ROTATION DE LA TERRE AVEC UN PENDULE DE FOUCAULT

- Mesurer le sens de l'oscillation comme fonction du temps.
- Déterminer la vitesse de rotation.
- Déterminer la latitude géographique.

UE1050250

07/15 JS



Fig. 1 Pendule de Foucault

NOTIONS DE BASE GENERALES

Un pendule de Foucault est un long pendule à fil dont la grande masse permet de démontrer la rotation de la Terre. Il remonte à *Jean Foucault* qui, en 1851, découvrit en utilisant un pendule de deux mètres de long que le sens de l'oscillation se modifiait au fil du temps. Plus tard, l'expérience fut reproduite avec des pendules toujours plus longs et plus lourds.

Comme la Terre tourne sur son axe, une force de Coriolis est exercée par rapport au système de coordonnées terrestre du pendule oscillant :

$$(F = 2 \cdot m \cdot \Omega_0 \times v \quad (1)$$

m : masse du corps du pendule

Ω_0 : vecteur de la vitesse angulaire de la Terre

v : vecteur de vitesse du pendule oscillant

dans le sens transversal au sens de l'oscillation. Elle entraîne une rotation du plan d'oscillation à une fréquence angulaire qui dépend de la latitude géographique φ du point de suspension.

Comme le pendule de Foucault n'est dévié que dans de petits angles α , le corps du pendule tourne uniquement sur le plan horizontal défini dans la Fig. 2 par l'axe N tourné vers le Nord et l'axe E orienté vers l'Est.

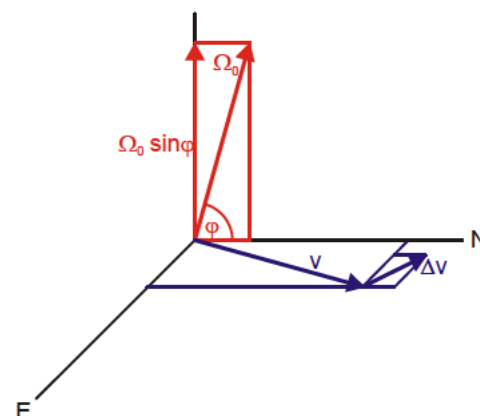


Fig. 2 Représentation dans le système de coordonnées terrestre du pendule de Foucault.

Seules sont considérées les déviations à l'horizontale, car le corps du pendule est suspendu à un fil. C'est pourquoi seule la composante verticale

$$\Omega(\varphi) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \tag{2}$$

du vecteur Ω_0 est déterminante. Aussi l'équation de mouvement du pendule de Foucault oscillant est-elle la suivante :

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} \cdot \mathbf{e}_p + 2 \cdot \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot \frac{d\alpha}{dt} \cdot \mathbf{e}_v + \frac{g}{L} \cdot \alpha \cdot \mathbf{e}_p = 0 \tag{3}$$

L : longueur du pendule, g : accélération de la pesanteur
 \mathbf{e}_p : vecteur unitaire horizontal parallèle au sens actuel de l'oscillation

\mathbf{e}_v : vecteur unitaire horizontal perpendiculaire au sens actuel de l'oscillation

Sa résolution peut être divisée en résolution pour l'angle de déviation α et en résolution pour le vecteur unitaire \mathbf{e}_p tournant parallèlement au sens actuel de l'oscillation :

$$\alpha(t) = \cos(\omega \cdot t + \beta) \text{ avec } \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \tag{4a}$$

$$\mathbf{e}_p(t) = \mathbf{e}_E \cdot \cos(\psi(t)) + \mathbf{e}_N \cdot \sin(\psi(t)) \tag{4b}$$

avec $\psi(t) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot t + \psi_0$: sens de l'oscillation

\mathbf{e}_E : vecteur unitaire horizontal vers l'Est

\mathbf{e}_N : vecteur unitaire horizontal vers le Nord

Au fil du temps, le plan d'oscillation tourne donc à la fréquence indiquée dans l'équation (2). Sur l'hémisphère Nord, la rotation est à droite et sur l'hémisphère Sud, elle est à gauche. La vitesse de rotation aux pôles est maximale, tandis qu'à l'Équateur, il n'y a pas de déviation.

L'expérience utilise un pendule à fil de 1,2 m de long. Pour éviter des oscillations elliptiques, le fil du pendule heurte à chaque déviation un anneau de Charon. On peut lire avec une grande précision le sens de l'oscillation sur une graduation angulaire grâce à la projection d'ombre du fil. Après quelques minutes déjà, on peut observer la rotation du plan d'oscillation. Si l'observation dure un peu plus longtemps, on peut compenser l'atténuation par une excitation électromagnétique à réglage continu.

LISTE DES APPAREILS

- 1 Pendule de Foucault @230 V 1000748 (U8403000-230)
ou
- 1 Pendule de Foucault @115 V 1000747 (U8403000-115)
- 1 Chronomètre numérique 1002811 (U11902)

MONTAGE

Voir aussi le mode d'emploi du pendule de Foucault

Choix du lieu d'installation :

- Poser le pendule de Foucault sur un plan horizontal, stable et sans secousses.
- Éviter le rayonnement direct du soleil.

Contrôle de l'écart entre la boule du pendule et l'électroaimant :

- Poser le disque d'ajustement sur le dispositif de mesure et adapter la longueur du pendule de sorte que la boule du pendule touche tout juste le disque d'ajustement.
- Contrôler cet écartement à intervalles longs car le fil du pendule peut s'allonger de 1 à 2 mm.

Contrôle de l'orientation horizontale :

- Insérer le cylindre d'ajustement sur le dispositif de mesure et suspendre la boule du pendule.
- Orienter le pendule de Foucault en pivotant les pieds de réglage (deux pieds à la fois !), de sorte que la boule du pendule soit suspendue juste au-dessus du centre du cylindre d'ajustement.

Torsades du fil de suspension :

- Laissez la boule du pendule suspendue librement au fil durant quelques heures pour éviter les torsades.

RÉALISATION

- Dévier le pendule avec la main et le relâcher.
- Fermer prudemment la porte en verre.
- Activer l'excitation électromagnétique et observer le pendule durant au moins 5 minutes.
- Régler l'excitation de sorte que le pendule ne s'arrête pas et ne touche pas non plus la porte en verre.
- Régler l'angle de la source lumineuse pour projection d'ombre de sorte que l'ombre du pendule en mouvement reste sur la marque verticale de l'écran d'observation.



Fig. 3 Source lumineuse pour projection d'ombre, écran d'observation et disque gradué du pendule de Foucault

- Lire la position de l'angle sur le disque gradué et démarer la mesure temporelle.
- Ajuster la position de l'angle de la source lumineuse environ toutes les 10 minutes, de sorte que l'ombre du pendule en mouvement soit à nouveau sur la marque verticale.
- Noter la position de l'angle et le temps de mesure.

EXEMPLE DE MESURE

Tableau 1 : Valeurs de mesure du niveau d'oscillation ψ et du temps t , enregistré pour la latitude $\varphi = 50^\circ$

t/s	ψ
0,0	179,6°
662,4	181,6°
1200,0	183,2°
1833,6	185,0°
3024,0	188,0°
3660,0	190,0°
4260,0	192,2°
5178,0	195,2°
5820,0	197,4°

EVALUATION

L'angle d'orientation ψ du plan d'oscillation dépend linéairement du temps (voir Fig. 4). La pente des droites par les points de mesure donne la valeur recherchée $\Omega(\varphi)$.

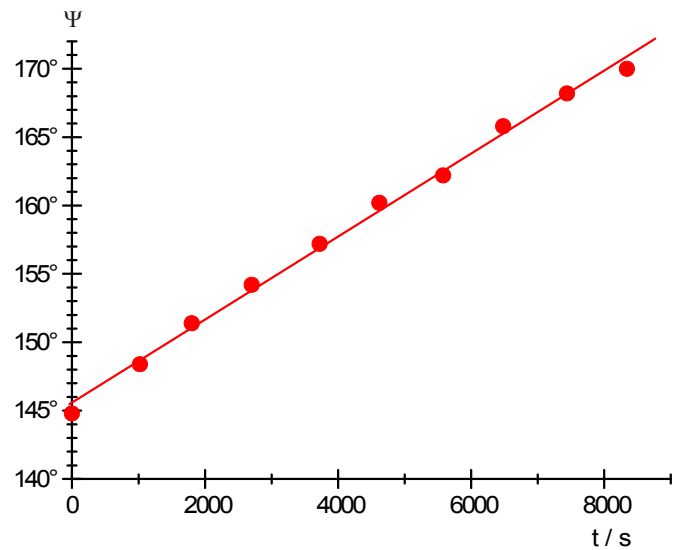


Fig. 4 Angle d'orientation ψ du niveau d'oscillation en fonction du temps t , enregistré pour la latitude $\varphi = 50^\circ$

Les données mesurées obtenues permettent de définir

$$\Omega(\varphi) = (0,0030 \pm 0,0003) \text{ } ^\circ/\text{s}$$

Après déformation de l'équation (2), on calcule la latitude selon

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \arcsin\left(\frac{86400 \text{ s}}{360^\circ} \cdot \Omega(\varphi)\right) = 46^\circ \pm 4^\circ$$