Chapitre 13 : Présentation des systèmes oscillants

Connaissances et savoir-faire exigibles :

(1) Définir un pendule simple.
(2) Justifier la position d'équilibre dans le cas d'un pendule simple.
(3) Définir l'écart à l'équilibre, l'abscisse angulaire, l'amplitude, la pseudo-période, la période propre et les mesurer sur un enregistrement.
(4) Enoncer la loi d'isochronisme des petites oscillations.
(5) Savoir comment un système peut atteindre un régime apériodique.
(6) Savoir que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période est voisine de la période propre.
(7) Pour un pendule simple, justifier la forme de l'expression de la période propre par analyse dimensionnelle.
(8) À partir d'une série de résultats expérimentaux, vérifier la validité de l'expression de la période propre d'un pendule simple.

Savoir-faire expérimentaux :

(9) Décrire un protocole expérimental permettant :

- D'enregistrer le mouvement d'un système oscillant plus ou moins amorti.
- De vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations.
- De vérifier l'expression de la période propre dans le cas du pendule simple.

Activité préparatoire : les pendules de Galilée :

1) *On pourrait utiliser le terme d'oscillations.*
2) *On parlerai alors ici de période ou de fréquence.*
3) *Les arcs sont les amplitudes des oscillations.*
4) *Galilée a étudié l'influence de la masse du solide accroché au fil sur la période des oscillations.*
5) *Oui, les pendules de Galilée sont amortis, celui constitué de la boule en plomb est beaucoup moins soumis aux frottements que celui constitué par la boule en liège.*
6) *Galilée a voulu mettre en évidence l'effet de la longueur du fil du pendule sur la période des oscillations.*
7) *Il s'agit de l'amplitude des oscillations.*
8) *La période d'un pendule exprimée en seconde est la durée d'un aller-retour. La fréquence exprimée en hertz est l'inverse de la période.*
9) *La masse du pendule pesant n'a pas d'influence sur la période des oscillations, tout comme l'amplitude de celles-ci. La longueur du fil est le seul paramètre qui fera varier fortement la période des oscillations du pendule.*

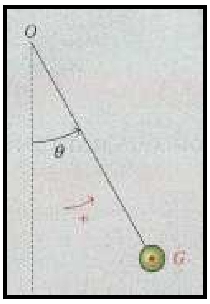
Introduction :

Quels systèmes oscillants, rencontrés dans la vie de tous les jours, connaissez-vous ?

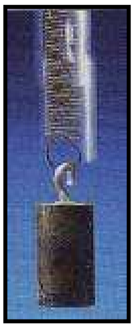
Un enfant sur une balançoire, une horloge à balancier, suspension de voiture moto, oscillations des immeubles ou des ponts sous l'effet du vent, vibration des sols au passage d'un métro ou d'un train …

Expériences :

En physique, nous étudions des systèmes bien plus simples, mais ceux-ci pourront modéliser des situations réelles. Voici quelques exemples de systèmes oscillants classiques :



Pendule simple


Système masse-ressort

Qu'est-ce que ces oscillateurs ont en communs ? comment définir un oscillateur ?
Les oscillateurs sont des systèmes mécaniques qui, lorsqu'ils sont perturbés, vont revenir à leur position d'équilibre en oscillant de part et d'autre de celle-ci.

I Présentation du pendule simple :

1) Définition [1] :

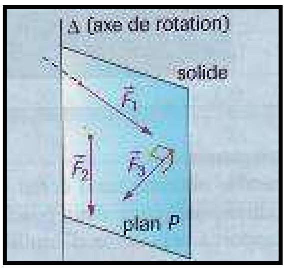
- Une pendule pesant est un système mécanique **mobile autour d'un axe fixe horizontal** qui ne passe pas par son centre d'inertie.
- Le pendule simple est un cas idéal du pendule pesant dans la mesure où on considère que l'objet est accroché à l'extrémité d'un **fil inextensible ou d'une tige rigide dont la masse est négligeable devant la masse de l'objet suspendu**.
  le centre de gravité du système est donc celui de la masse suspendu.

2) Position d'équilibre [2] :

a. Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe : *Expérience roue rotation axe fixe*

- Pour **mettre en mouvement** un solide en rotation autour d'un axe fixe, il faut lui **appliquer une force perpendiculaire à l'axe de rotation Δ :** $\overrightarrow{F_3}$
- Si on exerce une force :
  - ✓ Dont la ligne d'action coupe l'axe de rotation Δ : $\overrightarrow{F_1}$
  - ✓ Dont la ligne d'action est parallèle à l'axe de rotation Δ : $\overrightarrow{F_2}$

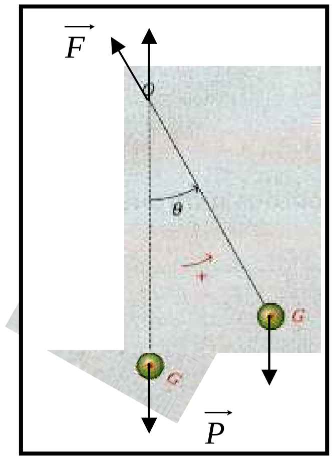
Alors **on ne peut produire le mouvement du solide**.



Doc n°1

b. Cas du pendule simple :

- Considérons un pendule simple composé d'une tige rigide de masse négligeable et d'une masse m à son extrémité.
- Si on **néglige les forces exercées par l'air** (poussée d'Archimède et frottements), les forces appliquées au système sont :
  - ✓ **Le poids** $\overrightarrow{P}$ du système appliqué au centre de gravité
  - ✓ **La force** $\overrightarrow{F}$ **exercée par l'axe** de rotation sur le système
- Cette **deuxième force n'a pas d'effet sur le système** car quelque soit sa position, la droite d'action de $\overrightarrow{F}$ par l'axe de rotation.
- Pour ce qui est du **poids**, cette force n'a **pas d'effet** quand le pendule est verticale : ainsi le pendule est dans une **position d'équilibre**.



Doc n°2

  Par contre si le pendule est écarté d'un angle θ de cette position d'équilibre, le **poids a tendance à faire revenir le pendule dans sa position initiale** après quelques oscillations. Cette position est donc appelée **position d'équilibre stable**.

3) Grandeurs physiques caractérisant le mouvement du pendule simple [3] :

Expériences pendule simple informatisé sous Généris 5+

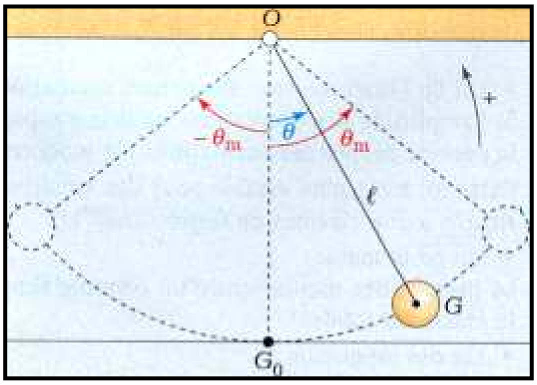
a. Ecart à l'équilibre et abscisse angulaire :

- Au cours du mouvement d'un système oscillant, celui-ci oscille autour de sa position d'équilibre stable. Ainsi on peut **caractériser cette oscillation par une grandeur qui dépend du temps et qui**

décrit de combien le système s'écarte de sa position d'équilibre stable.

- **Pour un pendule simple**, la grandeur qui dépend du temps la plus judicieuse à suivre, c'est **l'angle duquel s'écarte le pendule à chaque oscillation : cette grandeur est généralement notée θ et est appelée abscisse angulaire.**

  Elle peut être négative ou positive, selon le sens positif choisi (théoriquement celui du cercle trigonométrique).



Doc n°3 :
θ : Abscisse angulaire
θ_m : Amplitude des oscillations

b. Amplitude des oscillations :

C'est la **valeur maximale prise par l'abscisse angulaire**, quelque soit son signe.

c. Période des oscillations :

La période (exprimée en seconde) d'un phénomène périodique est la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se reproduit identique à lui-même.
On verra par la suite deux types de périodes : période propre et pseudo-période.

On peut aussi définir la **fréquence (exprimée en hertz)** du phénomène périodique : f = 1/T.

II Etude de l'oscillateur libre :

1) Loi d'isochronisme des petites oscillations [4] :

a. Expérience :

Enregistrons sous Généris 5+ le mouvement du pendule θ = f(t) lâché avec une amplitude :
de 20° d'une part
de 10° d'autre part

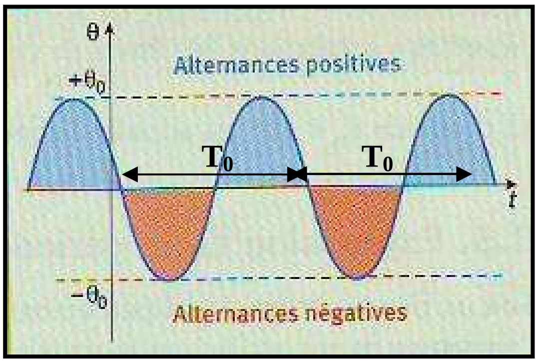
b. Observation :

Sur quelques oscillations, on remarque que la période est la même quelques soit l'amplitude des oscillations.

c. Conclusion :

La période d'un pendule pesant ne dépend pas de l'amplitude θ_m des oscillations si celle-ci reste petite.

Lorsque le pendule libre est non amorti, la période est nommé **période propre** et est noté T_0.



Doc n°4

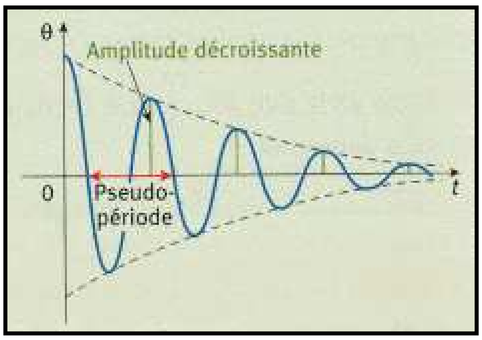
2) Pendule libre peu amorti :

En réalité, sur plusieurs oscillations, on remarque que le pendule perd de l'amplitude, celui-ci est donc considéré comme peu amorti. Selon l'amortissement, on a différents régimes :

a. Régime pseudo-périodiques [6] :

- Expérience :

  Enregistrons le mouvement du pendule θ = f(t) en augmentant légèrement son amortissement.
- Observations :



Doc n°5

Sous Généris 5+ on observe alors une courbe de forme comme ci-contre :

➢ Conclusion :

On observe une **pseudo-période qui reste quasiment identique à chaque oscillation**.

Celle-ci est **très proche de la valeur de la période propre** du pendule.

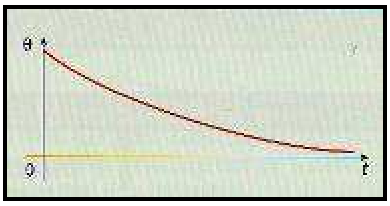
b. Régime apériodique [5]:

➢ Expérience :

Enregistrons le mouvement du pendule θ = f(t) lorsque l'amortissement est très fort.

➢ Observations :

Nous n'observons plus d'oscillations, comme la courbe ceci :



Doc n°6

➢ Conclusion :

Pour obtenir un régime apériodique, il faut que le pendule est un amortissement fort.

3) Etude de la période propre du pendule simple :

a. Expression et analyse dimensionnelle [7] :

➢ L'expression de la période propre est : $\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$

➢ Analyse dimensionnelle : $[T_0] = \sqrt{\frac{[l]}{[g]}} = \sqrt{\frac{L}{L \times T^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T$

La période propre du pendule simple a bien la dimension d'un temps

b. Vérification de cette expression par l'expérience [8] : *Voir TPφ 2^nde^*

➢ Comme nous l'avons vu en seconde, la période d'un pendule peut dépendre :
- ✓ De la masse m du pendule
- ✓ De la longueur du fil
- ✓ Du champ de pesanteur, c'est à dire du lieu où l'on se trouve sur le globe terrestre.

➢ Nous ne pouvons tester facilement **l'influence du champ de pesanteur**, mais nous savons que sa valeur varie de quelques centièmes selon la position sur Terre. **Ce paramètre sera négligé**.

➢ Pour **tester l'influence de la masse**, il suffit de faire osciller le même pendule en changeant uniquement la masse au bout du fil :
On observe alors aucune influence de ces changements.

➢ Il nous reste à tester l'influence de la longueur du pendule. En réalisant quelques mesures, on se rend compte que **si on augmente la longueur, alors la période augmente également**.
Par contre il ne semble pas y avoir proportionnalité entre T et l.

Cl :
Il y a bien correspondance entre expression de la période propre d'un pendule pesant et observations expérimentales.

Exercices n°7 p 279 et n°19 p 283