

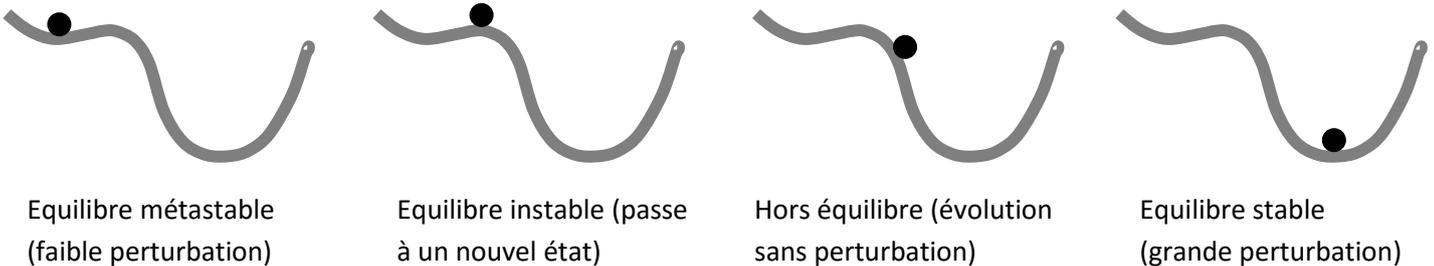
1. **Perturbation d'un système physique**

a. **Définitions/vocabulaires :**

- Un système est le corps ou l'ensemble de corps que l'on étudie.
- Une perturbation est une modification locale et temporaire d'un système physique.
- L'origine de la perturbation est appelée la source.
- La nature de la perturbation est une modification d'une ou des grandeurs physiques associées aux éléments du système.

b. **Propriétés**

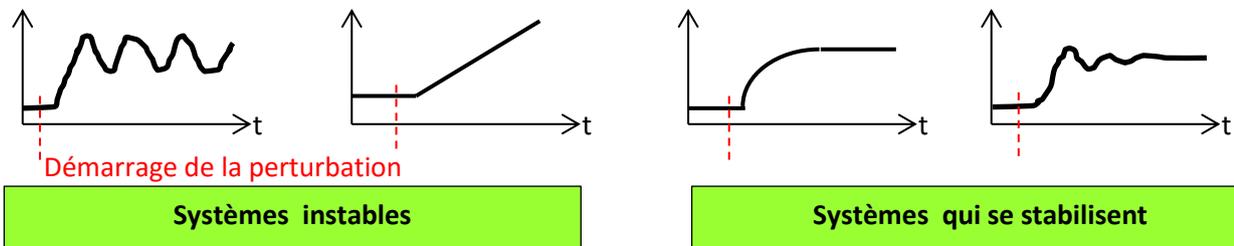
- Equilibre : un objet est à l'équilibre lorsque plusieurs forces agissent simultanément sur lui et ne modifient pas son état de repos (ou de mouvement).



c. **Réponse temporelle d'un système**

Caractériser la réponse temporelle de différents systèmes physiques soumis à une perturbation en utilisant les capteurs appropriés.

Pour caractériser une réponse temporelle il faut tracer la courbe d'évolution dans le temps de la grandeur physique sur laquelle agit la perturbation.



Systèmes instables

Systèmes qui se stabilisent

Pour observer cette réponse structurelle il faut des capteurs appropriés, par exemple :

- un thermomètre à alcool, un thermocouple ou une sonde pT100 lorsqu'on ajoute un corps chaud dans le système ;
- un transducteur piézoélectrique pour détecter une perturbation ultrasonore ou un microphone si elle est sonore ;
- une sonde à effet Hall pour mesurer une tension.

2. **Phénomènes vibratoires**

Identifier la ou les grandeur(s) vibratoire(s).

On dit qu'un phénomène est vibratoire, lorsque soumis à une perturbation, il se traduit par des oscillations autour d'une position d'équilibre stable ou d'une trajectoire moyenne.

On appelle oscillation tout mouvement de va et vient ou toute variation d'une grandeur.

Exemples :

- L'écart angulaire  $\theta$  du fil d'un pendule par rapport à la verticale ;
- La tension aux bornes d'un condensateur ;
- La pression de l'air au cours d'un phénomène sonore ;
- L'allongement du ressort d'un amortisseur lorsque la voiture passe dans un trou ;
- ...

### 3. Systèmes oscillants

#### a. Exemples de systèmes oscillant

En mécanique		En électricité	
Système	Domaine de fréquence	Système	Domaine de fréquence
Un pont soumis au vent	1 Hz	télécommande	~ 1 THz
Transducteur piézoélectrique ultrasonore	40 000 Hz (40 kHz)	Antenne télévision râteau	500 à 800 Mhz
Verre frotté par un doigt	500 Hz	IRM	40 MHz
La Terre lors d'un séisme	$10^{-4}$ à 20 Hz	Circuit RLC au labo	10 à 5 000 Hz

#### b. Caractéristiques d'un système oscillant

**Qualifier les oscillations libres d'un système : oscillations pseudopériodiques, quasi-sinusoïdales, amorties.**

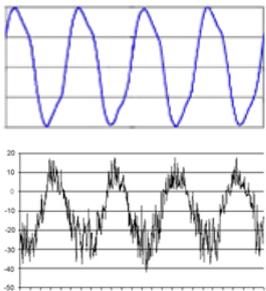


Figure 1

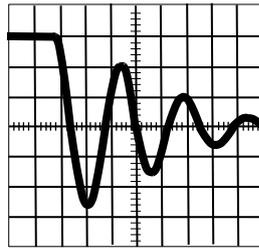


Figure 2

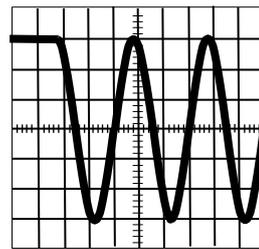


Figure 3

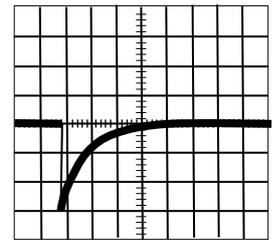


Figure 4

- La figure 3 représente des **oscillations sinusoïdales** ;
- La figure 1 représente des **oscillations quasi-sinusoïdales** ;
- La figure 2 représente des **oscillations pseudopériodiques**, elles subissent un **amortissement** c'est-à-dire que l'amplitude des oscillations diminue ;
- La figure 4 **l'amortissement** est si important que les oscillations n'ont pas le temps d'apparaître.

#### c. Modélisation d'un système oscillant

**Modéliser analytiquement, à partir d'enregistrements, les réponses correspondant aux différents régimes d'oscillations d'un système à un degré de liberté : harmonique, apériodique, pseudopériodique.**

Savoir reconnaître le modèle c'est-à-dire **choisir** la relation en fonction du graphe observé et réciproquement.

- Figure 1 : **régime harmonique** modèle :  $y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$  avec  $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- Figure 2 : **régime pseudopériodique** modèle :  $y(t) = A \cdot e^{-\lambda t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$  avec  $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- Figure 3 : **régime apériodique** modèle :  $y(t) = A \cdot e^{-\lambda t}$  ← Ce terme indique la présence d'un amortissement

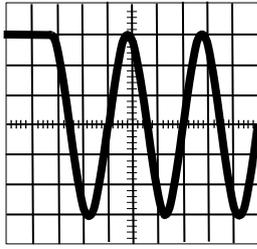


Figure 1

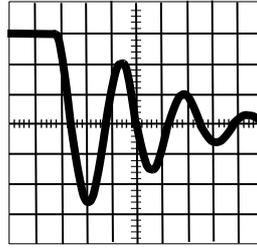


Figure 2

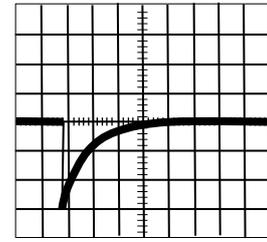


Figure 3

#### d. Comparaison des systèmes oscillants

Comparer deux oscillateurs dans deux domaines différents de la physique ; indiquer les analogies.

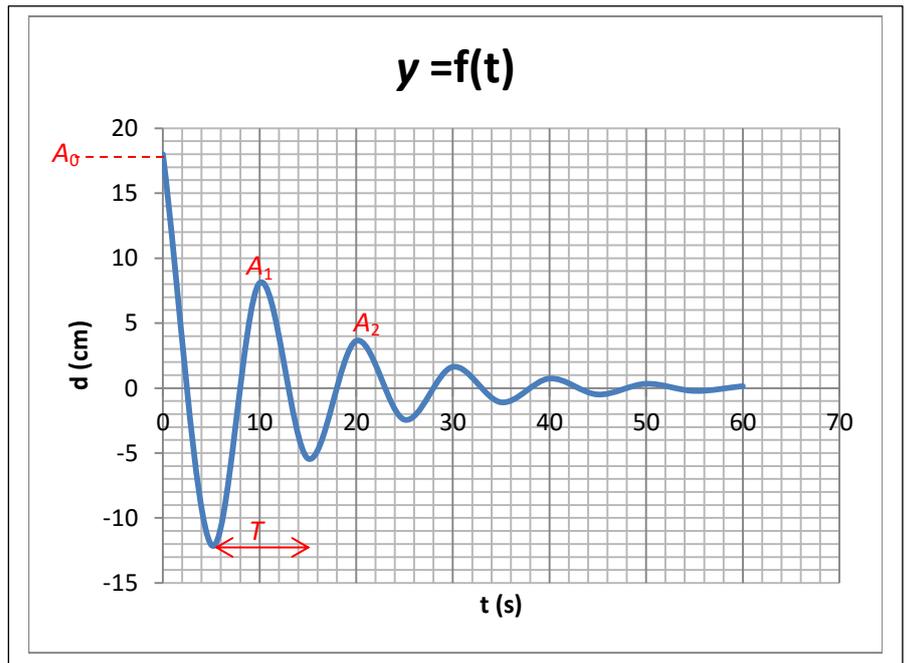
$$y(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\text{Avec } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Le régime pseudopériodique de cet exemple peut illustrer :

- soit le cas d'un pendule, alors l'amplitude  $A = \theta$  l'angle par rapport à la verticale.
- soit la décharge d'un condensateur dans un circuit électrique RLC, alors l'amplitude  $A = U$  la tension du condensateur.

L'amplitude correspond à la grandeur vibratoire qui dépend du type d'oscillateur.



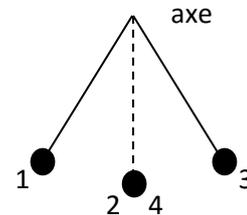
Les autres caractéristiques : le coefficient d'amortissement ( $\lambda$ ), la pseudo période ( $T$ ) (ou la période) et la phase à l'origine (ici  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ) sont analogues quelques soit le type d'oscillateur.

#### 4. Aspect énergétique des oscillations

Identifier les formes d'énergie mises en jeu dans un phénomène oscillatoire en mécanique et en électricité.

##### a. Le pendule

- En position 1 le pendule possède une énergie potentielle  $E_{p1} = mgh_1$ , son énergie cinétique est nulle  $E_{c1} = \frac{1}{2}mv_1^2$  avec  $v_1 = 0$ .
- En position 2 le pendule possède une énergie cinétique  $E_{c2} = \frac{1}{2}mv_2^2$  avec  $v_2 \neq 0$ , son énergie potentielle est nulle  $E_{p2} = mgh_2$  avec  $h_2 = 0$ .
- En position 3 on retrouve le cas de la position 1.
- En position 4 on retrouve le cas de la position 2.



Dans le cas idéal **sans frottement** l'énergie potentielle (1) est transformée en énergie cinétique (2) et réciproquement (3) etc.  $E_{p1} = E_{c2} = E_{p3} = E_{c4} = E_m$  ce qui correspond à l'énergie mécanique qui se conserve. On a **un régime d'oscillation harmonique**.

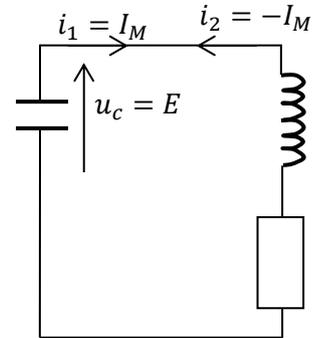
Dans la réalité on a des frottements sur l'axe et avec l'air aussi  $E_{p1} \neq E_{c2} \neq E_{p3} \neq E_{c4}$  l'énergie de chaque position diminue au fur et à mesure des oscillations l'énergie mécanique n'est plus conservée et **les oscillations s'amortissent**. On a un **régime pseudo périodique**.

Si les frottements sont trop grands **l'amortissement des oscillations est important**, le **régime devient aperiodique**.

### b. Le circuit RLC

Soit un circuit avec un condensateur de capacité  $C$ , une bobine d'inductance  $L$  et une résistance  $R$ .

- Au départ (1) le condensateur est chargé ( $u_c = E$ ) l'énergie est stockée sous forme **d'énergie électrostatique** ( $E_{es} = \frac{1}{2}CE^2$ ), dans la bobine il n'y a pas d'énergie stockée sous forme magnétique.
- Le condensateur se décharge et l'énergie se stocke dans la bobine sous forme d'énergie magnétique.
- A la fin (2) le condensateur est déchargé ( $u_c = 0$  et  $E_{es} = \frac{1}{2}CE^2$ ) toute l'énergie est stockée sous forme **d'énergie magnétique** ( $E_m = \frac{1}{2}LI_M^2$ ).
- Puis la bobine se décharge, le courant change de sens pour recharger le condensateur d'où le phénomène d'oscillation.



Si la résistance du circuit est **nulle  $R = 0$**  il n'y a **pas de perte d'énergie** on est en **régime harmonique**.

Si  **$R \neq 0$  et faible** il y a **un peu de perte d'énergie** on est en **régime pseudopériodique**.

Si  **$R \neq 0$  et importante**, **la perte d'énergie est forte**, on est **en régime aperiodique**.

## 5. Phénomène de résonance

**Mettre en évidence expérimentalement un phénomène de résonance en électricité et en mécanique ; mesurer une fréquence de résonance et déterminer un facteur de qualité.**

### a. Définition :

**Un système est à la résonance lorsque son amplitude est maxi pour une valeur particulière de la fréquence appelée fréquence de résonance  $f_0$ .**

### b. Détermination expérimentale de la fréquence de résonance :

Protocole :

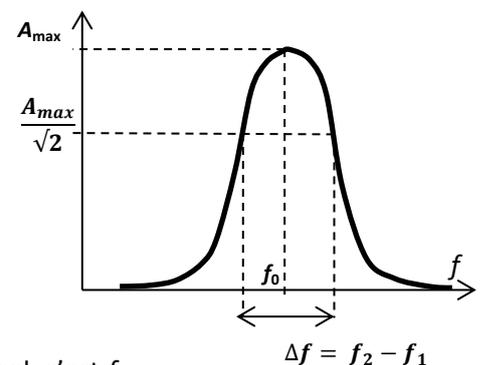
- Réaliser le schéma du montage ;
- Réaliser le montage et démarrer les oscillations ;
- Régler la fréquence afin d'obtenir une amplitude maximale du signal, c'est  $f_0$  ;

### c. Facteur de qualité

Pour déterminer le facteur de qualité (Q) il faut tracer la courbe  $A = f(f)$ , on mesure  $A$  pour différentes fréquence autour de  $f_0$ . Puis déterminer  $\frac{A_{max}}{\sqrt{2}}$  après avoir mesuré  $A_{max}$  et enfin calculer Q avec la relation.

$$\text{Facteur de qualité : } Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

**Le phénomène de résonance est intense si Q à une valeur importante c'est-à-dire que  $\Delta f$  est étroit.**



## 6. Oscillations auto entretenues

### a. Dispositif d'entretien des oscillations

#### Analyser le rôle d'un dispositif d'entretien d'oscillations.

Le dispositif d'entretien des oscillations permet de supprimer l'amortissement que l'on a avec les oscillations libres. Les pertes d'énergie dues au frottement (en mécanique) ou à la résistance (en électricité) sont compensées par l'apport d'énergie du dispositif d'entretien.

- Un vibreur pour faire vibrer une corde ;
- Un GBF pour faire osciller un circuit RLC.

### b. Spectre des oscillations

#### Visualiser et exploiter le spectre en amplitude d'un signal temporel représentatif d'oscillations en régime permanent.

Tout signal oscillatoire périodique dans le temps peut être considéré comme le résultat de la somme de signaux sinusoïdaux de différentes fréquences.

Si les oscillations sont périodiques (fréquence  $f$ ) (cas entretenues), elles ont un signal temporel qui peut être le résultat de la somme de signaux sinusoïdaux de fréquences qui sont des multiples entiers de  $f$ .

