

La Physique

Autour de la notion de fréquence

Déjà abordée au lycée, la notion de **fréquence** deviendra un concept fondamental en physique en classe préparatoire. On est ainsi amené à étudier le comportement de différents phénomènes, non plus en fonction du temps **mais en fonction de la fréquence**. On parle alors **d'étude fréquentielle**.

Vous allez, au travers d'un mini-TP ¹ de 20/30 minutes, étudier deux éléments en rapport avec les fréquences : les **spectres** et la **résonance**.

Important 1: La notion de fréquence

Rappel : Lorsqu'un signal $s(t)$ est périodique de période T , on peut définir sa fréquence f comme le nombre de période par unité de temps, soit :

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

On étudie en général des signaux périodiques particuliers : les **signaux sinusoïdaux** dont la forme temporelle est...sinusoïdale.

Important 2: Description mathématique - Signal sinusoïdal

En prépa, les grandeurs physiques sont toujours décrites mathématiquement **au moyen de grandeurs littérales qui ont un sens physique**.. Ici, un signal $s(t)$ sinusoïdal sera décrit par :

$$s(t) = s_m \sin(2\pi ft + \phi) \quad (2)$$

avec :

- s_m : **l'amplitude** correspond à la dilatation verticale du signal.
- f : **la fréquence**. Elle correspond à la dilatation ^a horizontale du signal
- ϕ : la phase à l'origine. Elle correspond au *décalage* horizontal du signal.

Ces grandeurs littérales auront une valeur particulières pour chaque expérience mais dans les études théoriques, elles restent souvent sous cette forme pouvant "théoriquement prendre n'importe quelle valeur dans les calculs".

^a. ou plutôt la contraction

Trois TP différents sont proposés et des groupes de 3/4 élèves réaliseront chacun ces TP avant de présenter rapidement leurs résultats.

1. les TP de physique durent 2h (MPSI) ou 4h (PCSI) en classes préparatoires

I TP1 : La corde de Melde - Fréquences spatiales

Le dispositif est déjà monté pour gagner du temps². Il est important de ne PAS le démonter ni de modifier les réglages des appareils.

Document 1: Présentation du protocole

L'expérience de la corde de Melde consiste à étudier le comportement d'une corde tendue (ici par des masses) lorsqu'un vibreur la fait vibrer à une fréquence f choisie (Figure 1). La vibration imposée est sinusoïdale. On observe notamment **l'amplitude** de vibration de la corde **en fonction de la fréquence choisie**.

La molette **Frequency** du générateur permet de modifier la fréquence de vibration (celle-ci est affichée sur le générateur en Hz).



FIGURE 1 – Montage de la corde de Melde. Le système qui alimente le vibreur n'est pas représenté.

Manipulation 1: Forme de la corde.

1. Manipulations :
 - (a) Allumer l'amplificateur (le générateur est déjà allumé). La corde devrait se mettre à vibrer.
 - (b) Allumer le stroboscope qui éclaire la corde avec une fréquence presque identique à celle du générateur.
2. Observations et Interprétations.
 - (a) Quelle est la forme mathématique simple à un instant t fixé ?
 - (b) Proposer, alors une fonction $y(x)$ qui décrirait la forme de la corde à un instant t . *Indice : C'est une fonction périodique. S'aider de ce qui a été fait avant.* Comment appelle-t-on la période de y en physique ?
3. [Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.](#)

Manipulation 2: Phénomène de résonance

1. Manipulations :
 - (a) Tout en observant bien (sans le stroboscope) le comportement de la corde, diminuer lentement la fréquence du générateur (et donc du vibreur) jusqu'à atteindre au moins la moitié de la fréquence de départ puis réaugmenter jusqu'à atteindre le double de la

². En pratique, ce sont les élèves qui réalisent le montage

fréquence de départ.

2. Observations et interprétations

- (a) Qu'observe-t-on ? On parle de **phénomène de résonance**. Si l'on devait rendre compte de ce phénomène avec une/des grandeurs quantitatives, quelles seraient ces grandeurs et comment les mesurerions-nous ? ^a

3. **Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.**

^a. On ne le fera pas ici par manque de temps mais cette manipulation est réalisable en classes préparatoires.

Exercice 1: Interprétation théorique sur un cas plus simple

On ne va pas faire l'étude théorique de la manipulation précédente ^a mais un phénomène proche qui met en valeur les mêmes fréquences que celles mesurées précédemment.

On considère la même corde tendue, de longueur L mais **ses deux extrémités sont fixées**. On cherche à déterminer pour quelles fréquences f , la corde peut vibrer tout seule de manière sinusoïdale ^b

- Rappeler la forme $y(x)$ que possède la corde à un instant t si elle vibre de manière sinusoïdale. Y introduire la longueur d'onde comme grandeur littérale (inconnue). Il doit y avoir deux autres grandeurs inconnues. Lesquelles ?
- Paramétrage ^c : On choisit $x = 0$ pour une des extrémités de la corde et donc $x = L$ pour l'autre. Que doivent valoir $y(x = 0)$ et $y(x = L)$? Vous pouvez vous aider du lien de la question suivante pour répondre à cette question.
- Observer la forme de la corde sur la simulation : <https://www.geogebra.org/classic/kaxhsvnk> et régler les paramètres (de haut en bas - commencez par ϕ) pour répondre aux contraintes trouvées.
 - Cas de l'amplitude : Est-elle contrainte ?
 - Cas de la longueur d'onde : Est-elle contrainte ? Peut-elle prendre une, plusieurs, toutes les valeurs possibles ?
- On admet la **relation de dispersion** $\lambda f = c$ où c est la célérité des ondes le long de la corde ^d. Saurez-vous trouver quelles sont toutes les fréquences possibles ? Trouve-t-on un résultat cohérent avec l'étude expérimentale ?
- Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.**

^a. réalisable en classes préparatoires mais avec des outils mathématiques plus conséquents.

^b. On ne se demande pas ici comment on pourrait la faire vibrer toute seule de manière sinusoïdale (même forme que celle observée) et on néglige les frottements ! C'est une expérience *théorique* !

^c. Très important en physique

^d. Imaginez-vous faire vibrer la corde de haut en bas et vous pouvez comprendre qu'une onde se propage.

De nombreuses questions restent en suspens expérimentalement comme théoriquement. Proposer certaines questions qui vous viennent. Certaines auront peut-être leur réponse en classes préparatoires.

Vous avez ici fait une version écourtée d'un TP et une étude théorique (faite en cours). Celle-ci serait complétée d'un calcul un peu plus fourni (cf. le corrigé en exemple

II TP2 : La résonance en électrocinétique

Le dispositif est déjà monté pour gagner du temps³. Il est important de ne PAS le démonter ni de modifier les réglages des appareils.

Document 2: Présentation du protocole

On considère un circuit électrique composé de trois dipôles (une résistance, une bobine, un condensateur^a) alimentés en entrée par un générateur qui délivre une tension sinusoïdale de fréquence f qu'on pourra choisir grâce à la molette **Frequency** du générateur.

Le montage permet de mesurer sur l'oscilloscope la tension aux bornes du générateur (notée $e(t)$) et la tension aux bornes de la résistance (notée $s(t)$) :

- La tension $e(t)$ qu'on impose est visualisée sur la Voie 1 (en bleu).
- La tension $s(t)$ qu'on veut étudier est visualisée sur la Voie 2 (en jaune).^b

^a. Ces dipôles sont étudiés en classes préparatoires mais leur connaissance est inutile ici.

^b. Vous pouvez faire apparaître ou disparaître une voie en appuyant les boutons bleu/jaune correspondant à chaque voie.

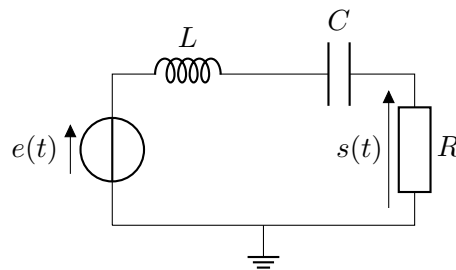


FIGURE 2 – Schéma du montage électronique.

Manipulation 3: Etudier un signal sinusoïdal

1. Observer le signal d'entrée sur l'oscilloscope. Vous devriez observer quelques périodes de ce signal, sinon, appeler le professeur. Mesurer la fréquence f du signal et vérifier qu'elle est identique à celle affichée par le générateur. Mesurer aussi l'amplitude du signal d'entrée^a.
2. Quelle est l'allure et la fréquence du signal de sortie ? Augmenter la fréquence de 100Hz et mesurer à nouveau la fréquence. **Il faudra probablement modifier la base de temps et/ou la sensibilité verticale de l'oscilloscope.**
3. On parle de **régime sinusoïdal forcé**. Pourquoi ?
4. [Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.](#)

^a. cf. Introduction pour le vocabulaire. Réfléchir comment l'obtenir sur le tracé.

Manipulation 4: Phénomène de résonance

1. Faire varier la fréquence du signal d'entrée. Comment évolue le signal de sortie ? **Il faudra probablement modifier la base de temps et/ou la sensibilité verticale de l'oscilloscope.**

3. En pratique, ce sont les élèves qui réalisent le montage

2. Déterminer la fréquence du signal d'entrée pour laquelle le signal de sortie est d'amplitude maximale. On parle de **phénomène de résonance**. Mesurer cette fréquence.
3. Mesurer l'amplitude du signal d'entrée et du signal de sortie à la fréquence dite de résonance.
4. [Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.](#)

Exercice 2: Etude théorique

On ne va pas faire l'étude complète du circuit qui nécessiterait d'introduire plusieurs chapitres de classes préparatoires. On admettra le résultat suivant : si la tension d'entrée s'écrit $e(t) = e_m \sin(2\pi ft)$ alors la tension de sortie aura pour expression :

$$s(t) = \frac{e_m}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} \sin \left(2\pi ft - \arctan \left(Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \right) \right) \quad (3)$$

avec Q qui dépend des composants mais son expression n'est pas utile ici. ^a et f_0 la fréquence de résonance trouvée expérimentalement.

1. En vous aidant des expressions données en introduction, déterminer l'amplitude s_m du signal. Vous devriez observer qu'elle dépend de la fréquence f du signal d'entrée : on pourrait écrire la fonction $s_m(f)$ ^b.
2. Avec un minimum de calcul, déterminer la fréquence f pour laquelle l'amplitude $s_m(f)$ est maximal. Que vaut alors s_m ?
3. Comparer vos résultats théoriques à ceux trouvés expérimentalement.
4. [Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.](#)

^a. Pour les plus curieux $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ mais cette expression ne sera pas expliquée ici !

^b. Plusieurs grandeurs littérales restent sans valeurs numériques. Les calculs en prépa sont principalement littéraux.

Vous avez ici fait une version écourtée d'un TP et une étude théorique (faite en cours). L'expression utilisée ici est normalement établie par calcul et étude du circuit proposé.

III TP3 : Le spectre d'un signal

Document 3: Notion de spectre

De nombreux signaux ne sont PAS sinusoïdaux. A titre d'exemple :

- Le signal lumineux issu d'une lampe du quotidien n'est pas sinusoïdal (il varie d'ailleurs tellement rapidement qu'on ne peut mesurer ses variations).
- Un signal sonore issu d'un instrument n'est presque jamais sinusoïdal.

On peut par contre les *décomposer* en une somme de très nombreux sinusoïdes et les *fréquences* des sinusoïdes qui compose le signal peuvent donner des informations très importantes :

- Dans le cas d'un signal lumineux, chaque fréquence qui compose le spectre correspond à une couleur ^a. En se combinant, ces "couleurs" (fréquences) donne un signal non-sinusoïdal dont la couleur est différente (synthèse additive des couleurs).
- Dans le cas d'un signal sonore, chaque fréquence qui compose le spectre correspond à une "note" différente plus ou moins aigue suivant la valeur de f . Dans de nombreux cas, le signal se décompose en une fréquence qui définit la "hauteur" du son, *le fondamental*, et de nombreuses autres fréquences qui sont des multiples du fondamental : *les harmoniques*.

L'ensemble des signaux sinusoïdaux qui compose un signal quelconque est appelé le **spectre** du signal.

La manière la plus courante de représenter le spectre est de représenter l'amplitude de chaque sinusoïde (on parle de *composante spectrale*) en fonction de sa fréquence : c'est ce que vous cherché à tracer ici pour des signaux lumineux différents.

a. Dans le visible mais certaines fréquences peuvent aussi être dans le domaine non visible : IR, RF, UV...

Manipulation 5: Obtention des spectres de signaux lumineux

1. Le logiciel d'acquisition a déjà été configuré. Vous devriez voir une courbe représentant le spectre du signal que le capteur reçoit.
2. Allumer la lampe à LED et l'approcher au maximum du capteur. Faire de même avec la lampe spectrale.
3. Commenter les différences entre les spectres.
4. [Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.](#)

Manipulation 6: Effet de filtrage

1. Placer devant la lampe à LED un des filtres proposé et observer le spectre de la lumière en sortie. Que fait le filtre ?
2. Comparer l'effet des différents filtre.
3. [Lien vers les réponses et développement théoriques. Cliquez ici.](#)

Un notebook Jupyter (Python) est ouvert dans l'un des onglets du navigateur. Aller sur cette page pour poursuivre le TP.