

# MP 25 : Mesure de fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu).

Correcteurs : Karim Helal<sup>1</sup> et Vincent De Zotti<sup>2</sup>

Montage présenté le 20 janvier 2017 par David Dumont

---

## Extraits des rapports du jury

- 2015, 2016 : Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse.
- 2014 : Ce montage ne consiste pas en l'étude d'une succession de phénomènes périodiques à l'aide d'un fréquencemètre commercial, ce qui serait beaucoup trop élémentaire et redondant, mais bien aux techniques de mesure de fréquences.
- 2013 : La résolution spectrale lors d'une transformée de Fourier discrète n'est pas toujours connue. Les candidats gagneraient à connaître les méthodes de détermination de fréquence par multiplication (translation) ou hétérodynage.

## Commentaires généraux sur le montage

Le montage présenté était de bonne qualité. La prestation était pédagogique et dynamique. Le temps d'exposé a été respecté. Le tableau était soigné et contenait les informations nécessaires.

Le principe de chaque expérience a été clairement expliqué. Attention cependant aux approximations réalisées, il faut pouvoir les justifier (un pendule pesant n'est pas toujours assimilable à un pendule simple).

Les mesures réalisées ont permis de retrouver les valeurs attendues, et les calculs d'incertitudes ont été détaillés. Essayez si possible de remonter à des valeurs qui ont un sens physique (comme une masse ou une vitesse par exemple), plutôt qu'à un coefficient abstrait.

## Commentaires détaillés du montage

### Introduction (1 min)

La définition d'une fréquence temporelle a été donnée.

### 1 Mesure par comptage (12 min)

#### 1.1 Comptage à l'aide d'un chronomètre

L'utilisation d'un chronomètre illustre la façon la plus simple de mesurer une fréquence.

La mesure de période a été réalisée sur un pendule pesant, en considérant qu'il est assimilable à un pendule simple. Cette approximation n'est pas raisonnable, car la masse de la tige semble être équivalente que celle de la masselotte à son extrémité. Utiliser plutôt un poids attaché à un fil pour réaliser cette expérience.

L'intérêt de mesurer dix périodes plutôt qu'une seule et le calcul des incertitudes ont bien été menés.

---

1. karim.helal@free.fr

2. vincent.de\_zotti@ens-lyon.fr

## 1.2 Principe du fréquencemètre

Le principe du fréquencemètre a bien été décrit à travers l'observation des différents signaux sur l'oscilloscope.

## 1.3 Mesure de la fréquence d'un diapason

La transformation du signal acoustique en créneau électrique a bien été décrit. La mesure a permis de retrouver la fréquence du diapason, et l'incertitude a été justifiée.

## 2 Analyse spectrale (20 min)

Le système des pendules couplés est une expérience intéressante pour illustrer le principe de l'analyse spectrale.

La détection des masses avec la caméra pose parfois des problèmes. Il faut essayer de trouver un éclairage optimal en préparation pour ne pas être gêné par la suite.

Avec deux conditions initiales différentes, les quatre modes propres du système ont été observés. L'expérience a également permis de discuter les limitations de la transformée de Fourier : résolution en fréquence, critère de Shannon...

## 3 Détection synchrone (7 min)

Le principe de la détection synchrone a bien été décrit. Le raisonnement en ordre de grandeur a permis de justifier son intérêt.

La mesure par effet Doppler pour différentes vitesses a permis de retrouver le coefficient attendu. Cependant, il serait préférable de remonter à la vitesse du son à partir de ces mesures, plutôt qu'à un rapport de coefficient qui n'a pas réellement de sens physique.

## Conclusion (1 min)

L'ouverture sur les mesures de fréquences par résonance est une possibilité.

## Questions posées et éléments de réponses

### Quelle approximation fait-on en assimilant un pendule pesant à un pendule simple ?

On considère que la masse totale du pendule est localisée en un point matériel. En pratique, cette approximation sera valable si la masse de la tige est négligeable devant celle de la masselotte accrochée.

### Dans le cas d'un pendule simple, la période s'exprime-t-elle toujours : $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ?

Cette expression n'est valable que dans l'approximation des petites angles ( $\theta_0 \ll 1$ ). Pour des amplitudes plus importantes, on peut utiliser la formule de Borda :  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{\theta_0^2}{16}\right)$ .

En pratique, on considère que l'approximation des petits angles est valide jusqu'à au moins  $20^\circ$ , l'erreur sur la période restant inférieure à 1%.

### Quels sont les principes de fonctionnement d'une porte ET et d'une bascule JK ?

La porte logique ET renvoie 1 en sortie si elle reçoit 1 sur chacune de ses deux entrées, elle renvoie 0 sinon.

Une bascule JK, avec  $J = K = 1$ , change d'état (elle passe de 0 à 1 ou de 1 à 0) à chaque front montant du signal en entrée.

**Pourquoi le signal créneau correspondant aux oscillations du diapason n'est-il pas symétrique ?**

Le signal en sortie du comparateur à hystérésis bascule lorsque la tension d'entrée dépasse  $\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$ . Or ce rapport n'étant pas nul, cela engendre une dissymétrie dans le signal créneau en sortie. La mesure de période n'est cependant pas affectée par cette dissymétrie.

**L'amplitude des oscillations des pendules couplés décroît au cours du temps, est-ce que cela modifie les fréquences propres du système ?**

Oui, l'amortissement subi par les pendules décale légèrement les fréquences d'oscillations. Un oscillateur harmonique amorti oscille à une pseudo-période légèrement différente de celle d'un oscillateur non-amorti.

**Comment peut-on détecter plus facilement les modes propres 2, 3 et 4 des pendules couplés ?**

En utilisant une condition initiale plus proche des modes secondaires, on peut atténuer l'amplitude du mode principal et ainsi mieux détecter les suivants.

**Pourquoi le signal reçu avec l'effet Doppler décroît au cours de la mesure ?**

Le signal acoustique reçu par le récepteur décroît simplement parce qu'il s'éloigne de l'émetteur au cours du temps.

## Conseils et compléments

Les expériences présentées lors de ce montage semblent conformes aux attentes du jury. Elles balayent différentes techniques de mesure de fréquences, du simple comptage à la transformée de Fourier. La mesure de vitesse par détection synchrone est intéressante car elle montre une application courante de la mesure de fréquences (radars de contrôle routier par exemple).

Si vous souhaitez mesurer la période des oscillations d'un pendule simple, n'utilisez pas un pendule pesant, à moins de pouvoir justifier que cette approximation est valable (ce n'était pas le cas ici).

Enfin d'autres expériences sont également possible pour ce montage, telles que les mesures de fréquences par résonance comme cela a été suggéré en ouverture.

J'en profite pour vous rappeler l'importance de lire les rapports du jury<sup>3</sup> pour être au courant des attentes du jury.

Nous restons à votre disposition par mail si vous avez d'autres questions.

---

3. sur le site [www.agregation-physique.org](http://www.agregation-physique.org)