

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

Amélie Chardac<sup>1</sup>, Hervé Gayvallet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univ. Lyon, ENS de Lyon, Univ. Claude Bernard,  
CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342, Lyon, France

(Dated: December 8, 2020)

Rapport de correction pour le montage "Mesure de fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu)", présenté par Sylvio Rossetti (le 03/12/2020) dans le cadre de la préparation à l'agrégation de Physique, à l'ENS de Lyon.

## I. GÉNÉRALITÉS SUR CE MONTAGE

La présentation était claire, le discours fluide et dynamique.

Toutes les expériences présentées dans ce plan avaient leur place dans le sujet. Le titre, assez large, de ce montage invite effectivement à présenter différentes techniques de mesure de fréquences temporelles. Le choix d'aller crescendo dans la complexité de la mesure est pédagogique et apprécié. L'étudiant a bien su mettre en avant les spécificités de chacune des méthodes présentées.

Quand c'est possible, trouver un fil rouge pour relier les différentes manipulations proposées permet de mettre en relief les montages et assure des transitions naturelles.

Attention aux imprécisions de langage ("assez", "environ", "à peu près", "petit circuit"...") qui nuisent à l'assurance des propos du présentateur.

Plusieurs montages "électroniques" (à base d'AO notamment) ont été utilisés. Les valeurs des composants étaient notées au tableau, ce qui est bien, mais l'étudiant n'a pas suffisamment commenté le choix de ces valeurs. De manière générale, il faut bien penser à donner les critères qui vous ont permis de choisir tel ou tel composant. Ici cela avait de l'importance pour justifier que la fréquence finale mesurée était bien celle voulue, par exemple.

Aussi bien dans les réponses aux questions que pour l'expérience "surprise", l'étudiant a eu une attitude volontaire et positive. N'oubliez pas qu'il est toujours plus agréable pour le jury de pouvoir interagir avec vous. Cela a bien été fait ici (reflexion à voix haute pour résoudre un problème expérimental, explication de tous les gestes de manipulations...).

## II. REMARQUES DÉTAILLÉES SUR LA PRÉSENTATION

- **Introduction** : Le candidat a donné la définition d'une fréquence et son intérêt à plusieurs niveaux (définition de la seconde, applications de l'effet Doppler aux radars autoroutiers...). Le cadre du montage est clair et guide l'ensemble de la présentation.
- **I. Mesure par comptage. Pendule simple** : Il s'agit d'une manipulation simple, qui a été réalisée de manière efficace, de l'expérience à l'interprétation du résultat. 20 périodes sont mesurées au chronomètre pour un pendule simple de longueur de fil fixée. Cela permet de mesurer l'incertitude relative sur la mesure du temps certes, mais la longueur de fil choisie d'une vingtaine de centimètres mérite d'être questionnée. En effet, on gagnerait à réduire l'incertitude de mesure en prenant une ficelle plus longue, ce qui parallèlement permettrait de se rapprocher encore mieux du modèle du "pendule simple". Le point de mesure est ajouté à des points réalisés en préparation, l'incertitude statistique ainsi que l'incertitude finale sont discutées et on obtient une mesure de  $g$  cohérente.  
Il aurait été utile de préciser l'incertitude de mesure provenant de la mesure au chronomètre et du repérage des oscillations. Attention, il faut savoir la différence entre pendule simple et pendule pesant et pouvoir justifier au jury le choix de tel ou tel modélisation.
- **II. Principe du fréquencesmètre** : l'intérêt est présenté (on ne peut pas compter à la main un nombre d'oscillations par seconde trop important). La définition d'un signal TTL est donnée. Néanmoins, l'étudiant n'a pas précisé que le but final de son expérience était de mesurer la fréquence d'un diapason, c'est dommage car cela aurait permis de justifier l'intérêt de l'utilisation du fréquencesmètre.  
L'expérience n'ayant, dans un premier temps, pas abouti, l'étudiant a su rebondir efficacement pour chercher l'origine du problème. Il faut savoir que le jury peut être amené, à tout instant de l'oral, à se lever et venir voir le montage juste à côté de vous, il ne faut donc pas se laisser destabiliser et continuer sa présentation.  
Une fois le problème résolu, l'étudiant a choisi de ne pas présenter plus en détail le principe du fréquencesmètre

pour ne pas perdre de temps et s'est contenté de faire l'expérience, dont la conclusion n'était pas très convaincante : l'incertitude finale était de plusieurs Hz sur la mesure de la fréquence du diapason. C'est dommage de ne pas avoir eu plus d'explications du montage, en particulier sur le choix des composants électroniques, et de ne pas avoir proposé des pistes pour améliorer la mesure ou du moins tenter de justifier cette forte incertitude sur la mesure finale.

- **III. FFT :** Le principe de l'algorithme de FFT a été présenté assez brièvement. Sans rentrer dans le détail du fonctionnement de l'algorithme, on aurait apprécié quelques précisions supplémentaires sur l'intérêt de cette méthode, ainsi que sur ses limites ou restrictions, et son efficacité (par exemple sur le fait que l'algorithme fonctionne avec un nombre de points toujours égal à une puissance de deux et complète avec des "zéros" si le signal reçu ne respecte pas cette contrainte). Le critère de résolution a néanmoins été discuté correctement et le critère de Shannon a été justifié.

Lors de la présentation du spectre obtenu à partir du son simultanément émis par deux diapasons, on voyait des pics "parasites" avant le premier pic attendu. Cela n'a été ni décrit ni commenté par le candidat pendant la présentation, mais correctement discuté lors des questions.

- **IV. Détection synchrone - effet Doppler :** L'intérêt (mesure de petits décalages en fréquence) a été présenté, néanmoins le principe même de la détection synchrone n'a pas été suffisamment détaillé. Il aurait fallu expliquer le rôle du multiplieur et schématiser/montrer le spectre obtenu avant l'effet du filtre passe-bas.

L'étudiant a choisi de mesurer la vitesse de l'émetteur grâce à un chronocompteur, pour remonter à la vitesse du son  $c$ . On pourrait également choisir d'illustrer la détection synchrone pour mesurer une vitesse de déplacement inconnue, connaissant  $c$  avec précision. Les deux choix peuvent se justifier.

Là encore, une difficulté technique a été rencontrée lors de la présentation mais a été résolue rapidement.

Le titre étant "mesure de fréquences temporelles", utiliser la détection synchrone pour arriver à une mesure finale de température ne semble pas très pertinent. Il aurait été préférable de s'arrêter à une mesure de  $c$ , et de la comparer à la valeur tabulée à la température de la pièce. Lorsque vous utilisez des appareils de mesure, tel un chronocompteur, assurez vous d'en connaître le fonctionnement et la précision.

Rien n'a été évoqué lors de la présentation concernant les propriétés des émetteurs et récepteurs à ultrason, ni sur la comparaison de la longueur d'onde à la distance entre émetteur et récepteur (cavité résonante ? conséquence éventuelle ?), ni sur l'effet de la diffraction (qui est responsable de la décroissance de l'amplitude de l'onde acoustique avec la distance). Un remède pour ce dernier point consiste à utiliser une lentille acoustique. On peut réaliser une telle lentille simplement avec un ballon gonflé au  $CO_2$ . Ce n'est pas à montrer lors de la présentation, bien sûr, mais il faut savoir que cela existe dans l'éventualité de questions portant sur ce sujet.

### III. QUESTIONS :

Je vous conseille de vous renseigner sur le fonctionnement des différents appareils de mesure utilisés (chronocompteur, portes logiques, moteur du banc pour l'effet Doppler...).

De plus, le montage se prêtant tout particulièrement à des manipulations avec des diapasons et/ou un fil rouge sur la musique, soyez prêts à répondre à des questions sur le rôle de la "caisse de résonance" associée au diapason, ainsi qu'à l'influence d'une masse sur une des branches du diapason. Quel est le facteur de qualité d'un diapason ? A quelle précision souhaite-t'on connaître une note idéalement en musique ? La question du fonctionnement d'un accordeur de guitare a été posée. Il peut être de deux natures : soit l'accordeur est équipé d'un micro et alors il capte la note émise par la corde pincée et la transmet à un fréquencemètre relié à un amplificateur. Soit l'accordeur est équipé d'un capteur de vibrations et ce sont les vibrations du manche que l'accordeur guitare détecte. Soyez capables de justifier chacun des composants et des montages à AO que vous avez utilisés. Le jury ne souhaite pas que vous preniez un montage tout fait dans un livre, mais que vous réfléchissiez au rôle de chaque élément.

Concernant la FFT, il faut bien en connaître le principe, la précision et les limites. Par exemple, quelle est l'influence des paramètres de la TF sur la précision de la fréquence mesurée ? Comment pourrait-on l'illustrer ? Que signifie l'amplitude des pics sur le spectre ?

### IV. MANIPULATION "SURPRISE"

Sujet : "mesurez le coefficient de restitution d'une balle de ping pong par la méthode de votre choix".

L'étudiant a commencé par se questionner sur la définition du coefficient de restitution, qu'il a défini en terme d'énergie. Il a ensuite discuté de l'influence du sol sur lequel la balle rebondit.

Un protocole opératoire a été rapidement trouvé, accompagné de sa réalisation. Les mesures ont été bien réalisées (compte tenu des moyens modestes mis à sa disposition) et accompagnées d'une répétition pour limiter les incertitudes.

L'étudiant a choisi de mesurer les hauteurs de rebonds successifs. Avec le micro mis à disposition, on aurait également pu remonter au temps d'impact entre des rebonds successifs. Notant  $\alpha$  le coefficient de restitution en vitesse, on obtient alors une relation géométrique en  $\alpha$  entre le temps de vol entre l'impact  $n$  et l'impact  $n + 1$ , et l'indice du  $n$ -ième rebond.

N'oubliez pas, quand on vous demande d'obtenir une mesure quantitative, de discuter cette valeur en regard du phénomène physique observé (ici, est-on satisfait d'obtenir un coefficient de restitution de 0.8 ? Oui car compris entre 0 et 1, et plutôt proche de 1 car les rebonds sont peu amortis).