

# MP32 - Couplage des oscillateurs

16 Février 2017 - Présenté par Christopher Madec

Correction : M. Vincent<sup>1</sup>, G. Pillet<sup>2</sup>

## Rapports du jury

**2014, 2015, 2016** Les pendules utilisés dans le cadre de ce montage sont souvent loin d'être des pendules simples, et les candidats doivent en tirer les conclusions qui s'imposent. Les expériences de couplage inductif sont souvent difficiles à exploiter car les candidats ne maîtrisent pas la valeur de la constante de couplage. Enfin, il n'est pas interdit d'utiliser plus de deux oscillateurs dans ce montage, ou d'envisager des couplages non linéaires, qui conduisent à des phénomènes nouveaux comme l'accrochage de fréquence, et ont de nombreuses applications.

## Commentaires généraux

Les expériences prévues donnaient un bon aperçu de la richesse du sujet. Le couplage mécanique des pendules simple permet de montrer les premières conséquences du couplage (deux modes, deux pulsations, transfert d'énergie entre les pendules, énergie des modes fonction des conditions initiales). Les oscillateurs RLC couplés par une capacité permettent de montrer l'influence du couplage sur les pulsations des modes et de faire des mesures quantitatives. Enfin la chaîne de pendules montre ce qu'il se passe dans le cas de  $N$  oscillateurs couplés :  $N$  pulsations qui appartiennent à une courbe de phonons, qui décrit l'ensemble des pulsations que possède le système avec une infinités d'oscillateurs.

Christopher a bien expliqué certaines de ces parties, mais sur d'autres le message n'était pas toujours très clair. Beaucoup de temps a été passé à mesurer précisément des valeurs de moment cinétique qui n'ont pas servi dans la suite, ce qui a laissé très peu de temps pour l'étude de la chaîne de pendule. Néanmoins, l'idée principale de cette dernière expérience aurait pu être expliquée avec le temps restant. Il faut savoir, dans ces cas là, sacrifier certaines mesures que l'on souhaitait faire pour se concentrer sur l'idée de base de la manip, et ne surtout pas tenter de faire tenir tout ce que l'on avait prévu en 2 minutes.

## Retour sur le montage présenté

**Introduction :** Bonne introduction. C'est une bonne idée de ce concentrer sur le couplage élastique/capacitif,

mais d'évoquer les autres pour montrer que l'on sait que ce n'est pas le seul type de couplage possible. Attention cependant à ne pas perdre trop de place sur le tableau avec des formules théoriques qui ne serviront pas par la suite.

## 1 Pendules couplés par un fil de torsion

L'étalonnage du capteur de position des pendules a été expliqué, une mesure a été faite et le coefficient de conversion a été mesuré à l'aide d'une régression. Faire tout ça durant la présentation n'est pas pertinent ! Il faut avoir fait cette procédure durant la préparation et simplement la mentionner lors de la présentation. Cela permet de gagner de nombreuses minutes pour parler vraiment du sujet. Autrement le jury peut avoir l'impression que vous perdez du temps sciemment avec des mesures simples pour ne pas parler de sujets que vous ne maîtrisez pas (ce qui n'était pas le cas ici).

Dans la suite, trop de temps a été consacré aux calculs préliminaires pour déterminer la constante de couplage entre les pendules. La constante de couplage étant nécessaire pour calculer l'échange d'énergie entre les pendules, on peut la calculer rapidement à l'aide des deux pulsations propres, en supposant la loi qui relie  $\omega_{as}$  à  $C$  (loi que l'on pourra vérifier dans la partie suivante par exemple).

Mais la manip des deux pendules couplés peut être assez rapide, si l'on se contente de montrer l'existence des modes et l'importance des conditions initiales sur les modes, de mesurer les pulsations associées, et de montrer qualitativement le transfert d'énergie entre les modes.

## 2 Couplage capacitif de deux circuits RLC

Pour cette expérience, le temps a été bien géré, les mesures des pulsations symétriques et antisymétriques ont bien marché et ont permis de valider la dépendance de  $\omega_{as}$  en  $C$ . Ce qui a manqué est l'aspect pédagogique ! Christopher a choisi de mesurer les pulsations à l'aide d'un analyseur de spectre (choix discutable) et en regardant le déphasage à la résonance. Même si cette méthode

1. marc.vincent@ac-lyon.fr

2. grimaud.pillet@ens-lyon.fr

est plus précise, On aurait aimé voir une courbe de gain, avec deux beaux pics (ce qui aurait permis de discuter du facteur de qualité des oscillateurs). De plus, un changement rapide de la capacité de couplage, aurait montré très clairement la modification de la pulsation asymétrique alors que celle symétrique ne change pas. Si l'on choisi de faire un couplage inductif, c'est encore plus visuel, car on voit encore mieux qu'on modifie le couplage en éloignant ou en rapprochant les bobines, et on peut avoir en même temps les pics qui bougent à l'écran de l'analyseur de spectre ou de l'oscilloscope.

Avec la courbe des pulsations en fonction du couplage, il faut commencer par commenter la validation des lois avant de penser à remonter à des valeurs attendues. Dans notre cas, la pente de la droite permet de remonter à  $L$ , ce qui n'est pas vraiment intéressant, surtout que les valeurs d'inductances ne sont jamais connues très précisément, et varient en fonction de la fréquence.

Il faut bien distinguer dans les montages deux types d'expériences. Celles qui permettent de mesurer des quantités précises (mesure d'une longueur par diffraction par exemple) où l'on ne s'intéresse pas vraiment au processus physique, mais on l'utilise au mieux pour faire la mesure la plus précise possible ; Et celles qui servent à montrer des phénomènes physique, où l'on cherche la plupart du temps à valider une loi, et où retrouver des valeurs tabulé n'est que secondaire (comme ici).

### 3 Chaîne d'oscillateurs couplés par des ressorts

Comme dit précédemment, cette partie n'a été abordée que très rapidement par manque de temps. Le message clair à faire passer ici est que lorsque l'on couple  $N$  oscillateurs entre eux, on obtient  $N$  modes, et  $N$  pulsations associés. Le fait que toutes ces pulsations (pour 2,3,4 oscillateurs) se retrouvent sur la même courbe de dispersion est un bonus ! Il faut d'abord faire le lien avec le titre du montage avant de faire une ouverture sur les milieux continus.

Plusieurs autres points peuvent être discutés sur cette manip :

- Les modes qui s'amortissent le plus vite sont ceux qui sollicitent le plus de ressorts. C'est pourquoi si l'on veut bien voir les 4 modes, il faut donner une condition initiale donnant beaucoup d'énergie dans les modes élevés et il faut faire la transformée de Fourier sur un temps court, au début du signal.
- Les non linéarités permettent un transfert d'énergie entre les modes. Ainsi si l'on met une condition

initiale importante et proche du mode 4 et en prenant la FFT à différents instants sur des petites fenêtres temporelles, on peut voir que le mode 1 gagne de l'énergie, signe d'un transfert d'énergie entre les modes.

- On ne conserve pas toujours la pulsation  $\omega_0$  de l'oscillateur seul. C'est le cas pour  $N=3$  où l'on a plus de mode symétrique.

## Suggestions, conseils, compléments

Les expériences choisies permettent de bien illustrer le montage. On peut prendre le parti de montrer les divers types de couplages : Inductifs, résistifs et capacitifs. Dans le cas du couplage inductif de deux oscillateurs, les deux pulsations varient et la pulsation du mode symétrique est effectivement plus faible que la pulsation  $\omega_0$  de l'oscillateur seul.

Une autre chose intéressante à montrer ce qu'il se passe lorsque les oscillateurs sont désaccordés. Cela est facile à illustrer avec le couplages de circuits RLC. On voit que lorsque les deux oscillateurs ont des pulsations propres qui diffèrent, on perd rapidement l'effet du couplage et seul l'oscillation à  $\omega_0$  perdure.

Concernant les recommandations du Jury de présenter des couplages non linéaire, on peut présenter une expérience qualitative de couplage de métronomes. On place deux métronomes réglés à la même fréquence côte à côte sur une planche placée sur deux canettes couchées. Le couplage par la planche permet aux deux métronomes de se synchroniser (en phase ou en opposition de phase). Une expérience un peu plus quantitative consiste à coupler deux multivibrateurs astable entre eux à l'aide de résistances. Le protocole expérimental est donnée dans le **BUP n°815(2)**. On voit alors que les deux oscillateurs qui ont des fréquences d'oscillations très proches se synchronisent. Ce mécanisme de synchronisation est à l'œuvre par exemple dans les tuyaux d'orgues qui n'ont pas exactement la même fréquence de résonance du fait des défauts de fabrication.

Pour finir, n'oubliez pas que ces commentaires ne font que refléter l'avis des correcteurs, qui peuvent se tromper. Vous avez tout à fait le droit de ne pas les suivre (et vous avez même le devoir de ne pas les suivre aveuglément). En fin de compte c'est vous qui devez décider ce que vous faites de vos leçons.

Nous restons à votre disposition, par mail, en TP, ou lors de futures corrections, pour toute question, suggestion ou remarque.