

# CORRECTION DE LA LP22 : RÉTROACTION ET OSCILLATIONS

Jeudi 29 mars 2018

Présenté par Jonathan LALIEU – Appréciation : C  
Samuel Boury<sup>1</sup>, Alain Villaume<sup>2</sup>

*Préparation à l'Agrégation de Physique option Physique 2017-2018, Ecole Normale Supérieure de Lyon*

**Remarque préliminaire :** Les éléments de correction qui sont donnés à l'oral et dans cette fiche correctrice portent sur la leçon qui a été présentée, et uniquement sur celle-ci. Le choix du contenu de la leçon et la façon dont elle a été présentée sont deux choses différentes. Par ailleurs, il n'y a pas de plan parfait pré-établi ; nous vous donnons uniquement des références et des pistes de réflexion pour qu'ensuite vous fassiez vos propres choix.

## Rapports du jury

**2015** Dans le cas des oscillateurs auto-entretenus, les conditions d'apparition des oscillations et la limitation de leur amplitude doivent être discutées.

**2014** Le jury souhaiterait que le terme de résonance soit dûment justifié sans oublier une discussion du facteur de qualité. Il n'est pas indispensable de se restreindre à l'électronique.

## Quelques commentaires généraux

La leçon est proche du montage 27 (systèmes bouclés) mais demande une approche plus théorique.

Le titre de la leçon appelle naturellement un plan en deux parties (rétroaction, oscillations) mais essayez de trouver des noms un peu plus recherchés pour montrer que vous avez réfléchi sur le sens de ces deux termes.

Les systèmes avec une rétroaction ou oscillants sont avant tout des systèmes bouclés pouvant être stables (rétroactions) ou instables (oscillateurs). Discuter de la stabilité de ces systèmes est donc un élément clé de la leçon et peut se faire de plusieurs façons : critère de Barkhausen, diagrammes de Bode, diagrammes de Nyquist. Pour illustrer la différence entre un système stable et instable vous pouvez réaliser un montage simple de pont de Wien dans lequel vous faites varier la valeur d'une résistance (changeant alors le régime de fonctionnement) et tracer les diagrammes de Nyquist associés : on peut voir à l'oscilloscope les deux régimes, et le point  $(-1, 0)$  entouré ou non dans le diagramme de Nyquist. L'analyseur de spectre peut tracer ces diagrammes mais si vous n'êtes pas à l'aise avec vous pouvez au moins tracer les diagrammes théoriques en préparation (ou faites un code Python dans lequel un paramètre peut être changé).

Vous pouvez utiliser le formalisme des schémas blocs pour traiter les différents montages, en identifiant chaque bloc clairement sur les schémas des expériences (électroniques ou autre) et en les nommant précisément (précisez les éléments qui constituent la chaîne directe et la chaîne de retour, s'agit-il de blocs amplificateurs, de filtres, etc).

---

1. [samuel.boury@ens-lyon.fr](mailto:samuel.boury@ens-lyon.fr)

2. [alain\\_villaume@yahoo.fr](mailto:alain_villaume@yahoo.fr)

Du point de vue des notions à introduire, vous pouvez mettre la transformée de Laplace et de Fourier en prérequis : il y a suffisamment de choses à traiter dans la leçon et il est toujours risqué d'introduire soigneusement une notion mathématique en quelques minutes ... surtout que ces transformées sont aux programmes de SI (en première année de prépa) et de maths (deuxième année) !

Concernant les exemples pouvant servir de support à la leçon, le pendule pesant tel qu'il a été introduit ici ne nous semble pas pertinent. La rétroaction n'y est en effet pas contrôlée, le système bouclé difficile à définir, et traditionnellement on utilise plutôt cet exemple pour décrire des systèmes d'oscillations amorties en mécanique sous des hypothèses de linéarité pas toujours réalisées. Voici quelques pistes que vous pouvez explorer :

1. L'amplificateur non-inverseur (présenté ici). Pensez à bien le traiter, surtout s'il s'agit de votre premier exemple : nommez-le, établissez la fonction de transfert, montrez que le produit gain-bande passante est constant, etc.
2. Le moteur asservi en position (présenté ici). Vous pouvez consacrer un certain temps à cet exemple d'autant plus qu'il permet de motiver l'intérêt des systèmes asservis et de la rétroaction. Tracez rapidement quelques courbes avec des gains différents et montrez par exemple que le temps de montée, la réponse à 5%, le seuil de dépassement, varient. Vous pouvez alors discuter du compromis rapidité-stabilité du point de vue de la performance pour des applications industrielles.
3. L'oscillateur à pont de Wien (présenté ici). Cet exemple permet de bien illustrer le passage d'un système bouclé stable à un système bouclé instable. C'est presque un passage obligé de la leçon, mais il faut l'exploiter à fond ! Montrer le régime stable, instable, tracer les diagrammes associés, ...
4. Le LASER (présenté ici). Il est traité dans les nouveaux programmes de PC comme un système bouclé, vous pouvez donc lui consacrer une partie de votre leçon. Même si ce n'est pas le propos, vous devrez être au point sur le fonctionnement du laser (cavité et optique non-linéaire, niveaux de peuplement).
5. L'asservissement en vitesse (non présenté). Plus complexe à réaliser, et probablement plus adapté au montage, mais il permet d'illustrer d'autres applications des asservissements.
6. Boucle à verrouillage de phase (non présentée). Ce montage permet de proposer un système un peu plus complexe qui a de nombreuses applications en traitement du signal.
7. Oscillateur commandé en tension (non présenté). C'est un système bouclé instable à seuil, ce qui permet de montrer un fonctionnement différent et dont les applications se trouvent plutôt du côté des signaux numériques.
8. Oscillateur de Van der Pol (non présenté). C'est un oscillateur dont le principe repose sur l'existence d'une non-linéarité qui réinjecte de l'énergie dans le système.
9. Le vase de tantale (non présenté). C'est un oscillateur à relaxation qui peut vous permettre d'introduire la leçon ou de la conclure tout en montrant autre chose qu'un système électronique.
10. La réaction chimique oscillante de Belousov-Zhabotinsky, mais il faut réfléchir à la façon de l'intégrer à votre leçon.

Concernant la forme, plusieurs choses sont à améliorer. Pour gagner du temps et de la clarté, les schémas électriques peuvent être présentés sur des transparents et vous pouvez y identifier les différents étages de la chaîne directe et de la chaîne retour par des couleurs. **Si vous recopiez le schéma au tableau, vous ne pouvez pas le recopier depuis un livre** : au début de la leçon, si vous avez un livre ouvert, on vous demandera de le fermer (ou on le fera pour vous). Enfin, il ne faut pas écrire d'abréviations au tableau, il est plus que probable que le jury vous le reproche.

## Sur la leçon elle-même

### 1 Introduction (1 min)

C'est bien de partir sur des exemples de la vie quotidienne : montrez que la rétroaction est omniprésente, tant dans des systèmes biologiques qu'industriels.

### 2 Rétroaction (23 min)

Débuter la leçon par le pendule pesant n'est probablement pas le meilleur choix. Le traitement de l'amplificateur non inverseur est quant à lui pertinent mais il faut le faire soigneusement : précisez les différents éléments du montage, effectuez le calcul de la fonction de transfert, justifiez qualitativement le phénomène de rétroaction et son contrôle.

Le montage de l'asservissement en position d'un moteur illustre bien les applications de la rétroaction (on peut citer par exemple le segway qui comporte de nombreux asservissements en position). Sans y passer trop de temps, il faut exploiter ce système en profondeur et montrer que la rétroaction a des caractéristiques essentielles pour les applications commerciales et industrielles pour ce qui est de la performance et de la stabilité.

La discussion finale sur la stabilité est essentielle mais a été mal réalisée. Vous devez introduire une vraie condition de stabilité et non un critère qualitatif. De même, pour une leçon comme celle-ci, on ne peut pas se contenter d'admettre un critère de stabilité portant sur les pôles de la fonction de transfert. Quel qu'il soit, il faut au moins l'interpréter, au mieux le démontrer.

### 3 Oscillations (20 min)

Les oscillateurs qui nous intéressent sont effectivement des systèmes instables par leur rétroaction. Repartir sur le pendule pesant en ajoutant les frottements fluides ne permet pas de voir clairement le lien qui existe entre rétroaction et instabilité ... en voyant le pendule comme un système avec rétroaction, on peut en effet conclure qu'il revient à sa position d'équilibre lorsqu'il y a des frottements et qu'il oscille perpétuellement en l'absence de frottements mais il s'agit alors d'un cas limite et en pratique jamais observé ... prendre l'exemple d'un système comme le pont de Wien pour lequel on peut réellement visualiser les deux régimes est plus pertinent.

Le critère de Barkhausen est un élément important à souligner dans le cadre de cette leçon, d'autant que son interprétation est simple. Il faut ensuite montrer sur un exemple que ce critère est bien respecté en calculant explicitement la fonction de transfert.

L'oscillateur à pont de Wien arrive un peu tard dans la leçon et n'est traité que partiellement : quels sont les noms des différentes parties de l'oscillateur ? peut-on voir les différents régimes ? d'où vient l'énergie permettant les oscillations ? quelle est la fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée ? etc.

Enfin, l'exemple du LASER est un bon choix pour terminer la leçon. C'est un système concret qui est au programme des classes de PC et traité exactement comme un oscillateur.

## Quelques questions posées

### **Pourquoi utiliser la transformée de Laplace et pas la transformée de Fourier ?**

La transformée de Laplace permet de traiter les régimes transitoires alors que la transformée de Fourier ne peut être employée que pour les régimes permanents.

### **Quelles hypothèses sont nécessaires sur l'amplificateur opérationnel ?**

Bien préciser que l'on se place en régime linéaire ou en saturation, et que l'AO est supposé idéal.

**Comment se nomment les différents montages ?**

Précisez : amplificateur non-inverseur, filtre passe-bande, diviseur de tension, etc.

**Qu'est-ce que la bande passante d'un amplificateur non-inverseur ?**

Il s'agit d'un passe-bas, toutes les fréquences inférieures à la fréquence de coupure  $\omega_0$  passent. La bande passante est donc simplement  $\omega_0$ .

**Pourquoi y a-t-il un dépassement de consigne avec le moteur asservi en position ?**

Les systèmes asservis du premier ordre n'ont, en théorie, pas de dépassement de consigne, mais ce n'est pas le cas des systèmes du second ordre comme le moteur asservi. Pour avoir l'ordre du système, il faut regarder la chaîne directe dans son intégralité. En l'occurrence, il s'agit d'une succession de modules d'ordre 1, la chaîne globale est au moins d'ordre 2.

**Éléments de bibliographie**

1. BRENDERS. *Électronique PSI*. Bréal, 2005.
2. DUFFAIT. *Expériences d'électronique*. Bréal, 2000.
3. GRANJON. *Automatique*. Dunod, 2015.