



BLAISE PASCAL  
PT 2021-2022

Programme des colles semaine 6 : du 4 au 8 octobre

# ALI et oscillateurs

La colle commence par une question de cours extraite de la liste ci-dessous et se poursuit par un exercice.

Je rappelle que vous trouverez sur mon site la version complétée du poly de cours, ainsi que les corrigés des TD et des DM. N'hésitez surtout pas à me signaler s'il en manque !

## Au programme

### Chapitre 3 : Amplificateur linéaire intégré

Questions de cours et exercices.

### Chapitre 4 : Oscillateurs auto-entretenus

Questions de cours et exercices.

### Révisions R2 : Thermodynamique de PTSI

Questions de cours uniquement, **aucun exercice cette semaine.**

De nombreux rappels et exemples de bilans d'enthalpie seront traités lundi en cours et TD : les questions de thermodynamique ne seront donc posées **qu'à partir de mardi.**

## Questions et applications de cours

Seuls les étudiants du groupe PT\* (trinômes 1 à 8) seront interrogés sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

(★) **3.1** - Rappeler les hypothèses du modèle d'ALI idéal de gain infini. Représenter sa caractéristique statique. Rappeler les ordres de grandeur de  $V_{\text{sat}}$  (tension de saturation) et  $I_{\text{sat}}$  (courant de saturation). Expérimentalement, comment distinguer une saturation en tension d'une saturation en courant ? Dans le cas d'un montage suiveur débitant dans une résistance  $R_0$ , comment procéder expérimentalement pour observer une saturation en tension ? une saturation en courant ?

Une partie de cette question se rapporte au TP « Premiers montages à ALI ».

**3.2** - Établir la relation entrée-sortie du montage amplificateur non-inverseur OU amplificateur inverseur OU intégrateur idéal (c'est-à-dire sans résistance en parallèle du condensateur).

La connaissance des montages n'est pas exigible : même s'il serait préférable que les étudiants les (re)connaissent, ils pourront être rappelés par l'interrogateur si besoin.

**3.3** - Établir et représenter le cycle du comparateur à hystérésis.

Idem sur la connaissance du montage. J'ai traité en cours le cas du non-inverseur (entrée du montage sur la résistance, entrée  $\ominus$  de l'ALI à la masse).

**4.1** - Rappeler la nature des deux blocs constitutifs d'un oscillateur quasi-sinusoidal. Retrouver **qualitativement** le critère de Barkhausen et rappeler sa signification.

L'exemple du cours est l'oscillateur de Wien, mais il n'a pas à être connu « par cœur ». Les étudiants doivent savoir qu'un oscillateur quasi-sinusoidal contient un filtre passe-bande et un amplificateur, et peuvent le présenter sous forme d'un schéma bloc. J'énonce le critère de Barkhausen sous la forme « si les oscillations sont parfaitement sinusoïdales, alors la pulsation et les composants doivent être tels que  $H_{\text{filtre}} \times H_{\text{ampli}} = 1$  ».

**4.2** - Rappeler la nature des deux blocs constitutifs d'un oscillateur à relaxation (multivibrateur astable). Expliquer qualitativement (= sans calcul) en s'appuyant sur un chronogramme les deux phases de fonctionnement.

Là encore, les exemples de cours n'ont pas à être connus « par cœur », mais les étudiants doivent savoir qu'un multivibrateur astable comporte un comparateur à hystérésis et un intégrateur, l'un des deux étant inverseur et l'autre non-inverseur, ce qui peut être présenté sous forme d'un schéma bloc. Le chronogramme doit être reconstruit à partir de considérations qualitatives : lorsque l'ALI est en saturation haute, la tension de sortie de l'intégrateur est décroissante jusqu'à atteindre la tension de basculement, et inversement lorsque l'ALI est en saturation basse.

**R2.1** - Rappeler les lois de Laplace et leurs hypothèses d'application. En déduire le travail  $W$  reçu au cours d'une compression d'un volume  $V_I$  à un volume  $V_F$  au cours de laquelle les lois de Laplace s'appliquent. On introduira pour le calcul une constante  $K$  caractéristique de l'expression de Laplace.

Il est attendu que l'étudiant connaisse au strict minimum l'expression en  $PV^\gamma$  et sache retrouver très, très vite les deux autres ... mais c'est encore mieux si les trois sont connues par cœur !

Au cours de la compression on a  $PV^\gamma = K = \text{cte}$ , d'où

$$W = - \int_{V_I}^{V_F} P dV = -K \int_{V_I}^{V_F} \frac{dV}{V^\gamma} = -K \int_{V_I}^{V_F} V^{-\gamma} dV = -K \left[ \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \right]_{V_I}^{V_F} = \frac{K}{\gamma-1} \left( V_F^{1-\gamma} - V_I^{1-\gamma} \right).$$

La dernière étape du calcul utilise la primitive d'une fonction de type  $x \mapsto x^n$  qui, en cas de trou de mémoire, se retrouve immédiatement sur l'exemple de  $x \mapsto x^2$  qui s'intègre en  $x^3/3$ .

**R2.2** - Un glaçon, de masse  $m_1$  et température  $T_1$ , est sorti du congélateur pour être mis dans un verre contenant une boisson au choix de l'étudiant, de masse  $m_2$  et température  $T_2$  (la boisson, pas l'étudiant). On suppose que le glaçon fond totalement et rapidement, ce qui permet de négliger les transferts thermiques avec l'air. Déterminer la température finale  $T_F$  du breuvage. Comment déterminer la masse minimale du glaçon pour qu'il ne fonde pas totalement ? Le résultat sera donné en fonction de l'enthalpie de fusion  $\Delta_{\text{fus}}h$  de l'eau et des capacités thermiques massiques  $c_{\text{sol}}$  et  $c_{\text{liq}}$ , supposées égales pour le glaçon et la boisson.

On utilise l'additivité de l'enthalpie pour sommer les contributions du glaçon et de la boisson.

- ▷ la boisson est liquide et sa température passe de  $T_2$  à  $T_F$  ;
- ▷ le glaçon se réchauffe et fond, ce que l'on décompose comme la succession de trois transformations élémentaires :
  - d'abord, le glaçon est solide et sa température passe de  $T_1$  à  $T_{\text{fus}}$  ;
  - ensuite, le glaçon fond totalement de manière isobare isotherme ;
  - enfin, le glaçon est liquide et sa température passe de  $T_{\text{fus}}$  à  $T_F$ .

Le bilan d'enthalpie s'écrit donc :

$$\Delta H \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er } P}}{=} 0 + 0 \underset{\substack{\uparrow \\ \text{transf}}}{=} \underbrace{m_2 c_{\text{liq}} (T_F - T_2)}_{\text{boisson}} + \underbrace{m_1 c_{\text{sol}} (T_{\text{fus}} - T_1) + m_1 \Delta_{\text{fus}}h + m_1 c_{\text{liq}} (T_F - T_{\text{fus}})}_{\text{glaçon}}$$

Il reste alors à isoler  $T_F$  dans cette équation.

Pour déterminer la masse minimale à partir de laquelle le glaçon ne fond pas complètement, il faut être conscient que le calcul ci-dessus repose sur l'hypothèse que l'état final est complètement liquide, ce qui impose au final d'avoir  $T_F > T_{\text{fus}}$ . Si jamais le calcul numérique donne  $T_F < T_{\text{fus}}$ , alors il y a contradiction entre l'hypothèse initiale et le résultat final. Cela signifie que l'hypothèse initiale est fautive et que le résultat final n'a pas de sens. La masse limite est donc celle qui donne  $T_F = T_{\text{fus}}$ . Attention, la vraie température finale ne sera pas le  $T_F$  calculé de cette façon.

**R2.3** - Le même étudiant qu'à la question précédente souhaite toujours refroidir la même boisson de masse  $m_2$  et température  $T_2$  en y ajoutant des glaçons de masse  $m_1$  et température  $T_1$ . Sauf que cette fois ... il en met trop, si bien qu'à l'état final il reste de la glace dans sa boisson. Déterminer la masse  $m_f$  de glace qui a fondu en fonction des mêmes paramètres qu'à la question précédente. On négligera toujours les transferts thermiques avec l'air. Comment déterminer la masse minimale du glaçon pour qu'il ne fonde pas totalement ?

Cette fois, on sait que le mélange est diphasé à l'état final, ce qui nous donne sa température : la coexistence n'est possible que si  $T_F = T_{\text{fus}}$ . Le bilan d'enthalpie s'écrit comme à la question précédente, sauf que :

- ▷ seule la masse  $m_f$  fond ;
- ▷ comme  $T_F = T_{\text{fus}}$ , la glace fondue ne change pas de température.

Le bilan d'enthalpie s'écrit donc :

$$\Delta H = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P}}}{0} + \underset{\substack{\uparrow \\ \text{transf}}}{0} = \underbrace{m_2 c_{\text{liq}} (T_{\text{fus}} - T_2)}_{\text{boisson}} + \underbrace{m_1 c_{\text{sol}} (T_{\text{fus}} - T_1) + m_f \Delta_{\text{fus}} h}_{\text{glaçon}}$$

Il reste alors à isoler  $m_f$  dans cette équation.

Cette fois, l'hypothèse est que l'état final est une coexistence solide-liquide, qui permet de calculer la masse de glace fondue. Or la masse de glace fondue ne peut évidemment pas être supérieure à la masse initiale du glaçon : si jamais le calcul numérique donne  $m_f > m_1$ , alors le résultat final n'a pas de sens, ce qui indique que l'hypothèse initiale est fautive. La masse limite est donc celle qui donne  $m_f = m_1$ . On retrouve la même masse limite qu'à la question précédente, ce qui est logique.

(★) **R2.4** - Considérons un gâteau au chocolat de masse  $m$ , sorti d'un four à la température  $T_{\text{four}}$  et laissé à refroidir dans la cuisine de température  $T_0$ . Procéder au bilan entropique de la transformation. Commenter le signe de l'entropie créée.

*Donnée* : inégalité de convexité du logarithme,  $\forall x > 0, \ln x \leq x - 1$  ; l'expression de l'entropie d'une phase condensée est à connaître par l'étudiant.

▷ Variation d'entropie : comme le gâteau est un solide (s'il a suffisamment cuit !)

$$\Delta S = C \ln \frac{T_F}{T_I} = C \ln \frac{T_0}{T_{\text{four}}} < 0$$

(ce qui est logique car  $S$  est une fonction croissante de la température, qui ici diminue)

▷ Entropie échangée : il faut connaître  $Q$ , et pour cela appliquer le premier principe au gâteau (en enthalpie car monobare), qui donne

$$\Delta H = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1er P}}}{Q} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Joule}}}{C} (T_0 - T_{\text{four}}) \quad \text{d'où} \quad S_{\text{éch}} = \frac{Q}{T_0} = \frac{C (T_0 - T_{\text{four}})}{T_0}$$

C'est  $T_0$  qui intervient car c'est la température du thermostat.

▷ La transformation est évidemment irréversible (qui a déjà vu un gâteau réchauffer tout seul ?), donc l'entropie créée est inconnue dont on sait seulement qu'elle est positive.

▷ Bilan d'entropie :

$$\Delta S = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{2nd P}}}{\frac{C (T_0 - T_{\text{four}})}{T_0}} + S_{\text{créée}} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{solide}}}{C} \ln \frac{T_0}{T_{\text{four}}}$$

d'où on déduit

$$S_{\text{créée}} = C \left[ \frac{T_{\text{four}}}{T_0} - 1 - \ln \frac{T_{\text{four}}}{T_0} \right].$$

D'après l'inégalité donnée, le terme entre crochets est positif. On peut bien sûr conclure «  $S_{\text{créée}} > 0$  donc c'est bon » ... mais on peut en dire plus : comme on sait que  $S_{\text{créée}} \geq 0$ , alors on en déduit  $C \geq 0$ . On montre ainsi que la capacité thermique d'un solide est forcément positive.

## Et après ?

- ▷ Chapitre 5 : Transformations infinitésimales en thermodynamique ;
- ▷ Chapitre 6 : Enthalpie de réaction chimique ;
- ▷ Révisions R3 : Équilibres chimique et cinétique.