



BLAISE PASCAL  
PT 2023-2024

Programme des colles semaine 6 : du 9 au 13 octobre

# Thermochimie et ALI

*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 4 : Enthalpie de réaction

Questions de cours et exercices.

### Chapitre 5 : Amplificateur linéaire intégré

Questions de cours et exercices.

### Chapitre 6 : Oscillateurs auto-entretenus

Questions de cours et exercices.

## Questions et applications de cours

*Seuls les étudiants du groupe PT\* (trinômes 7 à 12) 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 !*

**4.1** - Établir le lien entre le transfert thermique libéré par une transformation chimique et son enthalpie de réaction. Définir les termes endo- et exothermique et donner le lien avec le signe de  $\Delta_r H^\circ$ .

**4.2** - On réalise la combustion isobare de  $n_0$  mol de monoxyde de carbone CO par  $2n_0$  mol de dioxygène O<sub>2</sub>, introduit par apport d'air dans le réacteur. Écrire l'équation de réaction et construire le tableau d'avancement. Déterminer la température de flamme  $T_F$  en fonction de l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ$  et des capacités thermiques isobares molaires  $C_{P,m}^\circ$  des différents constituants. Quelle est la signification physique de  $T_F$  ?

(★) **5.1** - 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 ».

**5.2** - Établir la relation entrée-sortie du montage amplificateur non-inverseur OU amplificateur inverseur OU intégrateur pur (c'est-à-dire sans résistance en parallèle du condensateur), au choix de l'interrogateur.

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.

**5.3** - 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).

(★) **5.4** - Procéder à l'étude de stabilité linéaire du montage amplificateur non inverseur OU du comparateur à hystérésis inverseur, au choix de l'interrogateur. En déduire le régime de fonctionnement de l'ALI de ces montages.

6.1 - Considérons le multivibrateur astable de la figure 1. Le cycle d'hystérésis du bloc ① est représenté figure 1, et on donne la relation entrée-sortie du bloc ②,

$$\frac{du_3}{dt} = -\frac{1}{\tau}u_2.$$

Déterminer la période des oscillations.

*On travaillera uniquement avec les formes canoniques données sans chercher à exprimer les fonctions de transfert des blocs.*

*J'ai largement détaillé le calcul de  $u_1(t)$  avant de déterminer l'instant de basculement dans le cours, mais les étudiants sont encouragés à aller plus vite dans la démonstration. Supposons qu'à l'instant  $t = 0$  l'ALI ait basculé en saturation haute, il y reste jusqu'à l'instant  $t_1$  tel que  $u(t_1) = -\beta V_{\text{sat}}$ . Ainsi,*

$$\int_{u_3(0)=\beta V_{\text{sat}}}^{u_3(t_1)=-\beta V_{\text{sat}}} du_3 = -\frac{V_{\text{sat}}}{\tau} \int_0^{t_1} dt \quad \text{soit} \quad -2\beta V_{\text{sat}} = -\frac{V_{\text{sat}}}{\tau} t_1 \quad \text{et} \quad t_1 = 2\beta\tau.$$

*On détermine de même la durée  $t_2$  pendant laquelle l'ALI reste en saturation basse, puis la période  $T = t_1 + t_2 = 4\beta\tau$ .*

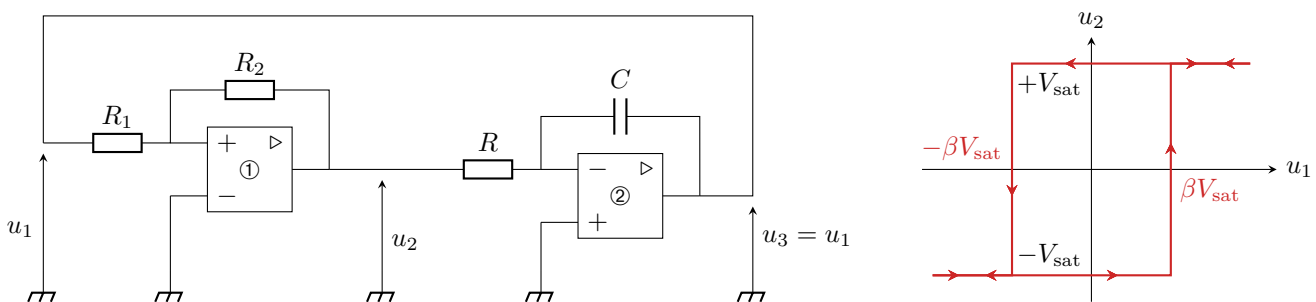


Figure 1 – Multivibrateur astable.

6.2 - Considérons l'oscillateur de Wien de la figure 2, constitué d'un bloc amplificateur à ALI de gain  $A$  et d'un filtre passe-bande de fonction de transfert

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}.$$

En déduire l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_1$ , puis la condition sur  $H_0$  et  $A$  pour que des oscillations spontanées puissent apparaître. À quelle condition sur  $H_0$  et  $A$  ces oscillations sont-elles purement sinusoïdales? Quelle est leur pulsation? Commenter.

*On travaillera uniquement avec les formes canoniques données sans chercher à exprimer les fonctions de transfert des blocs. Le commentaire attendu consiste à remarquer que le critère de démarrage ( $H_0 A > 1$ ) et le critère d'oscillations sinusoïdales pures ( $H_0 A = 1$ ) sont incompatibles, si bien que les oscillations ne peuvent qu'être quasi-sinusoïdales.*

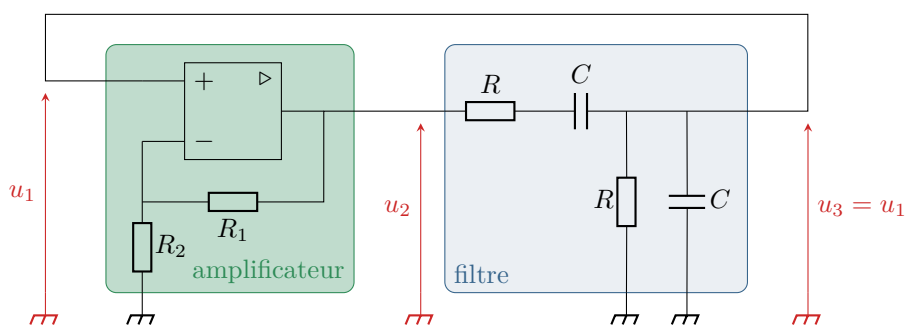


Figure 2 – Oscillateur de Wien.

6.3 - Considérons l'oscillateur de Wien de la figure 2, constitué d'un bloc amplificateur à ALI de gain  $A$  et d'un filtre passe-bande de fonction de transfert

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}.$$

Retrouver le critère de Barkhausen. En déduire la condition sur  $H_0$  et  $A$  pour que des oscillations purement sinusoïdales puissent exister, et la pulsation de ces oscillations.

*On travaillera uniquement avec les formes canoniques données sans chercher à exprimer les fonctions de transfert des blocs.*

(★) 6.4 - Considérons l'équation différentielle du second ordre ( $a, b$  deux constantes connues)

$$\frac{d^2u}{dt^2} + a\frac{du}{dt} + bu = 0.$$

Compléter le code ci-dessous permettant de la résoudre numériquement pour  $u(0) = 5 \text{ V}$  et  $du/dt(0) = 0 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$ . Les relations de récurrence utiles doivent être démontrées avant toute écriture de code Python.

```

1  ### Définitions des constantes :
2  a = .1
3  b = 2 # exemples arbitraires !

5  ### Paramètres de la simulation :
6  dt = 1e-3 # pas de temps
7  N = 10000 # nbre de pas de temps

```

**Éléments de réponse :** On introduit la dérivée première  $v = du/dt$ , que l'on traite « fictivement » comme une deuxième fonction inconnue, ce qui permet de se ramener à un système différentiel de deux équations du premier ordre

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = v \\ \frac{dv}{dt} + av + bu = 0. \end{cases}$$

Appliquer le schéma d'Euler explicite à ces deux équations différentielles mène aux relations de récurrence. Après calculs (à détailler pendant la colle!),

$$\begin{cases} u_{n+1} = u_n + \Delta t v_n \\ v_{n+1} = (1 - a \Delta t)v_n - b \Delta t u_n \end{cases}$$

Pour le code Python en lui-même, il est nécessaire d'initialiser toutes les listes utiles avant d'écrire la moindre boucle. Un code qui marche est le suivant ... mais il en existe d'autres!

```

1  ### Initialisation des listes :
2  t = [n*dt for n in range(N)]
3  u = [None for n in range(N)] # None = "rien du tout"
4  v = [None for n in range(N)]

6  ### Conditions initiales :
7  u[0] = 5 # en volts
8  v[0] = 0 # en V.s-1

10 ### Récurrence :
11 for n in range(N-1):
12     u[n+1] = u[n] + dt * v[n]
13     v[n+1] = (1 - a*dt) * v[n] - b * dt * u[n]

```

## Et après ?

- ▷ Chapitre 7 : Enthalpie libre ; identités thermodynamiques ;
- ▷ Chapitre 8 : Équilibres chimiques.