# AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL IDÉAL ; RÉGIME LINÉAIRE - corrigé des exercices

## A. EXERCICES DE BASE

### I. Capacité réglable

1.a. • Le courant dans les entrées de l'A.O. étant nul, c'est le courant $i = \frac{dq}{dt}$ qui charge la capacité $C_0$ .

1.b. • La différence des potentiels des deux entrées étant nulle, on obtient $v_{s1} = v_e$ .
• Le premier A.O. sert à imposer la tension $v_e$ à la seconde partie du montage, mais sans modifier le courant qui charge $C_0$ .

2.a. • La différence des potentiels des deux entrées étant nulle, on obtient $v_E = 0$ .

2.b. • D'après la loi d'Ohm : $i_1 = \frac{v_e}{R_1}$ .

3.a. • D'après la loi d'Ohm : $v_{s2} = -R_2\, i_1 = -\frac{R_2}{R_1}\, v_e$ .

3.b. • D'après les propriétés du condensateur : $q = C_0\,.(v_e - v_{s2}) = C_0\, \frac{R_1+R_2}{R_1}\, v_e$ .

3.c. • Puisque la charge $q$ est effectivement celle qui est accumulée par le courant circulant de $A$ vers $B$, le fait que la tension $u_{AB} = v_e$ aux bornes de l'ensemble soit proportionnelle à $q = C\, v_e$ signifie que le montage se comporte comme un condensateur de capacité $C = C_0\, \frac{R_1+R_2}{R_1}$ .

### II. Filtre actif “passe-bande”

1.a. • Compte tenu de $\underline{v}_{e-} = \underline{v}_{e+} = 0$ , la loi de Millman permet d'écrire : $\underline{v}_A = \frac{\mathrm{j}C\omega\, \underline{v}_e + \frac{\underline{v}_s}{R}}{2\mathrm{j}C\omega + \frac{2}{R}}$ .

1.b. • La loi de Millman permet d'écrire : $\underline{v}_{e-}\,.\left(\frac{1}{R} + \mathrm{j}C_0\omega\right) = \frac{\underline{v}_A}{R} + \mathrm{j}C_0\omega\, \underline{v}_s = 0$ .
• En substituant, on en déduit : $\underline{v}_s = -\,\underline{v}_e\, \frac{1}{\frac{2C_0}{C} + \mathrm{j}\,.\left(2RC_0\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$ .

2.a. • Le maximum correspond à l'annulation de la partie imaginaire du dénominateur : $2RC_0\omega_0 = \frac{1}{RC\omega_0}$ .
• On en déduit : $\omega_0 = \frac{1}{R\,\sqrt{2CC_0}}$ .

2.b. • Le gain maximum est ainsi : $H_0 = H(\omega_0) = \frac{C}{2\,C_0}$ .

3.a. • Les limites $\omega_1$ et $\omega_2$ sont telles que : $\left(\frac{2\,C_0}{C}\right)^2 = \left(2RC_0\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)^2$.
• Pour la limite inférieure : $\frac{2\,C_0}{C} = -2RC_0\omega_1 + \frac{1}{RC\omega_1}$ ; ainsi : $\omega_1 = \frac{\sqrt{C_0.(2C+C_0)}}{RCC_0} - \frac{1}{2RC}$ .
• Pour la limite supérieure : $\frac{2\,C_0}{C} = 2RC_0\omega_2 - \frac{1}{RC\omega_2}$ ; ainsi : $\omega_2 = \frac{\sqrt{C_0.(2C+C_0)}}{RCC_0} + \frac{1}{2RC}$ .
• La largeur de bande passante est donc : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{1}{RC}$ .

3.b. • La largeur relative de bande passante est : $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \sqrt{\frac{2\,C_0}{C}}$ .

## B. EXERCICE D'APPROFONDISSEMENT

### III. Redresseur “idéal”

1.a. • Tant que l'A.O. fonctionne en régime linéaire $v_+ = v_-$ et $u_s = u_e$ .

1.b. • Le courant dans la résistance est $i_D = \frac{u_s}{R} = \frac{u_e}{R}$ .

1.c. • Puisque $i_D = I_0 \,.\, (\mathrm{e}^{\lambda\, u_D} - 1)$ , on en déduit inversement : $u_D = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{u_e}{R\, I_0}\right)$ .

1.d. • Le potentiel de sortie de l'A.O. est $v_s = u_e + u_D = u_e + \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{u_e}{R\, I_0}\right)$ .

2.a. • En notant $\pm A$ la tension d'alimentation de l'A.O., la saturation correspond à $v_s \approx A$ (on suppose $A = 15\ \mathrm{V}$).
• La résolution numérique de l'équation précédente donne la saturation pour $u_e = 14{,}4\ \mathrm{V}$ .
◊ remarque : sachant que $\frac{1}{\lambda} = 0{,}05\ \mathrm{V}$ et $R\, I_0 = 0{,}5\ \mathrm{mV}$ , le terme logarithmique de l'expression précédente ne peut pas dépasser l'ordre de grandeur de $1\ \mathrm{V}$ même si $u_e$ est proche de $A$ .

2.b. • La saturation correspond ici à $v_s \approx -A$ .
• Il est clair dans ce cas que le terme prépondérant est le logarithme, qui tend vers $-\infty$ dès que $u_e$ tend vers $-R\, I_0$ ; la saturation correspond donc à $u_e \approx -R\, I_0 = -0{,}5\ \mathrm{mV} \approx 0$ .

3.a. • La diode étant dans le sens “non passant”, elle est traversée par un courant très faible $\approx -I_0$ .

3.b. • La tension aux bornes de la résistance est $u_s \approx -R\, I_0 \approx 0$ .
• Le montage est “redresseur” car la sortie suit $u_e$ pour les valeurs positives, mais reste à zéro quand $u_e < 0$ .

3.c. • La tension aux bornes de la diode reste $u_D = v_s - u_s \approx R\, I_0 - A \approx -A$ quelle que soit la valeur de $u_e$ en deçà de la limite de saturation négative.

3.d. • Dans ces conditions $\varepsilon = v_+ - v_- = u_e - u_s \approx u_e + R\, I_0 \approx u_e$ .

3.e. • D'un certain point de vue, il semble qu'on puisse dire que la saturation est sans effet puisque, lorsque la diode est polarisée en inverse le courant $i_D$ reste de l'ordre de $I_0$ et $u_s \approx 0$ .
• Toutefois, s'il n'y avait pas saturation, l'A.O. essayerait d'imposer à la diode une tension infinie pour forcer un courant plus grand et $u_s = u_e$ ; ceci ne pouvant conduire qu'à détruire la diode (entre autres), c'est tout de même d'une certaine façon parce qu'il y a saturation que ce montage fonctionne.