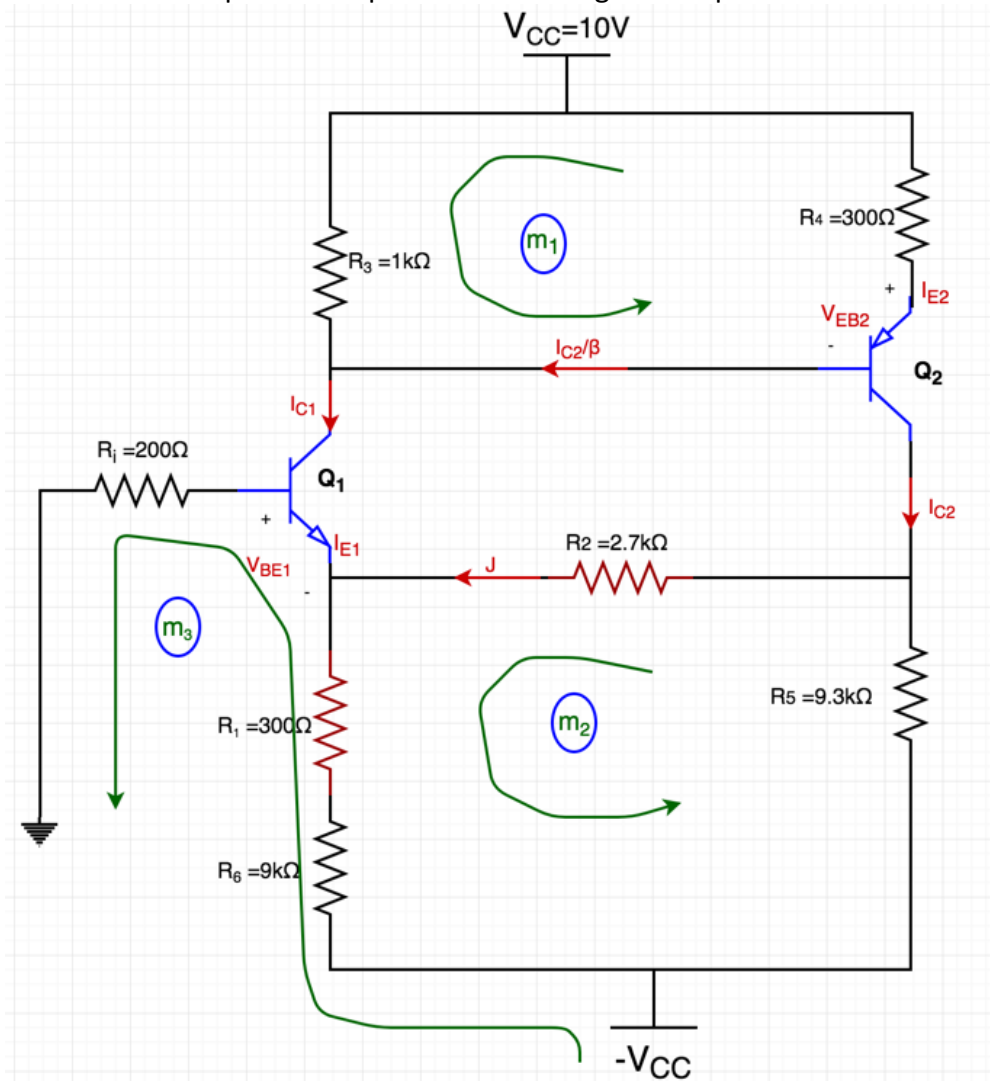


1- Exercice 1 :

Le schéma en statique de l'amplificateur de la fig.1 est représenté ci-dessous



En appliquant la loi des mailles, on obtient ($I_E \approx I_C$ car $\beta \gg 1$) :

Maille **m1** :

$$R_3 \left(I_{C1} - \frac{I_{C2}}{\beta_0} \right) - V_{EB2} - R_4 I_{C2} = 0$$

Maille **m2** :

$$(R_1 + R_6)(I_{C1} + J) - R_5(I_{C2} - J) + R_2 J = 0$$

Maille **m3** :

$$-V_{CC} + (R_1 + R_6)(I_{C1} + J) + V_{BE1} + \frac{R_i}{\beta_0} I_{C1} = 0$$

A partir de l'équation de la maille m2, on peut écrire :

$$J = \frac{R_5}{R} I_{C2} - \frac{R_1 + R_6}{R} I_{C1}$$

où $R = R_1 + R_2 + R_5 + R_6 = 21.3k\Omega$.

En reportant l'expression de J dans l'équation de la maille m3, on obtient le système :

$$\begin{cases} \left(\frac{(R_1 + R_6)^2}{R} - \frac{R_i}{\beta_0} - (R_1 + R_6) \right) I_{C1} - \frac{(R_1 + R_6)R_5}{R} I_{C2} = V_{BE1} - V_{CC} \\ R_3 I_{C1} - \left(R_4 + \frac{R_3}{\beta_0} \right) I_{C2} = V_{EB2} \end{cases}$$

A.N. :

$$\begin{cases} -5.24144 I_{C1} - 4.06 I_{C2} = -9.3 \\ I_{C1} - 0.31 I_{C2} = -9.3 \end{cases}$$

où I_{C1} et I_{C2} sont en mA .

La solution du système en I_{C1}, I_{C2} donne :

$$I_{C1} \approx I_{C2} \cong 1mA$$

2- Paramètres des transistors en régime variable :

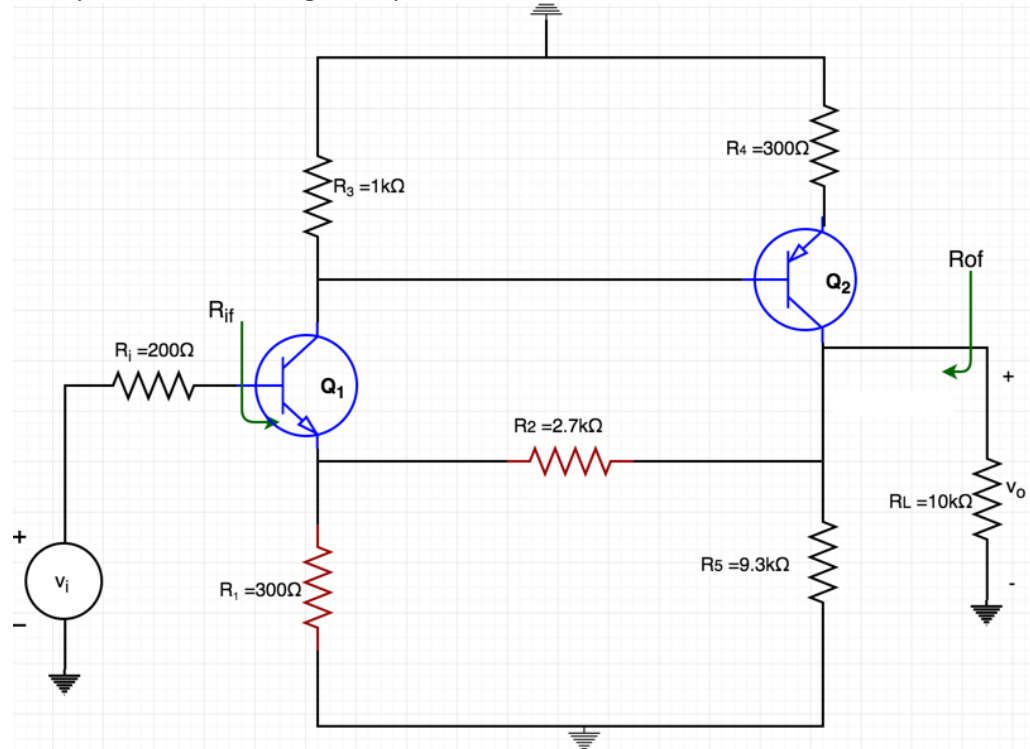
- Transistor Q1

$$\begin{aligned} r_{\pi 1} &= \frac{\beta V_T}{I_{C1}} = 100 \frac{25}{1} = 2.5k\Omega \\ \beta &= 100 \\ r_{o1} &= \infty = \frac{V_{A1}}{I_{C1}} \end{aligned}$$

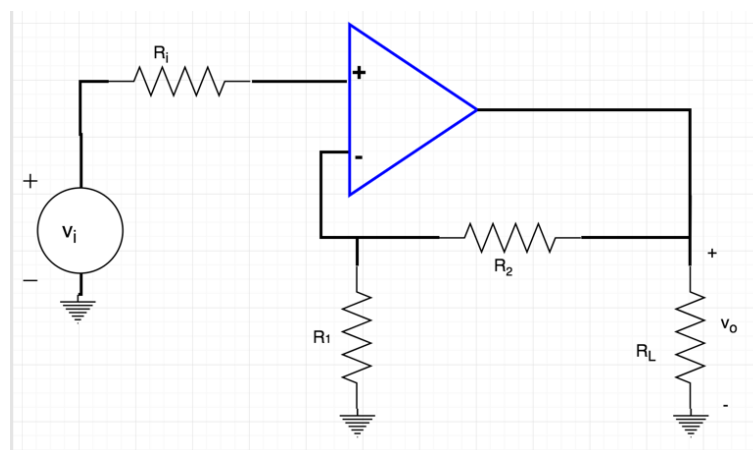
- Transistor Q2

$$\begin{aligned} r_{\pi 2} &= \frac{\beta V_T}{I_{C2}} = 100 \frac{25}{1} = 2.5k\Omega \\ \beta &= 100 \\ r_{o2} &= \infty = \frac{V_{A2}}{I_{C2}} \end{aligned}$$

3- L'amplificateur de la figure 1 peut être mis sous la forme suivante :

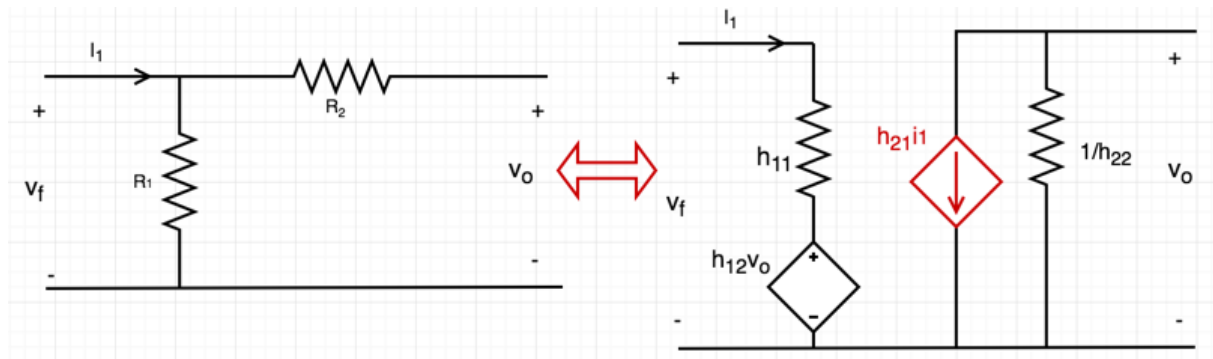


Q1 et Q2 dans le schéma ci-dessus représentent les schémas petits signaux des transistors de la figure 1. On peut réarranger le schéma en dynamique de l'amplificateur de sorte à faire apparaître la chaîne de retour comme illustrée à la figure ci-dessous :



La topologie de la contre-réaction est série-shunt. Il s'agit donc d'un prélèvement de tension et réinjection de tension.

La chaîne de retour est constituée du quadripôle suivant :



Les paramètres hybrides du quadripôle de la chaîne de retour sont définis par :

$$\begin{aligned}
 h_{11} &= \left. \frac{v_f}{i_1} \right|_{v_o=0} = R_1 || R_2 = 2.7 || 0.3 k\Omega = 0.27 k\Omega \\
 h_{12} &= \left. \frac{v_f}{v_o} \right|_{i_1=0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{0.3}{0.3 + 2.7} = \frac{0.3}{3} = 0.1 \\
 h_{22} &= \left. \frac{i_o}{v_o} \right|_{i_1=0} = \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2.7 + 0.3} mS \\
 h_{21} &= \left. \frac{i_o}{i_1} \right|_{v_o=0} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} = -0.1
 \end{aligned}$$

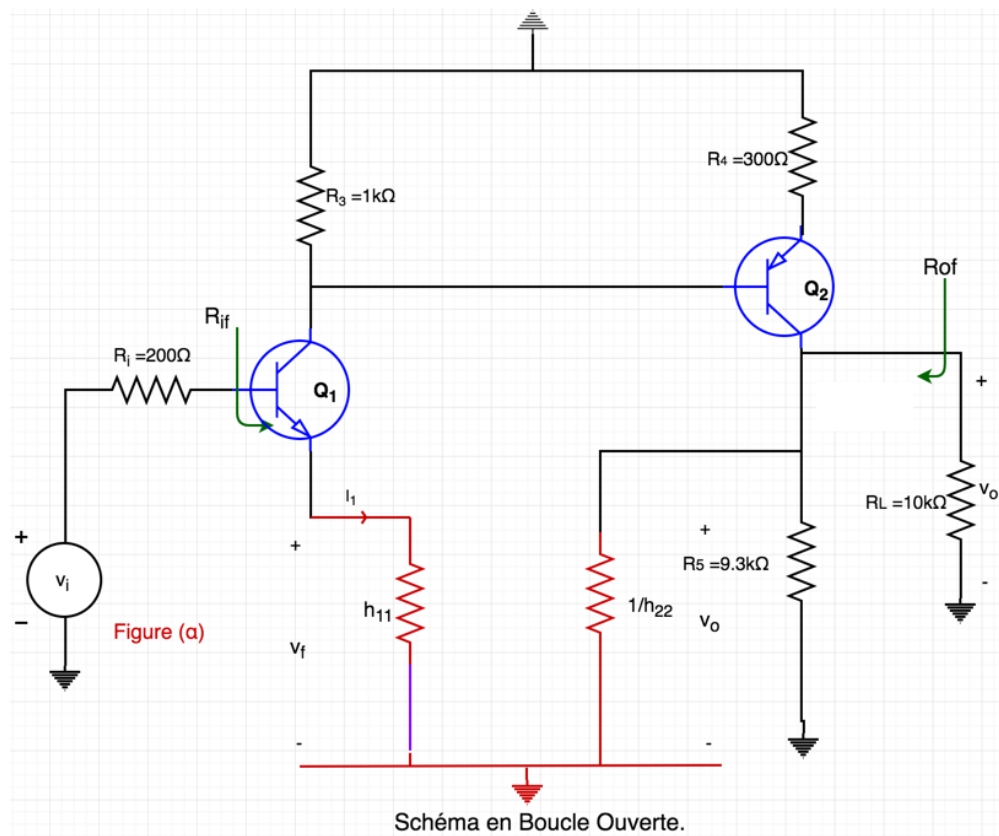
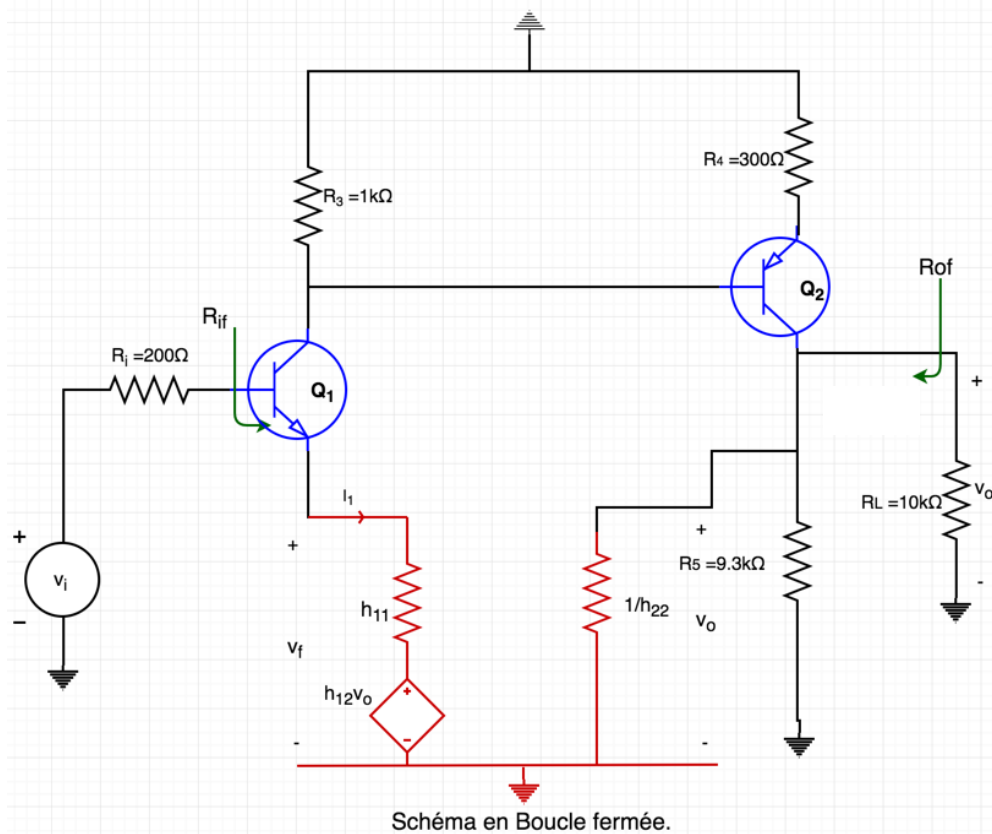
En adoptant l'hypothèse d'un amplificateur de base et d'une chaîne de retour **unilatéraux** (cf. notes de cours), nous obtenons le schéma équivalent en boucle fermée de l'amplificateur de la figure 1 (voir page suivante).

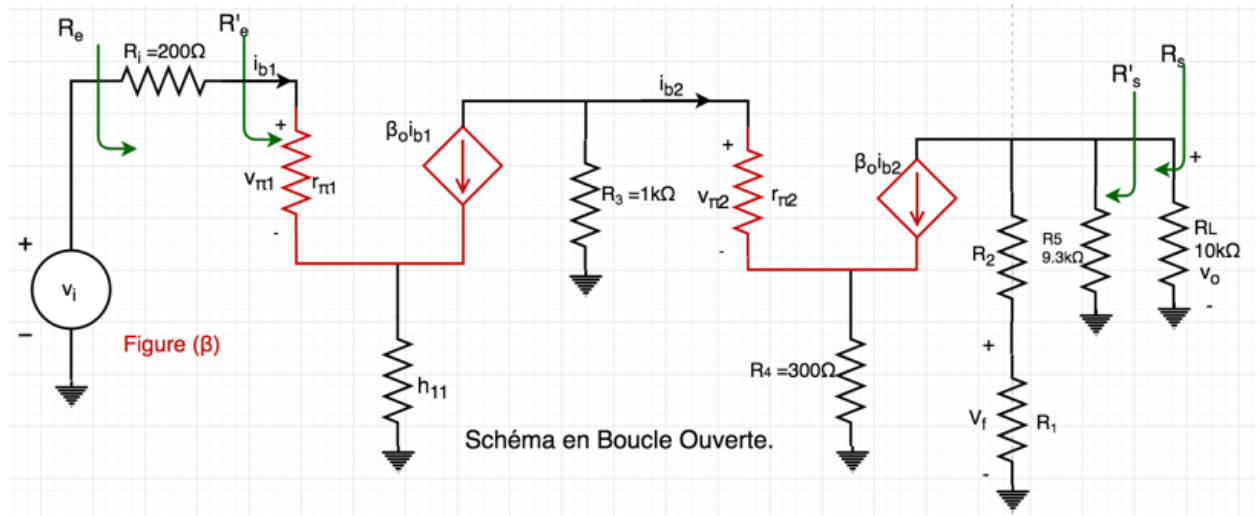
La transmittance β_F de la chaîne de retour est :

$$\beta_F = h_{12} = 0.1$$

4-

Le schéma de l'amplificateur en BO est obtenu en annulant la source de tension $h_{12}v_o$; cet ampli en BO est représenté à la figure (a) et à la figure (b).





La résistance $\rho = R_1 + R_2 = \frac{1}{h_{22}} = 3k\Omega$. On peut déduire la transmittance β_F de la chaîne de retour directement à partir du diviseur de tension de sortie formé par les résistances R_1 et R_2 du schéma (β).

5- • Gain en boucle ouverte A_{vo} :

La tension de sortie s'exprime à l'aide du courant i_{b2} ainsi :

$$v_o = -(R_L \parallel R_5 \parallel \rho)\beta_o i_{b2}$$

En appliquant la loi 'Diviseur de courant' pour les résistances en parallèles R_3 et $r_{\pi 2} + (\beta_o + 1)R_4$, nous obtenons la relation entre les courants i_{b1} et i_{b2} :

$$i_{b2} = -\beta_o i_{b1} \frac{R_3}{R_3 + r_{\pi 2} + (\beta_o + 1)R_4}$$

L'application de la loi des mailles à l'entrée de l'amplificateur, se traduit par la relation suivante :

$$i_{b1} = \frac{v_i}{R_i + r_{\pi 1} + (\beta_o + 1)h_{11}}$$

En combinant les trois relations précédentes, nous déduisons le gain en tension en BO :

$$\begin{aligned} A_{vo} = \frac{v_o}{v_i} &= -(R_L \parallel R_5 \parallel \rho)\beta_o \times \left(-\beta_o \frac{R_3}{R_3 + r_{\pi 2} + (\beta_o + 1)R_4} \right) \left(\frac{1}{R_i + r_{\pi 1} + (\beta_o + 1)h_{11}} \right) \\ &\approx \beta_o^2 \frac{(R_L \parallel R_5 \parallel \rho)R_3}{(R_3 + r_{\pi 2} + \beta_o R_4)(R_i + r_{\pi 1} + \beta_o h_{11})} \end{aligned}$$

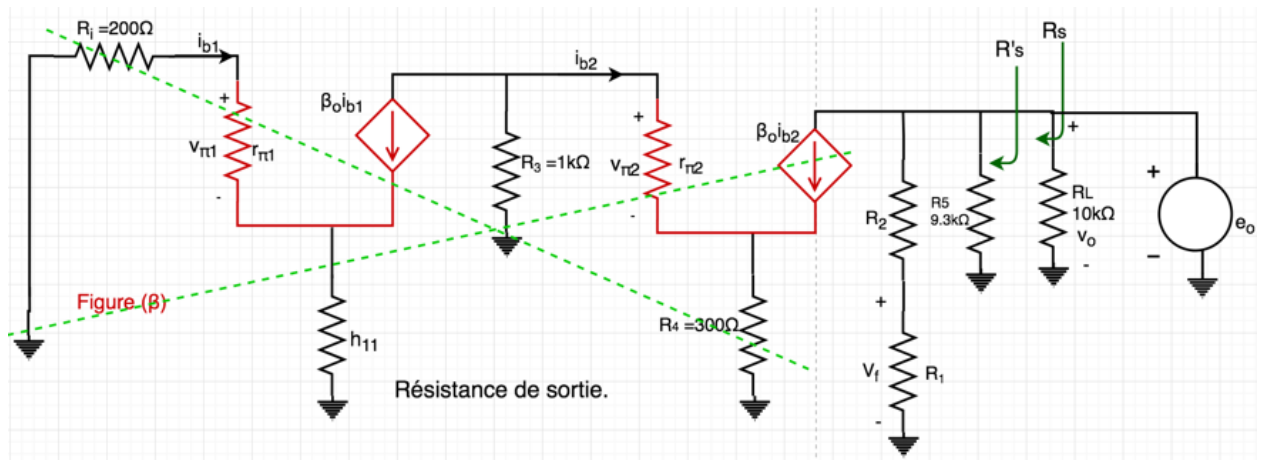
A.N. :

$$A_{vo} = 10^4 \frac{(10 \parallel 9.3 \parallel 3)1}{(1+2.5+100 \times 0.3)(0.2+2.5+100 \times 0.27)} = 18.5829$$

- Résistance d'entrée R_e de l'ampli en boucle ouverte :

$$R_e = \frac{v_i}{i_{b1}} = R_i + r_{\pi1} + (\beta_o + 1)h_{11} \approx R_i + r_{\pi1} + \beta_o h_{11} = 0.2 + 2.5 + 100 \times 0.27 k\Omega = 29.7 k\Omega$$

- Résistances de sortie R'_s / R_s de l'ampli en boucle ouverte :



En annulant la source à l'entrée, le courant d'entrée i_{b1} devient nul. Il s'ensuit que $i_{b2} = 0A$. La résistance de sortie R'_s / R_s de l'amplificateur se déduit à partir du schéma ci-dessus en éliminant la partie du circuit barrée en pointillés. Il s'ensuit donc que :

$$R'_s = R_5 \parallel \rho = 9.3 \parallel 3 k\Omega \approx 2.27 k\Omega$$

$$R_s = R'_s \parallel R_L = 2.27 \parallel 10 k\Omega = 1.85 k\Omega$$

6- • Gain en Boucle fermée de l'ampli A_{vf}

$$A_{vf} = \frac{A_{vo}}{1 + \beta_F A_{vo}} \approx \frac{18.6}{1 + 0.1 \times 18.6} = 6.5$$

- Résistance d'entrée R_{if}

Désignons par R_{ifa} la résistance d'entrée de l'amplificateur de la figure 1 vue par la source v_i . On a :

$$R_{ifa} = R_i + R_{if}$$

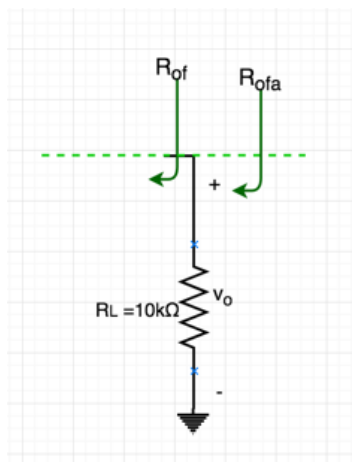
La résistance R_{ifa} en BF s'exprime en fonction du gain de boucle ainsi :

$$R_{ifa} = R_e(1 + \beta_F A_{vo}) = 29.7(1 + 0.1 \times 18.6) k\Omega = 84.9 k\Omega$$

$$R_{if} \approx R_{ifa} - R_i = 84.9k\Omega - 0.2k\Omega = 84.7k\Omega$$

- **Résistance de sortie R_{of}**

Désignons par R_{ofa} la résistance de sortie avec résistance R_L incluse (cf. figure ci-dessous). On a :



$$\left(\frac{1}{R_{ofa}} - \frac{1}{R_L} \right)^{-1} = R_{of}$$

$$R_{ofa} = \frac{R_s}{1 + \beta_F A_{vo}} \approx \frac{1.85}{1 + 0.1 \times 18.6} k\Omega \approx 647\Omega$$

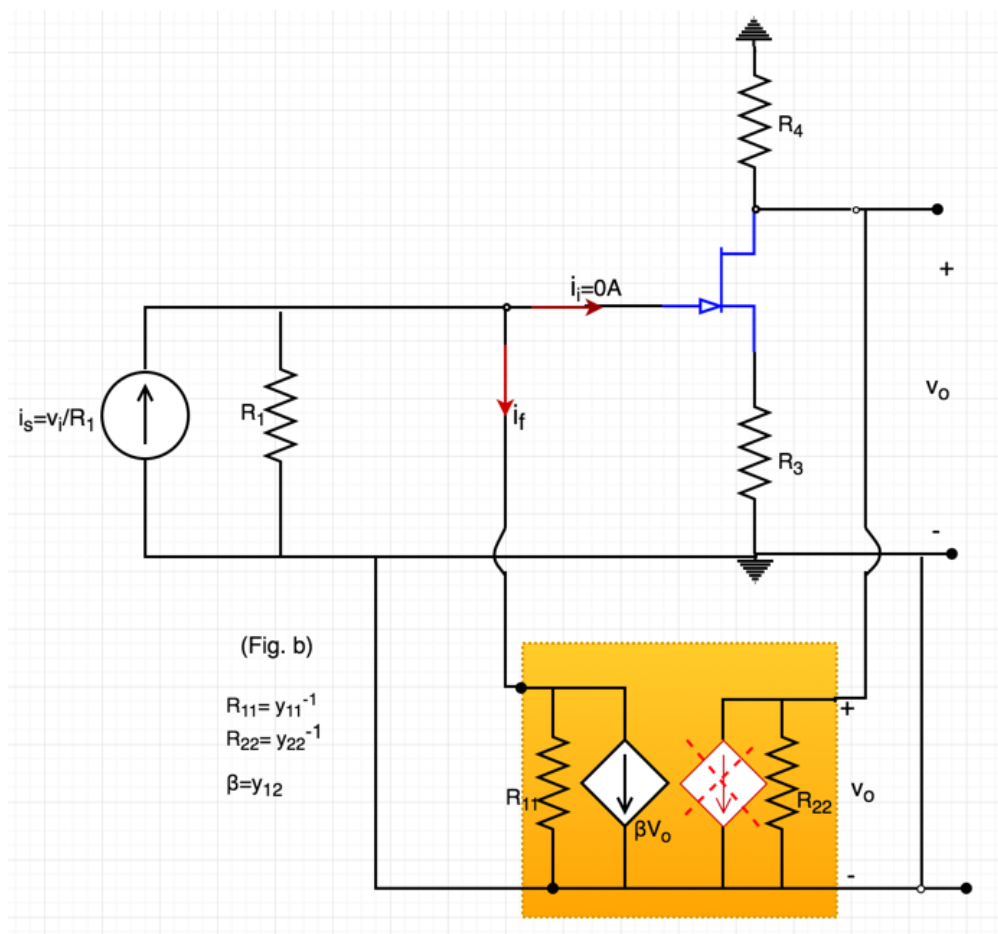
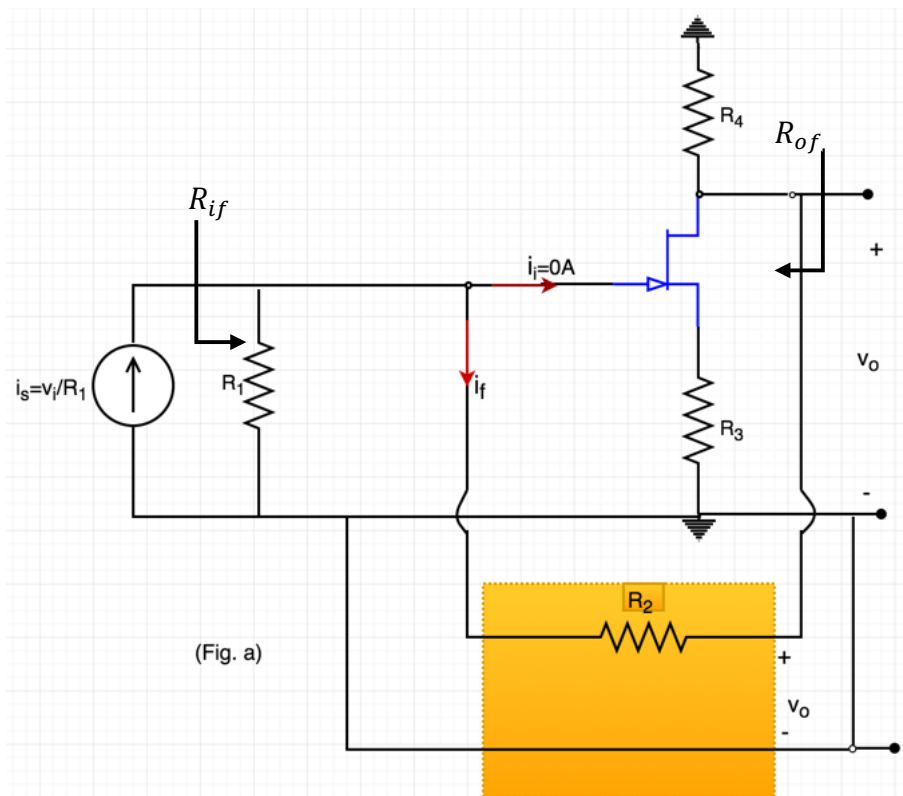
$$R_{of} = \left(\frac{1}{0.647} - \frac{1}{10} \right)^{-1} k\Omega \approx 691.7\Omega$$

Exercice 2 :

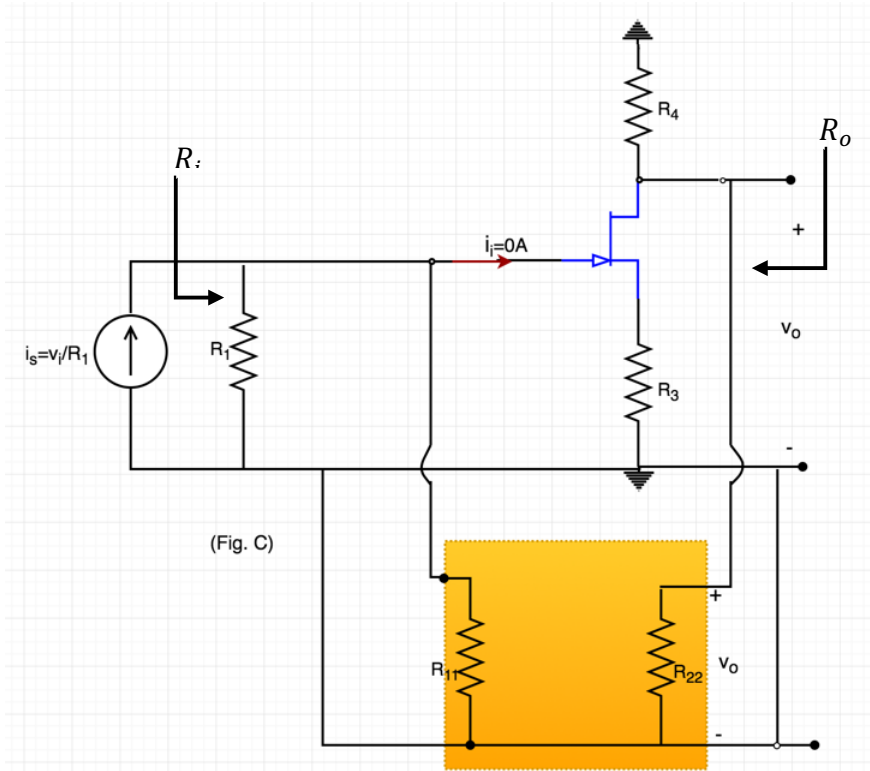
1- • Schéma équivalent de l'ampli en dynamique :

Le schéma petits signaux de l'ampli de la Fig.2 est représenté ci-dessous (cf. Fig. a). Il est clair que la topologie de la contre-réaction est parallèle-parallèle (prélèvement de tension et injection de courant).

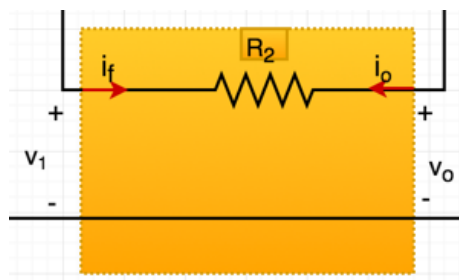
2- En adoptant l'hypothèse 'ampli et la chaîne de retour unilatéraux' et en représentant le quadripôle en fonction de ses paramètres admittances, l'ampli de la figure (a) peut être représenté ainsi (voir Fig. b) :



On obtient le schéma en boucle ouverte (BO) de l'amplificateur en annulant la source de courant de la chaîne de retour. L'ampli en BO est illustré à la figure (c).



• Paramètres admittances de quadripôle 'chaîne de retour' :



Les paramètres admittances sont définis par :

$$\begin{aligned} i_f &= y_{11}v_1 + y_{12}v_o \\ i_o &= y_{21}v_1 + y_{22}v_o \end{aligned}$$

On a :

$$\begin{aligned} i_f &= (v_1 - v_o)/R_2 \\ i_o &= (v_o - v_1)/R_2 \end{aligned}$$

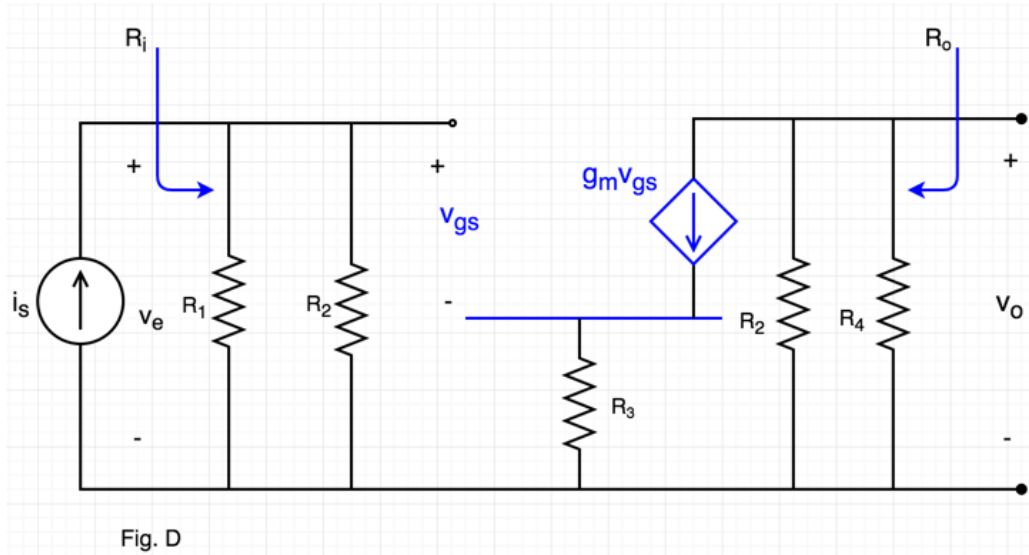
et

Il s'ensuit que :

$$\begin{aligned} R_{11} &= y_{11}^{-1} = R_2 \\ R_{22} &= y_{22}^{-1} = R_2 \\ y_{12} &= \beta = -\frac{1}{R_2} \end{aligned}$$

Où β désigne la transmittance de la chaîne de retour.

- 3- En remplaçant le transistor par son schéma équivalent en petits signaux, nous obtenons le circuit illustré à la figure (D).



On a :

$$\begin{aligned} v_o &= -R_2 \parallel R_4 g_m v_{gs} \\ R_3 g_m v_{gs} + v_{gs} &= v_e \\ v_e &= R_1 \parallel R_2 i_s \end{aligned}$$

Le gain de l'ampli en BO est :

$$A_o = \frac{v_o}{i_s}$$

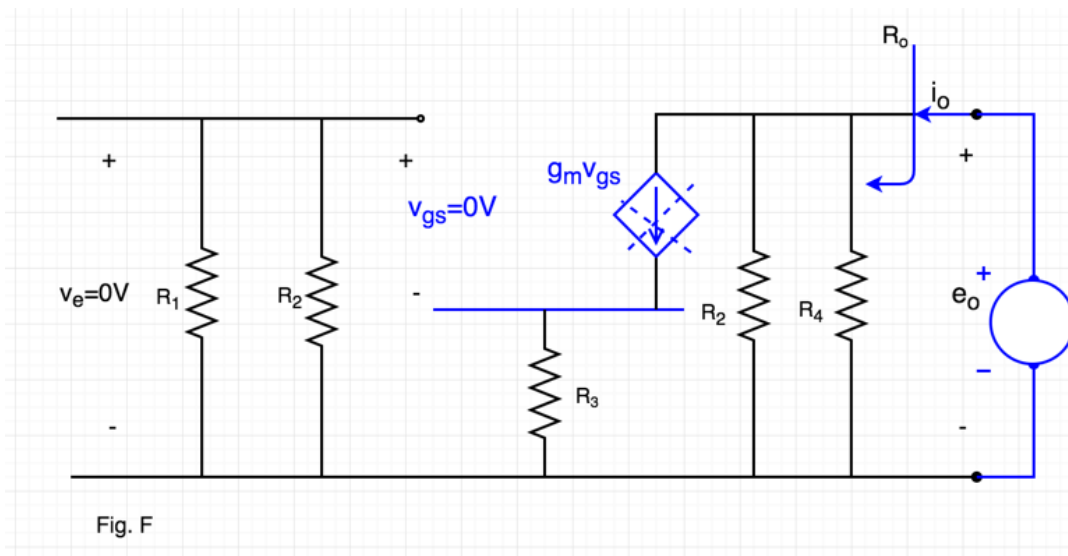
$$A_o = \frac{v_o}{v_e} \frac{v_e}{i_s} = \frac{v_o}{v_{gs}} \frac{v_{gs}}{v_e} \frac{v_e}{i_s} = -R_2 \parallel R_4 g_m \times \frac{1}{1 + g_m R_3} \times R_1 \parallel R_2 = -7 \parallel 10 \times 5 \frac{1}{1 + 5 \times 1} \times 3 \parallel 7 k\Omega = -7.2 k\Omega$$

La résistance d'entrée R_i est définie par :

$$R_i = \frac{v_e}{i_s} = R_1 \parallel R_2 = 3 \parallel 7 k\Omega = 2.1 k\Omega$$

La résistance de sortie est la résistance vue par la sortie lorsque les sources indépendantes de l'ampli sont éteintes (cf. Fig. F). Elle est définie par :

$$R_o = \frac{v_o}{i_o} = R_2 \parallel R_4 = 7 \parallel 10 k\Omega = 4.12 k\Omega$$



4- Caractéristiques de l'ampli en Boucle fermée

Gain :

$$\frac{v_o}{i_s} = A_f = \frac{A_o}{1 + \beta A_o} = \frac{A_o}{1 - \frac{1}{R_2} A_o} \frac{-7.2k\Omega}{1 + \frac{7.2}{7}} = -3.55k\Omega$$

Résistance d'entrée :

La réinjection de courant diminue la résistance d'entrée,

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta A_o} = \frac{2.1k\Omega}{1 + \frac{7.2}{7}} = 1k\Omega.$$

Résistance de sortie :

Le prélèvement de tension diminue la résistance de sortie,

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A_o} = \frac{4.12k\Omega}{1 + \frac{7.2}{7}} = 2k\Omega.$$

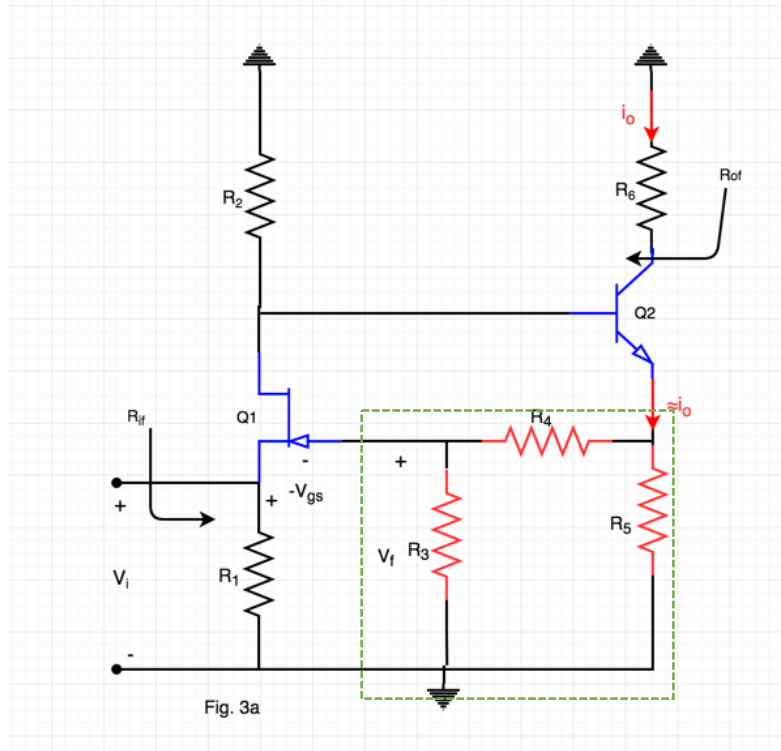
Exercice 3 :

- 1- Le schéma de l'ampli de la figure 3 en régime variable est représenté à la figure (3a).
Posons $x_f = v_f$, $x_i = -v_{gs}$ et $x_s = v_i$. On a :

$$x_s = x_f + x_i$$

Il s'agit donc d'une réinjection de tension.

Le courant au niveau du collecteur du transistor Q2 est le courant de sortie i_o . Ce courant, qui est à peu près le même courant qui traverse l'émetteur de Q2, est prélevée par la chaîne de retour constituée par les résistances R_5 , R_4 et R_3 . On a donc une topologie série-série.



2- En remplaçant le quadripôle par ses paramètres impédances, nous aboutissons, toujours sous l'hypothèse précédente, au schéma équivalent de l'ampli en boucle fermée de la figure (3b). β_F est la transmittance de la chaîne de retour.

En annulant la source de tension de la chaîne de retour, on obtient le schéma de l'amplificateur en BO de la figure(3c).

- Paramètres impédances du quadripôle 'chaîne de retour'

Les paramètres impédances sont définis par (cf. Fig. 3d) :

$$\begin{aligned} v_f &= Z_{11}i_1 + Z_{12}i_o \\ v_1 &= Z_{21}i_1 + Z_{22}i_o \end{aligned}$$

$$\text{où } Z_{11} = \left. \frac{v_f}{i_1} \right|_{i_o=0}, Z_{12} = \beta_F = \left. \frac{v_f}{i_o} \right|_{i_1=0}, Z_{22} = \left. \frac{v_1}{i_o} \right|_{i_1=0}, Z_{21} = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{i_o=0}.$$

