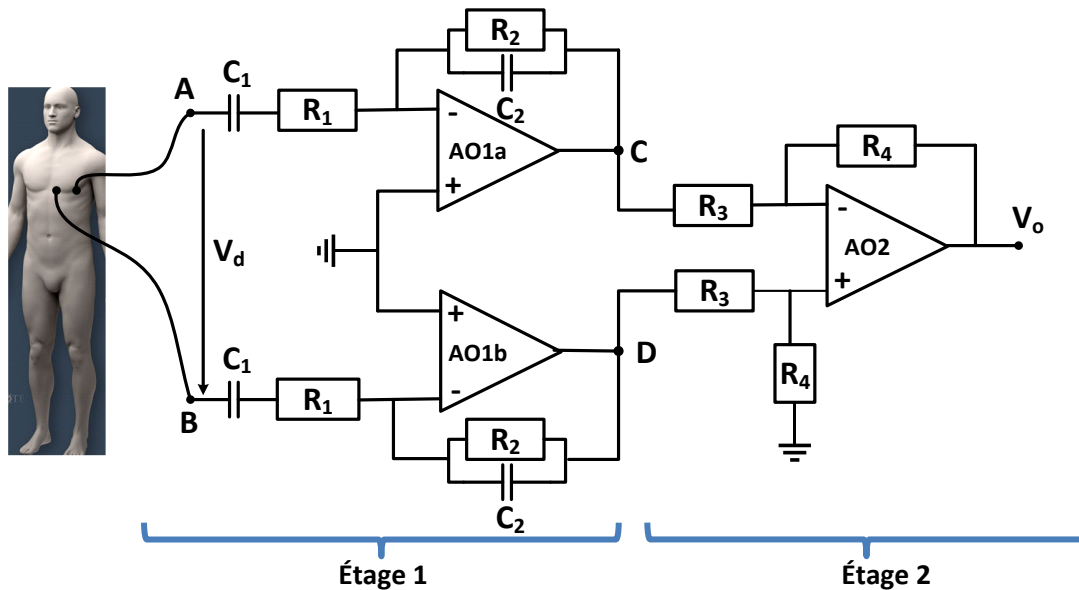


Seul le résultat final de chaque étape est donné au propre dans la partie encadrée.

### 1. Applications de l'AO (~ 40 mn)

On se propose d'étudier le circuit suivant pour une utilisation ECG :



- a- Appliquer des signaux de test différentiels à l'entrée ( $\underline{V_A(j\omega)} = -\underline{V_B(j\omega)}$ ) et exprimer la fonction de transfert  $\underline{H(j\omega)} = \frac{\underline{V_o(j\omega)}}{\underline{V_A(j\omega)} - \underline{V_B(j\omega)}} = \frac{\underline{V_o(j\omega)}}{\underline{V_d(j\omega)}}$  sous la forme canonique en faisant sortir le gain maximal  $G_d$  (Rq :  $G_d$  correspond à des fréquences où  $Z_{c1} \rightarrow 0$  et  $Z_{c2} \rightarrow \infty$ ).

$$\underline{H(j\omega)} = \frac{\underline{V_o(j\omega)}}{\underline{V_d(j\omega)}}$$

$$= G_d \underline{H'(j\omega)} = \underbrace{\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}}_{G_d} \frac{j\omega R_1 C_1}{(1+j\omega R_1 C_1)(1+j\omega R_2 C_2)}$$

Les pôles  $f_{pi}$  :

$$\frac{1}{2\pi R_1 C_1} \text{ et } \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

Les zéros  $f_{zi}$

$$\frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$G_d =$

$$\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$$

NOM:

PRENOM:

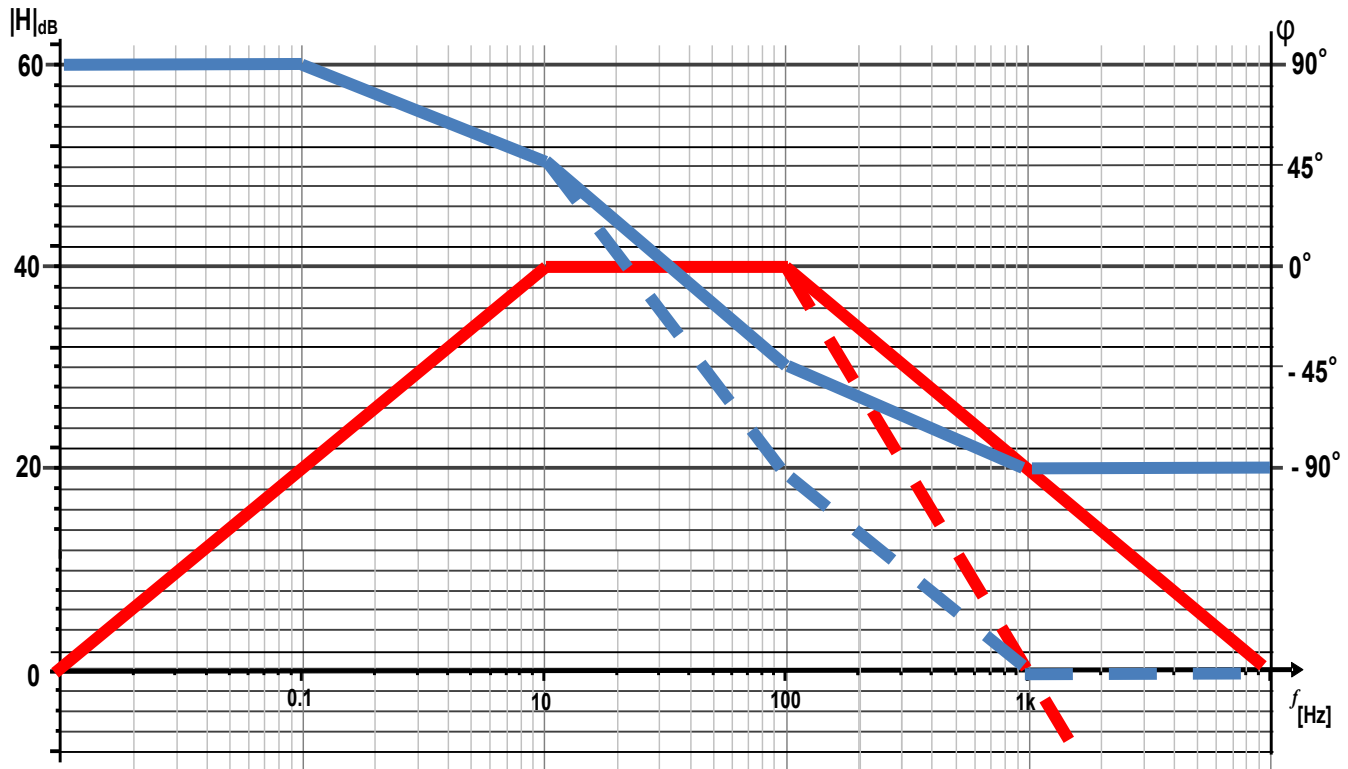
N° place :

SECTION :..

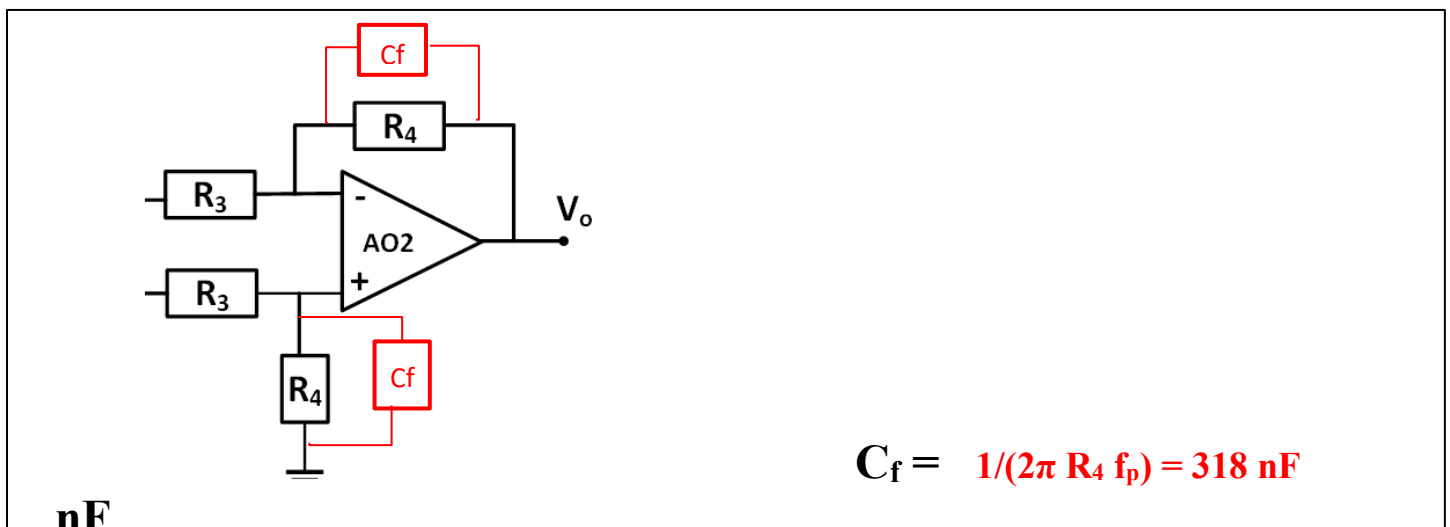
b- Dimensionner les éléments ci-dessous pour avoir:  $G_d$  de 100 ( $G_{d1} = 20$  pour l'étage 1 et  $G_{d2} = 5$  pour l'étage 2), un zéro à 10Hz et un pôle à 100Hz (prendre  $R_1 = R_3 = 1$  [k $\Omega$ ]).

$R_2 =$ <b>20 k<math>\Omega</math></b>	$R_4 =$ <b>5 k<math>\Omega</math></b>	$C_1 =$ <b>16 <math>\mu</math>F</b>	$C_2 =$ <b>79 nF</b>
--	---------------------------------------	-------------------------------------	----------------------

c- Tracer le diagramme de Bode en amplitude et en phase de  $H(j\omega)$ .



d- Ajouter une paire de capacité  $C_f$  au deuxième étage pour avoir un deuxième pôle à 100 Hz en donnant sa valeur. Montrer en traitillé la modification que subirait alors le diagramme de Bode en amplitude et en phase sur le graphe de la question c.



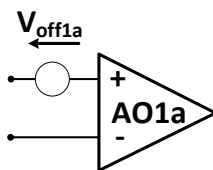
**2. Bruit et Imperfections de l'AO (~ 30 mn):**

a- Exprimer et calculer la valeur RMS du bruit en tension ( $\sigma_n = \sqrt{v_{n,o}^2|_{tot}}$ ) et sa valeur crête-à-crête maximale ( $v_{n,pp,max}$ ) à la sortie de l'amplificateur (avec  $C_f$ ). Considérer seulement les sources de bruit dominantes que sont ( $R_1, R_2$ ) et négliger le filtrage basse fréquences entre 0 et 10 Hz.

Rappel:  $\overline{v_n^2}|_{R=1k\Omega} = (4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2$ ,  $\int_0^\infty \frac{df}{1+(\frac{f}{f_c})^2} = \frac{\pi}{2} f_c$  et  $\int_0^\infty \frac{df}{(1+(\frac{f}{f_c})^2)^2} = \frac{\pi}{4} f_c$

	<u>Expression</u>	<u>Valeur [V<sup>2</sup>]</u>
<p><i>Contribution des R<sub>1</sub></i></p> $\overline{v_{n,o}^2} _{(R_1)} [V^2]$	$2 \times \frac{4kTR_1}{(4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2} G_d^2 \frac{\pi}{4} f_{p2} \approx 2.5 \cdot 10^{-11}$	
<p><i>Contribution des R<sub>2</sub></i></p> $\overline{v_{n,o}^2} _{(R_2)} [V^2]$	$2 \times \frac{4kTR_2}{20(4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2} G_d^2 \frac{\pi}{4} f_{p2} \approx 1.25 \cdot 10^{-12}$	
<p><i>Puissance totale</i></p> $\overline{v_{n,o}^2} _{tot} [V^2]$	$\overline{v_{n,o}^2} _{(R_1)} + \overline{v_{n,o}^2} _{(R_2)} \approx 2.5 \cdot 10^{-11}$	
$\sigma_n = \sqrt{\overline{v_{n,o}^2} _{tot}} [V]$	$\sqrt{\overline{v_{n,o}^2} _{tot}} = 5 \cdot 10^{-6}$	<u>Valeur [V]</u>
$v_{n,pp,max} [V]$	$6\sigma_n = 30 \cdot 10^{-6}$	

b- Etablir l'expression de  $V_{o,DC}$  due aux tensions d'offset DC des trois amplificateurs ( $V_{off1a}, V_{off1b}, V_{off2}$ ). Calculer sa valeur maximale  $V_{o,DCmax}$  si les AOs ont un  $|V_{off,max}| = 0.1V$ . (Suivre le model donné ci-dessous).



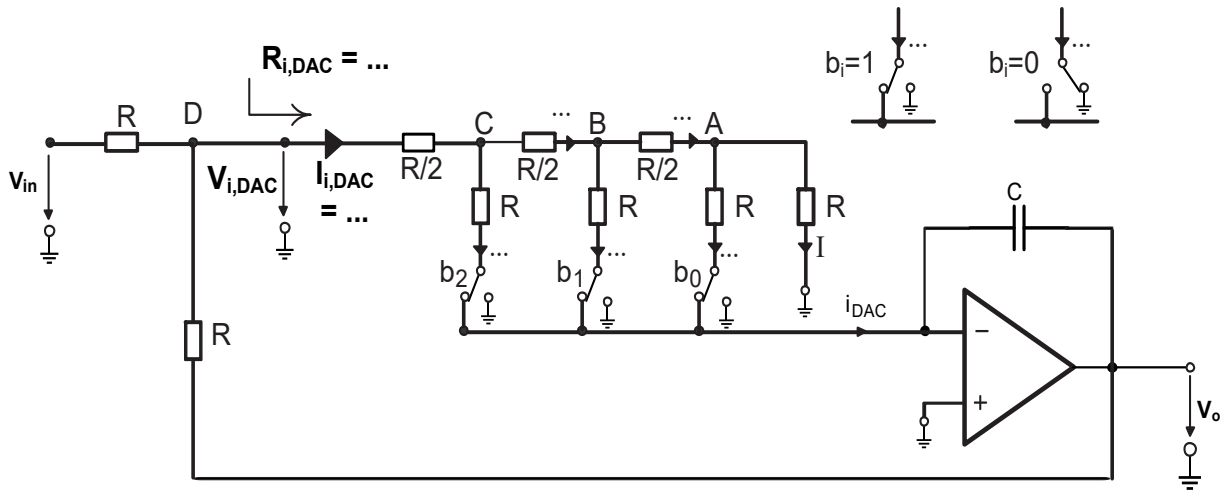
$$V_{o,DC} = \frac{R_4}{R_3} (V_{off1a} - V_{off1b}) + \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) (V_{off2})$$

$$V_{o,DC max} = \pm 1.6 \quad V$$

c- En déduire les amplitudes maximales des signaux ac à la sortie et à l'entrée ( $\hat{V}_{o,max}, \hat{V}_{d,max}$ ) tolérables sans distorsion (Les AOs sont polarisés entre  $-V_{cc} = -5V$  et  $V_{cc} = +5V$ ).

$\hat{V}_{o,max} = 3.4 \quad V$	$\hat{V}_{d,max} = \frac{\hat{V}_{o,max}}{G_d} = 3.4 \cdot 10^{-2} \quad V$
---------------------------------	---

**3- Filtre programmable (~ 40 mn)**



- a- Indiquer sur les pointillés du schéma ci-dessus **les courants** des branches en fonction de I. En déduire  $I_{i,DAC}$  en fonction de I.
- b- Donner la valeur de  $R_{i,DAC}$  en fonction de R (déterminer d'abord les résistances entre les nœuds A, B, C et la masse).
- c- Exprimer  $V_{i,DAC}$  en fonction de R et de I. En déduire **I** en fonction de  $V_{i,DAC}$  et de R:

<p>a) <math>I_{i,DAC} =</math> <b><math>8I</math></b></p>	<p>b) <math>R_{i,DAC} =</math> <b><math>R</math></b></p>	<p>c) <math>V_{i,DAC} =</math> <b><math>8IR</math></b></p>	<p>c) <b><math>I = V_{i,DAC} / 8R</math></b></p>
---	--	--	--

- d- Déterminer  $V_o$  en fonction de  $\sum_{i=0}^2 b_i 2^i$ , I et  $Z_c$  puis en fonction de  $\sum_{i=0}^2 b_i 2^i$ ,  $V_{i,DAC}$  et RC
- e- Déterminer  $V_{i,DAC}$  en fonction de  $V_{in}$  et  $V_o$ :

<p>d) <math>V_o =</math> <math display="block">= - \frac{-Z_c I_{DAC}}{j\omega C}</math> <math display="block">= - \frac{I(\sum_{i=0}^2 b_i 2^i)}{j\omega C}</math></p>	<p>d) <math>V_o =</math> <math display="block">= - \frac{V_{i,DAC} (\sum_{i=0}^2 b_i 2^i)}{j\omega C 8R}</math></p>	<p>e) <math>V_{i,DAC} =</math> <math display="block">\frac{V_{in} + V_{out}}{3}</math></p>
---	---	--

**Rq : si vous ne répondez pas à la question e, considérer que  $V_{i,DAC} = \frac{V_{in} + V_o}{2}$  pour la suite.**

NOM:

PRENOM:

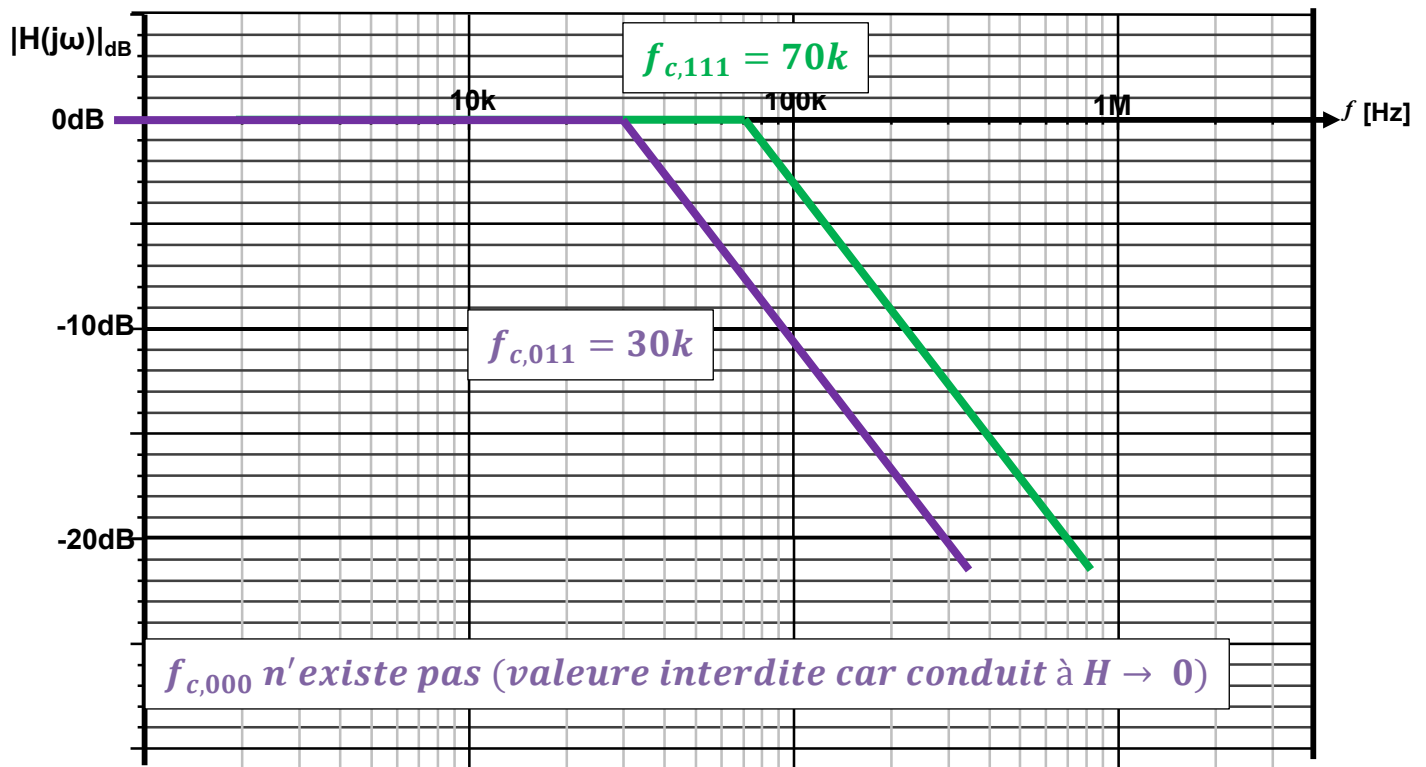
N° place :

SECTION :..

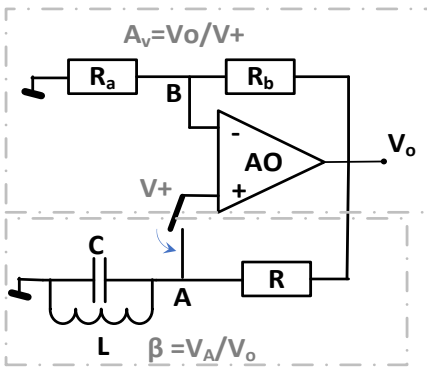
f- Déduire de (d) et (e) la fonction de transfert du filtre programmable  $H_f(j\omega) = V_o / V_{in}$  ainsi que son pôle programmable  $f_p$ . Calculer  $RC$  pour que le contrôle digital (1 1 1) donne pôle à **70 kHz**

$H_f(j\omega) = - \frac{1}{1 + j\omega \frac{24RC}{k}} \quad \text{avec } k = \left( \sum_{i=0}^2 b_i 2^i \right)$ <p style="text-align: center;"><math>\frac{k}{1/\omega_p}</math></p>	$f_p = \frac{k}{2\pi 24RC}$	$RC = \frac{7}{2\pi 24 f_p} = 0.66 \mu s$
---	-----------------------------	---

g- Tracer ci-dessous les digrammes de Bode en amplitude de  $H_f(j\omega)$  pour  $(b_2 b_1 b_0)$  égale à **(1 1 1)** ; **(0 1 1)** ; **(0 0)** en donnant à chaque fois sur la figure la valeur de la fréquence de coupure.



**a. Oscillateur (~ 30 mn) :**



- Prévoir théoriquement la fonction de transfert :  $\beta(i\omega) = \frac{V_A}{V_o}$
- Exprimer la fréquence d'oscillation en fonction des éléments du circuit et donner la valeur du produit LC pour une fréquence d'oscillation  $f_o = 1\text{kHz}$ , en expliquant brièvement la démarche suivie.
- En déduire le module  $|\beta(jf_o)|$  à la fréquence d'oscillation.
- Donner la condition sur la valeur de  $R_a$  et  $R_b$  pour amorcer l'oscillation.
- Pour  $R_a = 10\text{ k}\Omega$  et  $R_b = 20\text{ k}\Omega$  et  $\pm V_{cc} = \pm 5\text{V}$ , donner approximativement l'amplitude du signal  $V_o(\widehat{V}_o(f_o))$ ,  $V_B(\widehat{V}_B(f_o))$  et  $V_A(\widehat{V}_A(f_o))$ .

a.

$$\beta(i\omega) = \beta(j\omega) = \frac{V_A}{V_o} = \frac{j\omega L}{R(1-\omega^2 LC) + j\omega L} \quad A = \frac{V_o}{V_A} = 1 + \frac{R_b}{R_a}$$

b. Fréquence d'oscillation  $f_o$  :  $Arg(A\beta(j\omega_o)) = 90^\circ - \text{Arctg}(\frac{\omega LC}{R(1-\omega^2 LC)}) = 0$

$$\Rightarrow (1 - \omega^2 LC) = 0 \Rightarrow f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad LC = \frac{1}{(2\pi f_o)^2} = 25\text{ ns}$$

c.

$$|\beta(jf_o)| = \left| \frac{j\omega L}{j\omega L} \right| = 1$$

d. Condition sur  $R_a, R_b$

$$|A\beta(jf_o)| = 1 + \frac{R_b}{R_a} \text{ tjrs } > 1 \text{ donc pas de condition sur } R_a \text{ et } R_b$$

e.

$$\widehat{V}_o(f_o) = 5\text{V}$$

$$\begin{aligned} \widehat{V}_B(f_o) &= \frac{R_a}{R_a + R_a} \widehat{V}_o(f_o) \\ &= \frac{5}{3} = 1.66\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widehat{V}_A(f_o) &= \widehat{V}_o(f_o) \\ &= 5\text{V} \end{aligned}$$