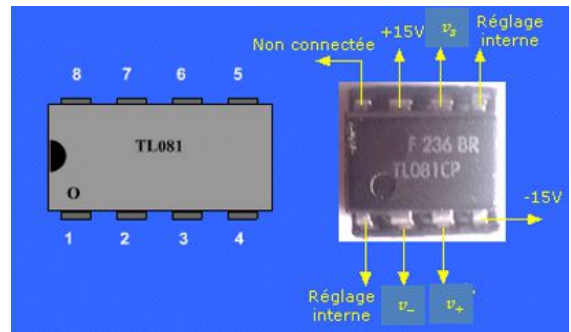
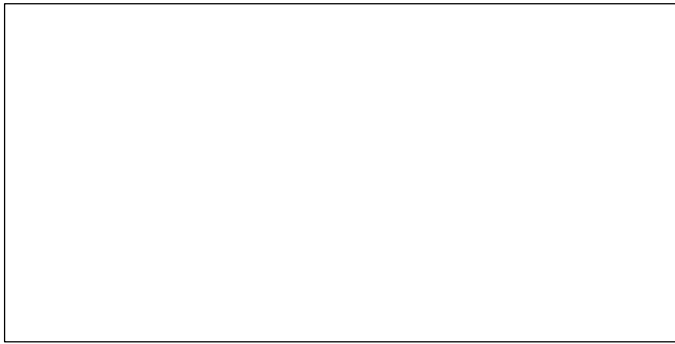


Chapitre 1 : L'amplificateur opérationnel

Le circuit intégré

Un A.O est un circuit intégré alimenté (souvent en $V_{cc} = \pm 15V$ broches non représentées) dont le symbole français est :

L'AO TL081 que nous allons utiliser en TP est un circuit monté sur un DIP8 (8 broches).



a) Caractéristiques du composant

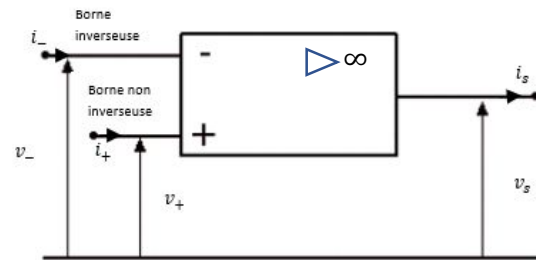
Autres imperfections de l'AO réel

Modèle réel (simplifié)	Modèle idéal
L'impédance d'entrée de l'AO est de l'ordre de $1M\Omega$: il existe des courants i^+ et i^- non nuls	L'impédance d'entrée de l'AO est supposée infinie : $i^+ = i^- = 0$
L'impédance de sortie est de quelques ohms : si la charge « appelle » du courant alors l'AO se met « à genoux »	L'impédance de sortie est supposée nulle (la tension v_s est indépendante de i_s)

- En HF, le comportement d'un système du 2nd ordre apparaît
- La commutation $\pm v_{sat}$ est elle aussi limitée en fréquence
- La pente de la tension en sortie est limitée (c'est le slew Rate)
- L'AO n'est pas Rail to Rail (les tensions de saturation peuvent étre plus faibles que les tensions d'alimentation)
- Les courants de polarisation sont responsables d'une tension d'offset alors que $\epsilon = 0$
- La tension $v_s = A_-(v^+ - v^-) + A_+(v^+ + v^-)$...on néglige souvent le mode commun $A_+(v^+ + v^-)$

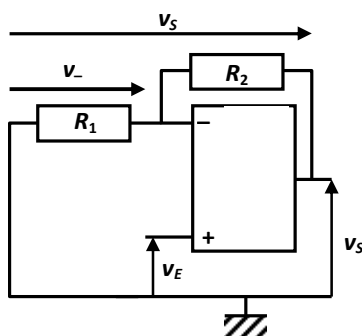
AO idéal

En exercice, le modèle de l'AO idéal sera signalé par :

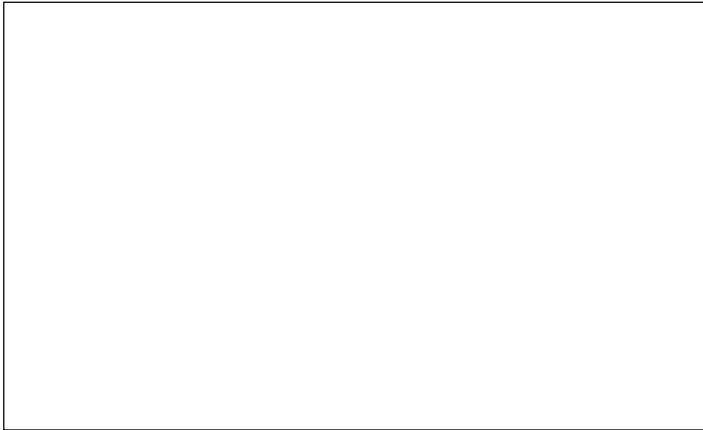
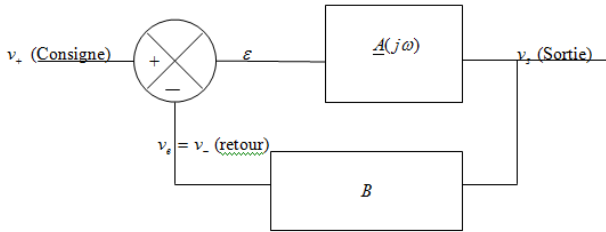


b) Effet d'une rétroaction négative

Pour observer le régime linéaire d'un A.O nous allons réaliser un bouclage :



Le montage précédent peut se modéliser à l'aide d'un schéma-blocs :



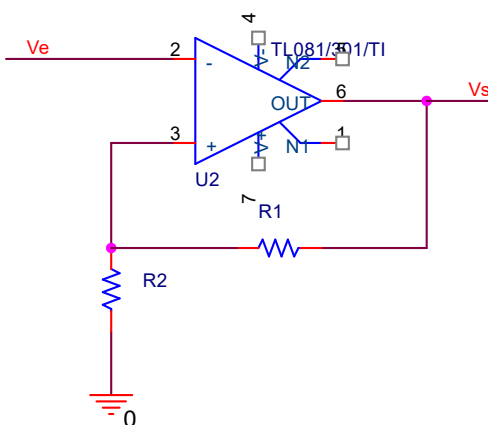
On a typiquement $B \approx \frac{1}{10}$

AO réel	AO idéal
<ul style="list-style-type: none"> - La bande passante de l'AO réel est améliorée car : $f_c = A_0 B f_0 \approx 100 \text{kHz}$ - L'amplification statique est diminuée ≈ 10. - $\frac{v_s}{v_e} \approx \frac{1}{B} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ pour $f \ll f_c$, un tel montage est un amplificateur non inverseur et assure une tension v_s a priori différente de $\pm V_{sat}$ et donc un fonctionnement linéaire de l'A.O. 	<p>Avec $A_0 \rightarrow \infty$ alors :</p> $\frac{v_s}{v_e} = \frac{1}{B} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10$ <p>Ce qui permet d'éviter la saturation si v_e est de l'ordre du Volt.</p> <p>La fonction de transfert s'obtient rapidement à l'aide du Théorème de Millman ou un PDT en postulant la linéarité de l'AO en repérant la présence de la rétroaction négative. En effet : $\varepsilon = 0$</p> $v_e = v_+ = v_- = \frac{v_s}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \text{ alors } \frac{v_s}{v_e} = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{R_2}{R_1}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$



c) Effet d'une rétroaction positive

Analysons l'effet d'une rétroaction positive :



Analyse qualitative de l'effet de la rétroaction :

On peut alors noter que cette structure limite la saturation de l'A.O car si v_s augmente alors ε diminue (si $B > 0$) ce qui revient à modérer l'augmentation initiale de v_s : on favorise le maintien du régime linéaire.

Analyse quantitative de l'effet de la rétroaction

La notation complexe permet d'écrire : $v_s \left(1 + j \frac{\omega}{\omega_c}\right) = \frac{v_e}{B}$

$$\frac{dv_s}{dt} + \frac{v_s}{\tau} = \frac{v_e}{\tau B}$$

Ce qui traduit la réponse d'un système d'ordre 1 :

- Stable
- rapide car $\tau = \frac{1}{2\pi f_0 A_0 B} \ll 1$.

Produit Gain-Bande passante

On peut remarquer cependant que le produit amplification statique * bande passante est constant et égal à $\frac{1}{B} * f_c = A_0 f_0$. Concrètement, cela signifie que l'on ne peut pas amplifier de manière conséquente à trop hautes fréquences. On peut mettre en évidence ce résultat sur le graphe ci-dessous représentant la fonction de transfert en boucle ouverte de l'AO. Asymptotiquement, le gain en BO est $20 \log\left(\frac{A_0}{f}\right)$ et $20 \log\left(\frac{A_0}{f}\right) = 20 \log\left(\frac{1}{B}\right)$ pour $f = f_c$: Une amplification de 10 est assurée à un peu plus de 100kHz

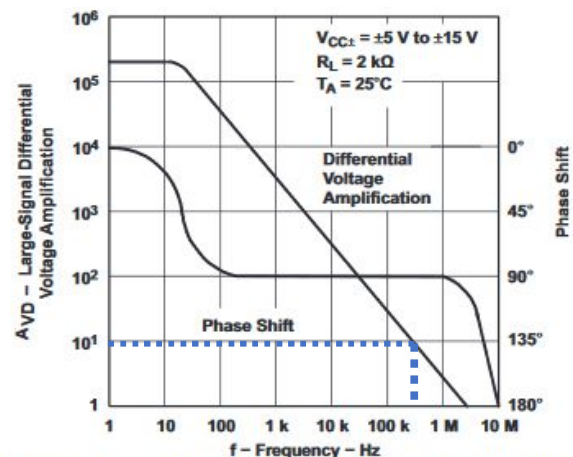
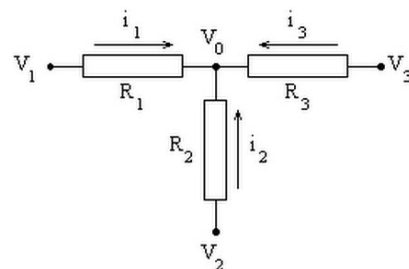


Figure 8. Large-Signal Differential Voltage Amplification and Phase Shift vs Frequency

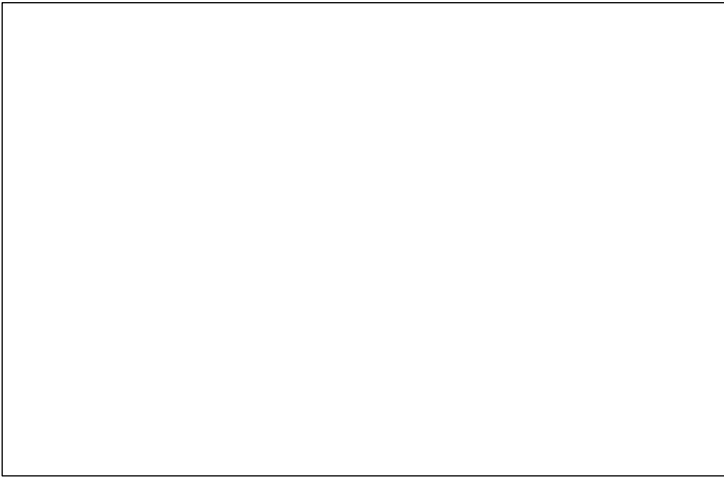
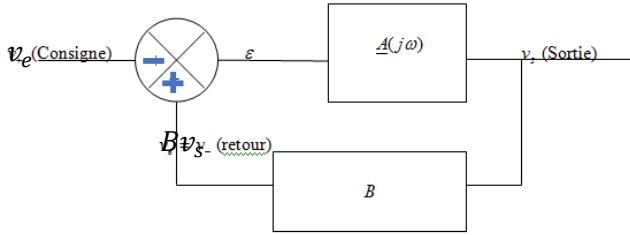
Théorème de Millman

Ce théorème se démontre à l'aide de la loi des nœuds :



$$V_0 = \frac{\sum_i \frac{V_i}{Z_i}}{\sum_i \frac{1}{Z_i}}$$

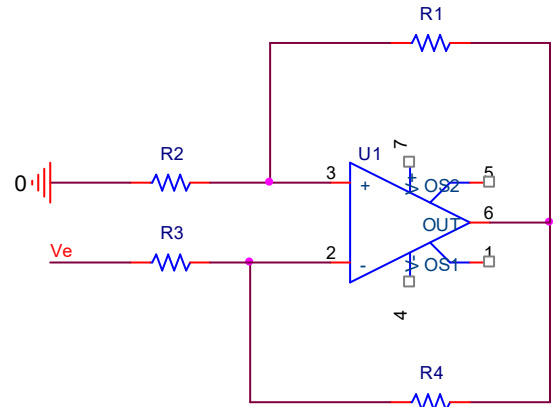
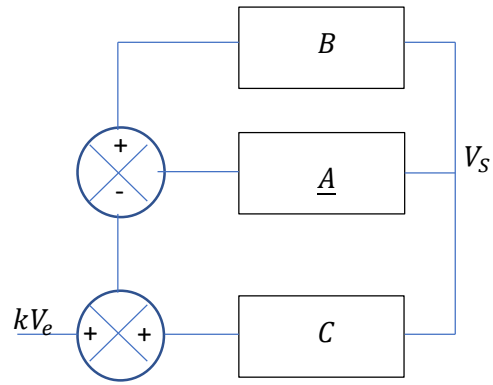
Le schéma-blocs associé est :



AO réel	AO idéal
il s'agit d'une solution divergente qui tend, même sans signal d'entrée, à la saturation de l'A.O.	Avec $\tau = \frac{1}{\omega_c} = \frac{1}{2\pi A_0 B f_0} \rightarrow 0$ La commutation est instantanée :
	- si $\varepsilon > 0$ alors : $v_s = +v_{sat}$
	- si $\varepsilon < 0$ alors : $v_s = -v_{sat}$



Cas d'une rétroaction positive et négative simultanée



$$\underline{v_s} = \underline{A}(j\omega)\underline{\varepsilon} = \underline{A}(j\omega)(\underline{v_+} - \underline{v_-}) = \underline{A}(j\omega)(B\underline{v_s} - k\underline{v_e} - C\underline{v_s})$$

$$\frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}} = \frac{-Ak}{1 + \underline{A}(C - B)} = -k \frac{\frac{A_0}{1 + \frac{jf}{f_0}}}{1 + \frac{A_0(C - B)}{1 + \frac{jf}{f_0}}}$$

$$\frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}} = -\frac{A_0 k}{1 + A_0(C - B)} \frac{1}{1 + \frac{jf}{f_0(1 + A_0(C - B))}}$$

Avec $A_0 \gg 1$,

$$\frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}} \approx -\frac{k}{(C - B)} \frac{1}{1 + \frac{jf}{f_0(A_0(C - B))}}$$

Si $C > B$ alors la contre-réaction négative l'emporte et le système est stable sinon le système est instable et si $B > C$ alors le système est instable