

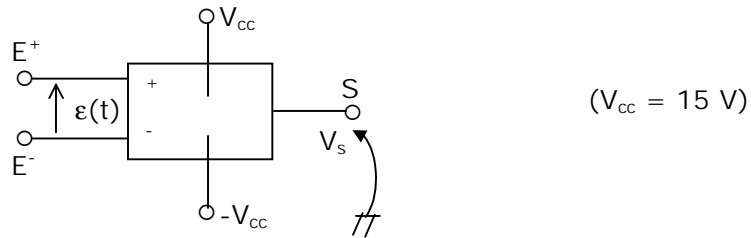
AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL (AO) EN REGIME LINEAIRE

Plan (Cliquez sur le titre pour accéder au paragraphe)

I.	Définitions : un AO est un tripôle, considéré comme une « boîte noire », comportant deux entrées E^+ et E^- , et une sortie S.	1
II.	Les quatre montages de base.	3
III.	Quelques exemples d'utilisation d'un AO en régime linéaire.	8

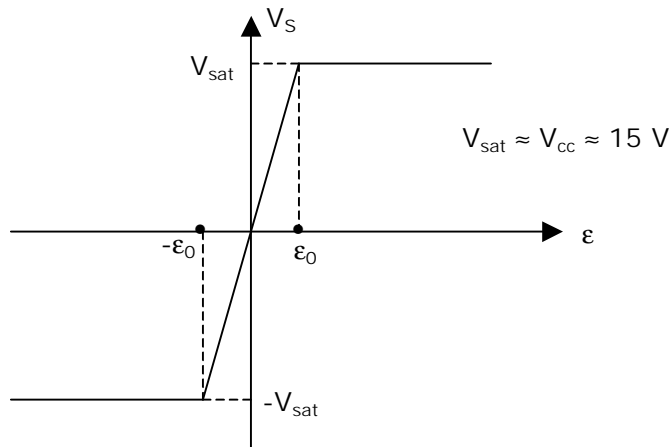
I. Définitions : un AO est un tripôle, considéré comme une « boîte noire », comportant deux entrées E^+ et E^- , et une sortie S.

C'est un composant actif, nécessitant d'être alimenté par une alimentation continue, usuellement $\pm 15\text{ V}$:



On pose usuellement : $\epsilon(t) = e^+(t) - e^-(t)$, appelée tension différentielle d'entrée.

I.1. Caractéristique différentielle d'entrée.



Cette caractéristique est valable en régime continu ou lentement variable.

Elle fait apparaître 2 modes de fonctionnement :

* Pour $|\epsilon| < \epsilon_0$:

$$v_s(t) = \mu_0 \epsilon(t)$$

On dit que l'AO fonctionne alors en régime linéaire.

$\mu_0 \approx 10^5$ à 10^6 est le gain différentiel statique.

* $\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour } \epsilon > \epsilon_0 : v_s(t) = V_{sat} , \forall \epsilon \\ \text{Pour } \epsilon < -\epsilon_0 : v_s(t) = -V_{sat} , \forall \epsilon \end{array} \right.$

On dit que l'AO fonctionne alors en régime de saturation (haute ou basse).

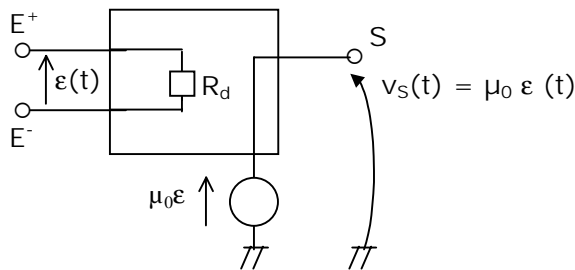
Nous n'étudierons dans ce chapitre que l'AO en régime linéaire.

Rem. : $e_0 = \frac{V_{sat}}{\mu_0} \approx 15 \text{ mV}$ est très faible. La moindre perturbation à l'entrée (bruit de fond ou rayonnement) fera saturer l'AO.

On en déduit qu'un AO « non bouclé » ne peut fonctionner en régime linéaire.

1.2. Schéma équivalent d'un AO en régime linéaire.

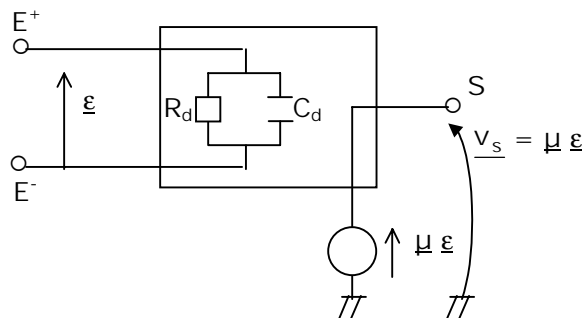
* Régime continu ou « basses fréquences » :



$R_d \approx 1$ à $10 \text{ M}\Omega$.

On considérera presque toujours $R_d \rightarrow \infty$.

* Régime sinusoïdal « moyennes fréquences »



On considère là aussi presque toujours $Z_d \rightarrow \infty$.

De plus $\underline{\mu}(j\omega) \approx \frac{\mu_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$ est le gain différentiel complexe (filtre passe-bas du 1^{er} ordre).

Usuellement : $\omega_0 \approx 10^{+2} \text{s}^{-1}$

Si $\omega \ll \omega_0$: $\underline{\mu} \approx \mu_0$ et on retrouve $V_s(t) = \mu_0 \varepsilon(t)$.

Rem. : $\underline{v}_s = \frac{\mu_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \underline{\varepsilon}$

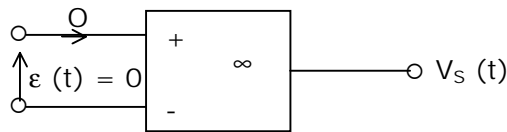
\Leftrightarrow $\tau \dot{V}_s + v_s = \mu_0 \varepsilon(t)$ $(\tau = \frac{1}{\omega_0})$

appelée équation différentielle caractéristique de l'AO.

I.3. Cas de l'AO idéal.

$Z_d \rightarrow \infty$

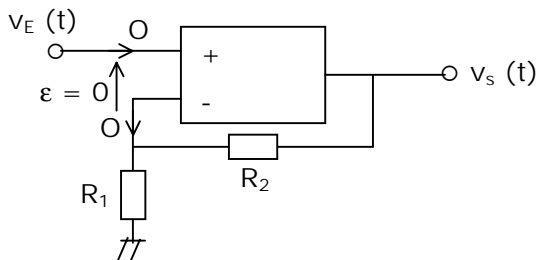
$|\underline{\mu}| \sim \mu_0 \rightarrow \infty$: $\varepsilon = 0$ ($\varepsilon^+ = \varepsilon^-$)



Rem. : il peut sembler a priori que l'on ne puisse considérer un AO idéal que si $\omega \ll \omega_0$, ce qui semble limiter l'intérêt de cette modélisation. En fait, le bouclage va « élargir la bande passante » (cf 6.2.i), et on peut usuellement considérer un AO comme idéal dans l'ensemble du spectre utilisé en TP (100 Hz \rightarrow 100 kHz).

II. Les quatre montages de base.

II.1. Montage non-inverseur.



$$* \text{AO idéal} : v_E(t) = e^+(t) = e^-(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_S(t)$$

$$\Rightarrow \boxed{v_S(t) = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}_{> 0} v_E(t)}$$

(v_S et v_E sont en phase : montage « non inverseur »).

$$\text{Validité : } |v_S| < V_{\text{sat}} \Rightarrow |v_E| < \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}}$$

$$* \text{AO non idéal} \quad \left(\begin{array}{l} Z_d \rightarrow \infty \\ \underline{\mu}(j\omega) = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{V_S}{\underline{\varepsilon}} \end{array} \right.$$

Ce modèle va nous permettre de montrer que l'AO, bouclé sur l'entrée E^- , fonctionne bien en régime linéaire, et que l'on peut alors le considérer comme idéal dans tout le domaine usuel de fréquences utilisées en TP. En effet :

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} \underline{v}_S = \underline{\mu} \underline{\varepsilon} \\ \underline{\varepsilon} = \underline{v}_E - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \underline{v}_S \end{array} \right. \\ \Rightarrow & \underline{v}_S \left(\frac{1}{\underline{\mu}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) = \underline{v}_E \\ \Rightarrow & \underline{H} = \frac{\underline{v}_S}{\underline{v}_E} = \frac{1}{\frac{1}{\underline{\mu}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0} + \mu_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \end{aligned}$$

$$\text{Soit } \boxed{\underline{H} = \frac{H_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}}, \text{ avec } \left\{ \begin{array}{l} H_0 = \frac{\mu_0}{1 + \mu_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \\ \omega_0' = \omega_0 \left(1 + \mu_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \end{array} \right.$$

On en déduit :

*- ω_0' est le pôle négatif de $H(p)$: le régime libre est bien amorti, ce qui assure la stabilité d'un fonctionnement en régime linéaire (toute petite perturbation sur l'entrée est spontanément amortie).