

## AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL (AO) EN REGIME LINEAIRE

**Plan** (Cliquez sur le titre pour accéder au paragraphe)

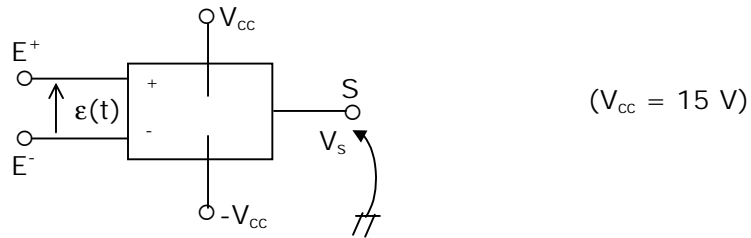
\*\*\*\*\*

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

\*\*\*\*\*

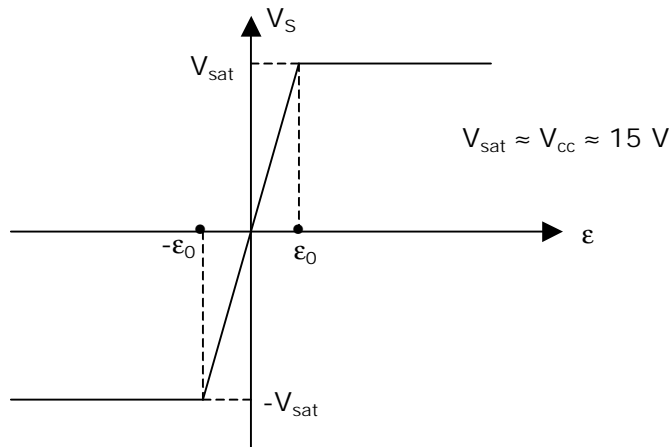
**I. Définitions :** un AO est un tripôle, considéré comme une « boîte noire », comportant deux entrées  $E^+$  et  $E^-$ , et une sortie S.

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).

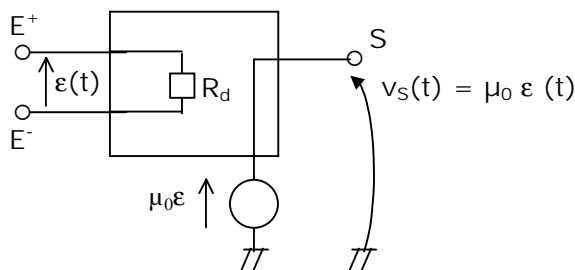
Nous n'étudierons dans ce chapitre que l'AO en régime linéaire.

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.

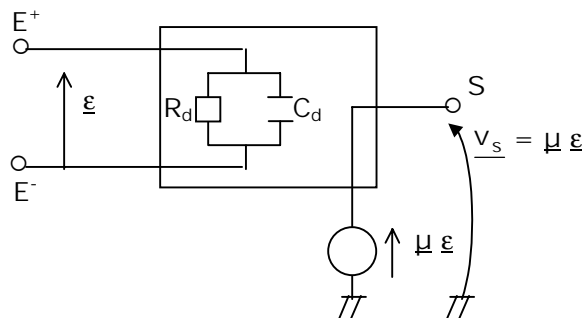
\* Régime continu ou « basses fréquences » :



$R_d \approx 1$  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<sup>er</sup> 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. :  $\underline{v}_s = \frac{\mu_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \underline{\varepsilon}$

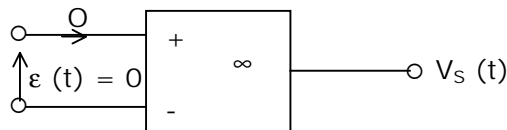
$\Leftrightarrow$   $\tau \dot{V}_s + v_s = \mu_0 \varepsilon(t)$   $\left( \tau = \frac{1}{\omega_0} \right)$

appelée équation différentielle caractéristique de l'AO.

**I.3. Cas de l'AO idéal.**

$Z_d \rightarrow \infty$

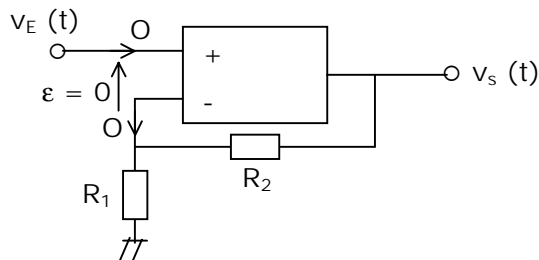
$|\underline{\mu}| \sim \mu_0 \rightarrow \infty$  :  $\underline{\varepsilon} = 0$  ( $\varepsilon^+ = \varepsilon^-$ )



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 :

\*-  $\omega_0'$  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).