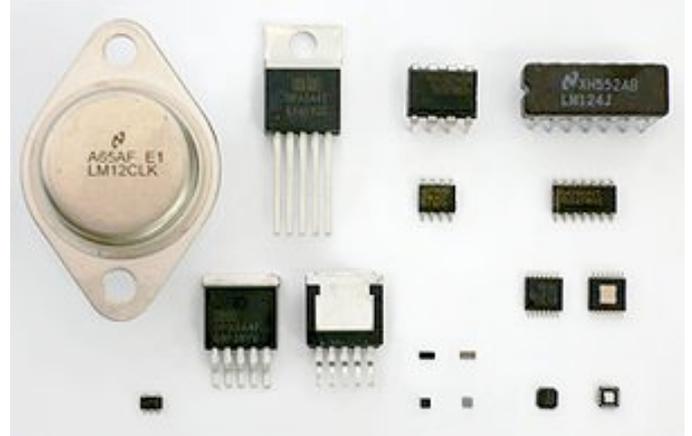


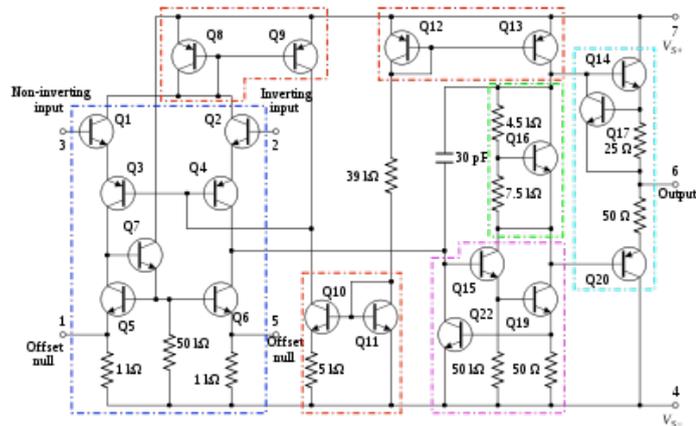
AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL EN REGIME LINEAIRE

L'amplificateur opérationnel (abréviation AO) est un circuit intégré complexe constitué de résistances, de condensateurs, de transistors etc...



Différents Amplificateurs Opérationnels

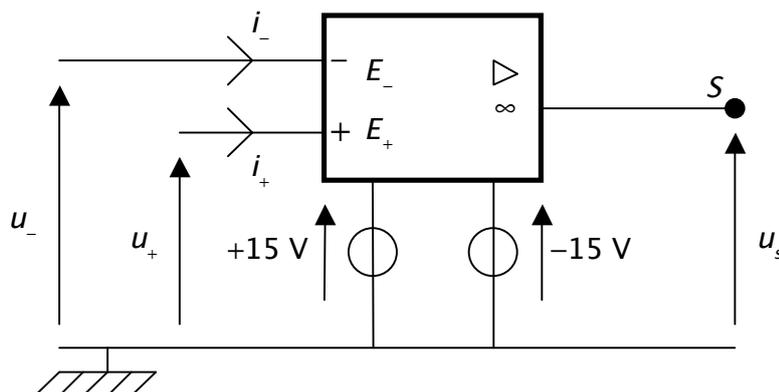
Le schéma ci-dessous correspond à la structure d'un AO type 741 (hors programme bien sûr 😊)



Pour nous, de façon beaucoup plus simple, l'AO est une « **boîte noire** » qui permet de réaliser diverses opérations mathématiques sur les signaux électriques : amplification, sommation, intégration, dérivation, comparateur...

I - DESCRIPTION DE L'AO

1.1 Les signaux électriques



a) 2 bornes d'entrée :

E_- = l'entrée inverseuse.

E_+ = l'entrée non inverseuse.

S = la borne de sortie.

b) Courants de décalage d'entrée :

$i_+(t)$ et $i_-(t)$ qui sont très faible et que l'on considérera en général comme nuls (voir suite sur l'AO idéal).

c) Les tensions continues d'alimentation -15 V et +15 V

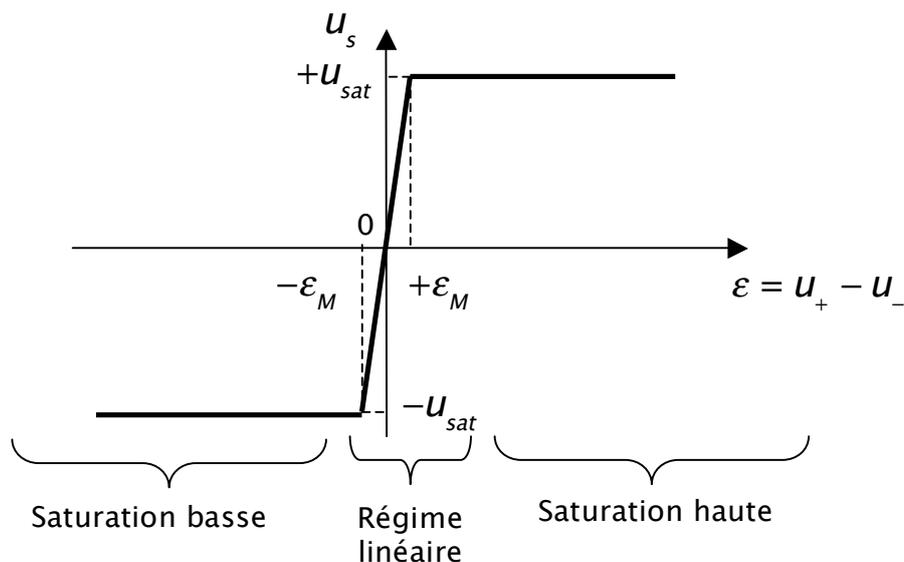
Par la suite ces tensions ne seront plus représentées sur les schémas électriques avec des AO.

d) Les tensions d'entrées et la tension de sortie

Les tensions appliquées à l'entrée sont des fonctions quelconques du temps $u_+(t)$ et $u_-(t)$. La tension de sortie $u_s(t)$ dépend des tensions d'entrée (suivant le type de montage à AO, voir la suite).

1.2 Caractéristique statique de transfert

Il existe deux types de régime de fonctionnement : le **régime de saturation** et le **régime linéaire**.

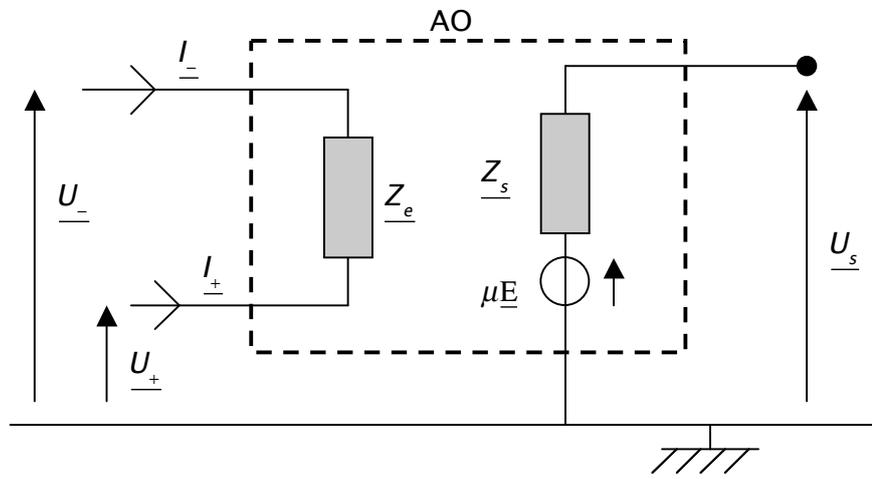


• Régime linéaire \Rightarrow $u_s = \mu(u_+ - u_-) = \mu \epsilon$
 $\mu =$ amplification différentielle $\approx 10^5$

• Régime de saturation \Rightarrow $u_s = \pm u_{sat} \approx 14 \text{ V}$

On est en régime linéaire quand $-\epsilon_M < \epsilon < +\epsilon_M$, avec $\epsilon_M = \frac{u_{sat}}{\mu} \approx 10^{-4} \text{ V}$. On constate quand régime

linéaire $\pm \epsilon_M$ sont très faibles. Dans le cas de l'AO idéal (voir suite) on prendra $\pm \epsilon_M \approx 0 \text{ V}$.



1.3 Modèle électrique équivalent en régime sinusoïdal

Z_e est l'impédance différentielle d'entrée. La sortie est équivalente à un générateur de Thévenin $(\mu \underline{E}, Z_s)$ avec \underline{E} l'amplitude complexe associée à $\varepsilon(t)$. Z_s est l'impédance de sortie.

1.4 L'AO idéal

Un AO idéal est un amplificateur différentiel de tension tel que :

- gain infini $\mu \rightarrow \infty$
- courant $i_+ = i_- = 0$
- u_s est fini, $u_s = \mu \varepsilon$ donc $\varepsilon = 0$

Ces trois résultats sont indispensables pour faire les exercices.

En terme de modèle équivalent, ces trois résultats impliquent que $|Z_e| = \infty$ et $|Z_s| = 0$. La bande passante (voir cours sur les fonctions de transfert) est infinie $[0, +\infty[$.

Si de plus $|u_s| < u_{sat}$; l'AO idéal fonctionne en régime linéaire (très souvent le cas en PTSI mais pas toujours).

Valeur typique des caractéristiques d'un AO		
Caractéristiques	Valeur réelle	Valeur idéale
Gain μ	10^5 à 10^8	∞
Impédance de sortie $ Z_s $	10 à 100 Ω	0 Ω
Impédance d'entrée $ Z_e $	10^5 à 10^{13} Ω	∞ Ω

II - MONTAGES USUELS A AO IDEAL

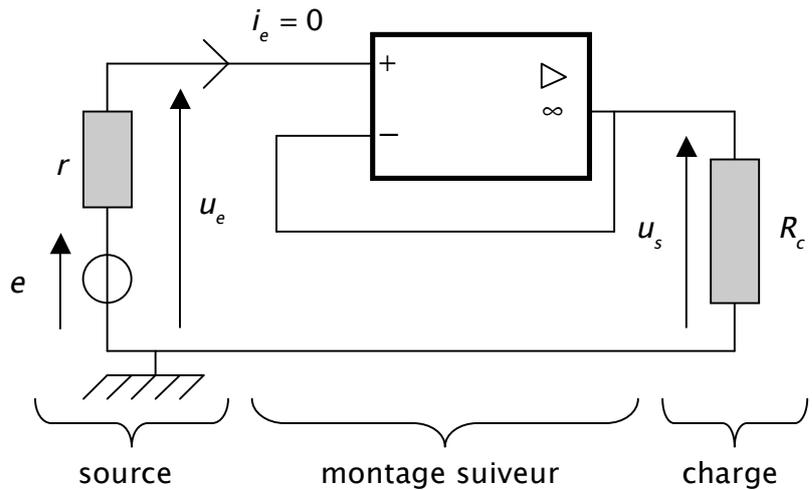
Les calculs qui suivent sont valables pour n'importe quel régime temporel, pas uniquement sinusoïdal.

2.1 Suiveur de tension

$$i_e = i_+ = 0 \quad u_e = u_+ = u_- = u_s$$

$$u_e = e - ri = e \quad u_s = u_e = e$$

$$\Rightarrow \frac{u_s}{u_e} = \frac{u_s}{e} = 1$$

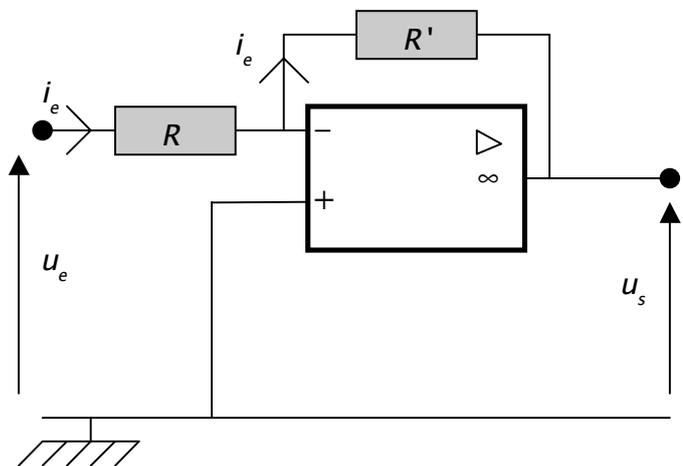


2.2 Amplificateur de tension

$$u_+ = u_- = 0 \quad u_e = Ri_e \quad u_s = -R'i_e$$

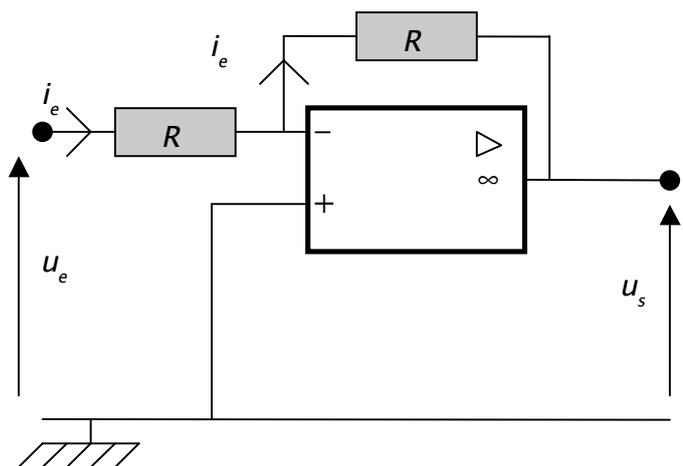
$$\Rightarrow \frac{u_s}{u_e} = -\frac{R'}{R}$$

On a un gain de $-R'/R$.



2.3 Changeur de signe

$$R = R' \Rightarrow u_s = -u_e$$

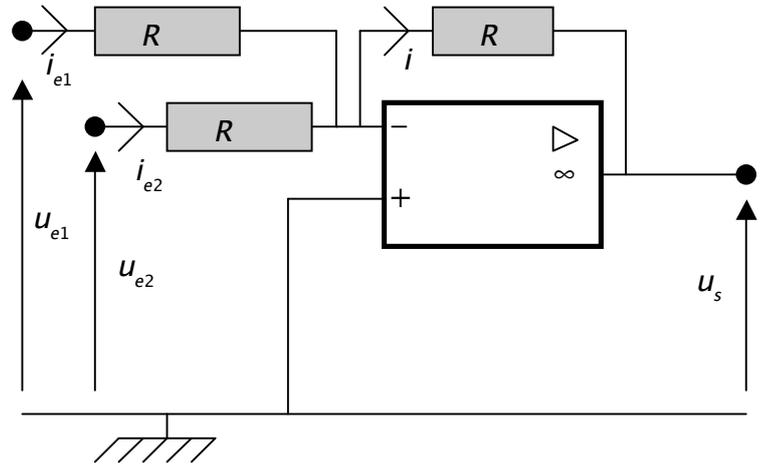


2.4 Sommateur de tensions

$$u_+ = u_- = 0 \quad u_s = -Ri \quad u_{e1} = Ri_{e1}$$

$$u_{e2} = Ri_{e2} \quad i = i_{e1} + i_{e2}$$

$$\Rightarrow u_s = -(u_{e1} + u_{e2})$$



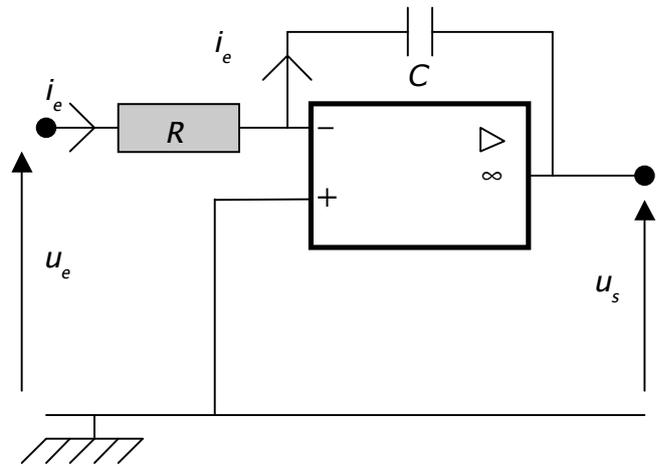
2.5 Intégrateur simple

$$u_e = Ri_e \quad i_e = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt},$$

$$u_s = -u_C \quad \text{à } t=0 \quad u_s(0) = 0,$$

$$\text{condensateur déchargé} \quad i_e = \frac{u_e}{R} = -C \frac{du_s}{dt},$$

$$\Rightarrow u_s(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_e(t) dt$$



2.6 Dérivateur simple

On permute R et C dans le montage intégrateur.

$$i_e = C \frac{du_e}{dt} = -\frac{u_s}{R},$$

$$\Rightarrow u_s(t) = -RC \frac{du_e}{dt}$$

