

# Signaux Physiques

---

## CHAPITRE 7

# Notions sur l'Amplificateur Opérationnel

Dr N'CHO Janvier Sylvestre

# Introduction

---

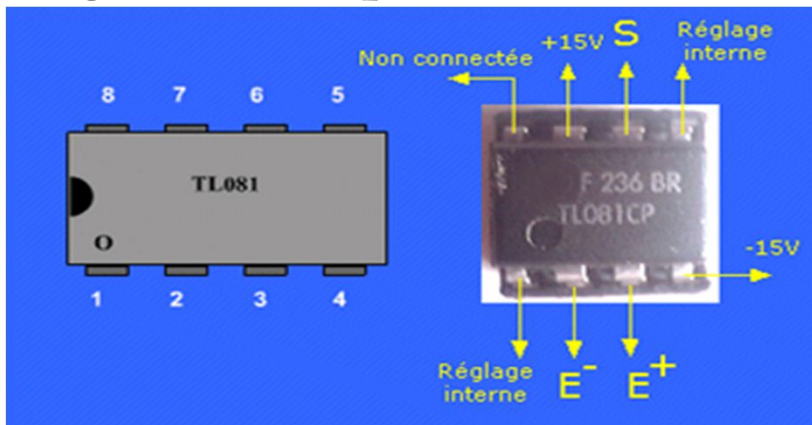
L'Amplificateur Opérationnel (abréviation AO) est un circuit intégré complexe constitué de résistances, de condensateurs, de transistors etc...

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...

Il peut aussi adapter des résistances pour les besoins d'un circuit.

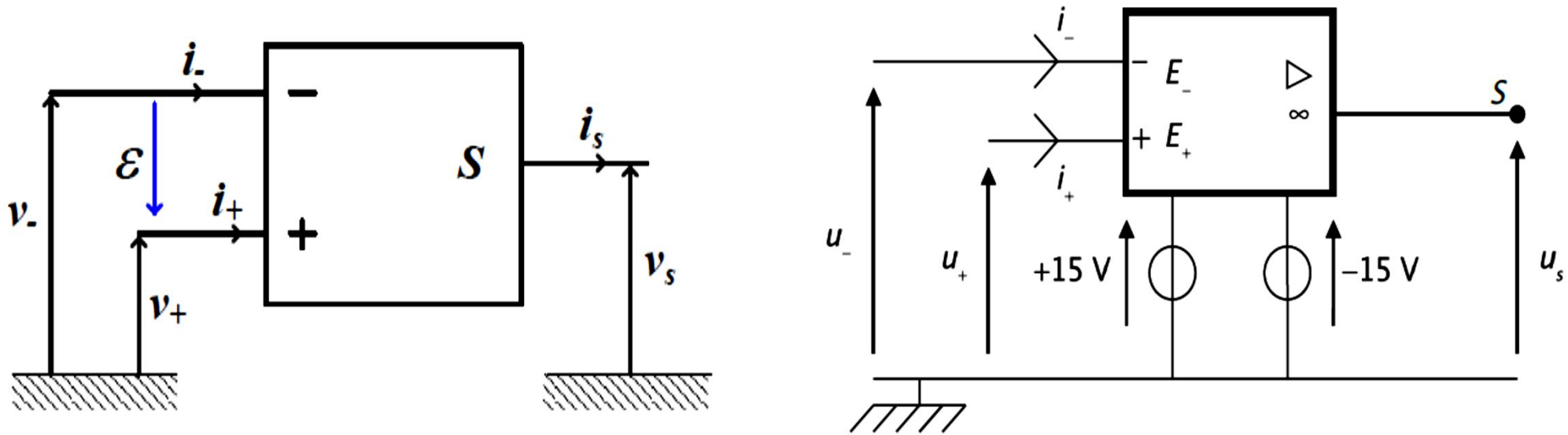
# Présentation de l'AO (1)

L'amplificateur opérationnel est un composant à 8 bornes. La borne 8 n'est pas connectée. Les bornes 1 et 5 ne sont pas à connaître, elles servent à un réglage interne. L'amplificateur opérationnel doit être polarisé grâce à un générateur de tension symétrique  $-15\text{ V}$ ,  $+15\text{ V}$  ou ordinaire  $0\text{ V}/4,5\text{ V}$ . On utilise pour cela les bornes 4 et 7. **C'est la première chose à brancher. La dernière chose à faire est de déconnecter ce générateur.** Ce générateur n'est pas représenté dans les schémas des montages électriques.



- ✓  $E^-$  : entrée inverseuse (borne 2)
- ✓  $E^+$  : entrée non inverseuse (borne 3)
- ✓ Une borne S appelée sortie (borne 6).

# Présentation de l'A.O (2)

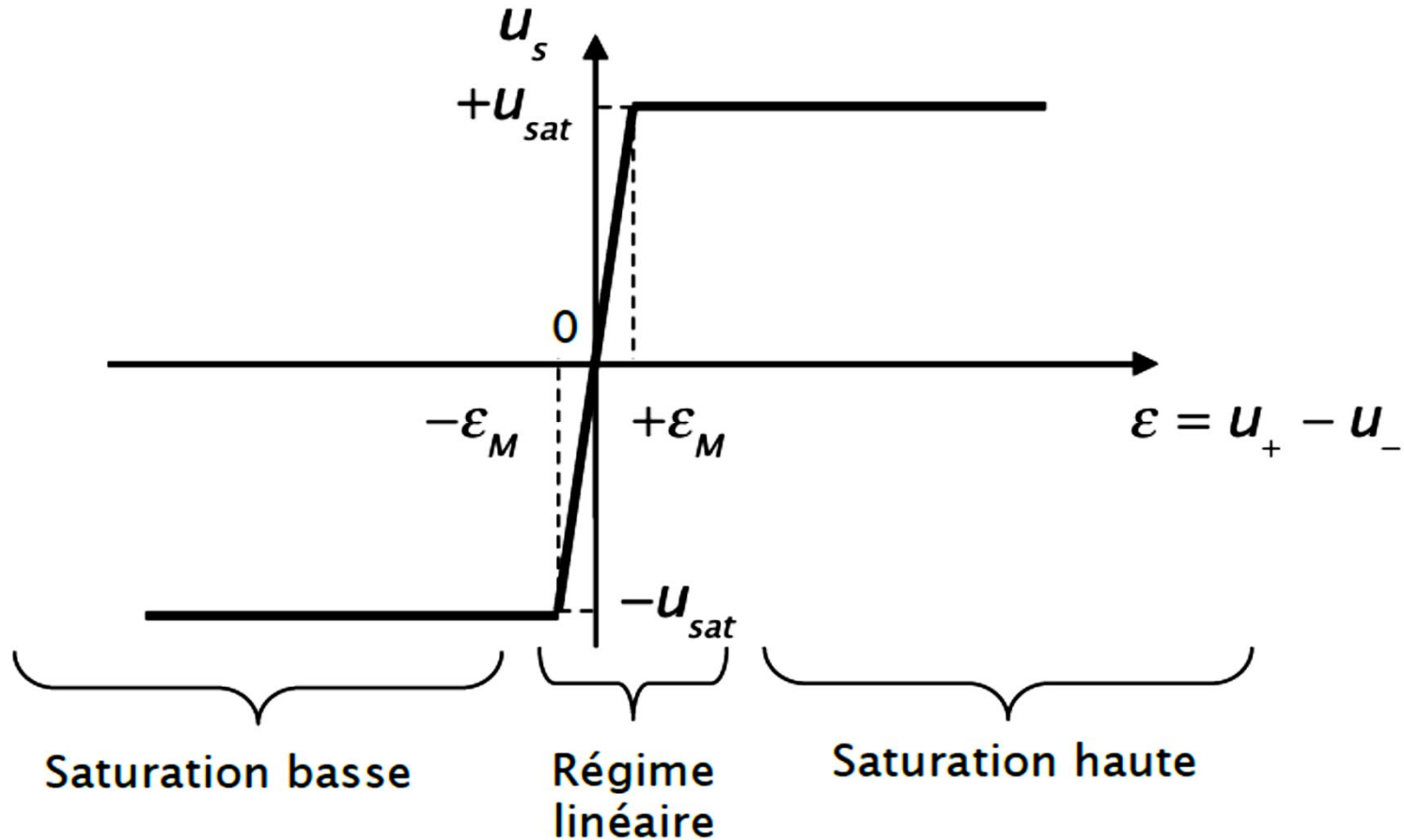


- ❑ Borne  $-$  : entrée inverseuse, Potentiel  $v_-$ , intensité  $i_-$ .
- ❑ Borne  $+$  : entrée non inverseuse, Potentiel  $v_+$ , intensité  $i_+$ .
- ❑ Borne  $S$  : sortie. Potentiel  $v_s$ , intensité  $i_s$ .
- ❑  $\varepsilon = v_+ - v_-$  : c'est la tension différentielle d'entrée

L'amplificateur Opérationnel est donc un composant actif avec 3 bornes de sortie délivrant les tensions  $-V_{CC}$ ;  $0$ ;  $+V_{CC}$ .

# Caractéristique statique de transfert (1)

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



# Caractéristique statique de transfert (2)

- Régime linéaire  $\Rightarrow$

$$u_s = \mu(u_+ - u_-) = \mu \varepsilon$$

$$\mu = \text{amplification différentielle} \approx 10^5$$

- Régime de saturation  $\Rightarrow$

$$u_s = \pm u_{sat} \approx 14 \text{ V}$$

On est en régime linéaire quand  $-\varepsilon_M < \varepsilon < +\varepsilon_M$  avec  $\varepsilon_M = \mu_{sat}/\mu \approx 10^{-4} \text{ V}$ . On constate qu'en régime linéaire  $\pm \varepsilon_M$  sont très faibles.

# AO idéal (1)

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

# AO idéal (2)

Valeur typique des caractéristiques d'un AO

Caractéristiques	Valeur réelle	Valeur idéale
Gain $\mu$	$10^5$ à $10^8$	$\infty$
Impédance de sortie $ \underline{Z}_s $	10 à 100 $\Omega$	0 $\Omega$
Impédance d'entrée $ \underline{Z}_e $	$10^5$ à $10^{13}$ $\Omega$	$\infty$ $\Omega$

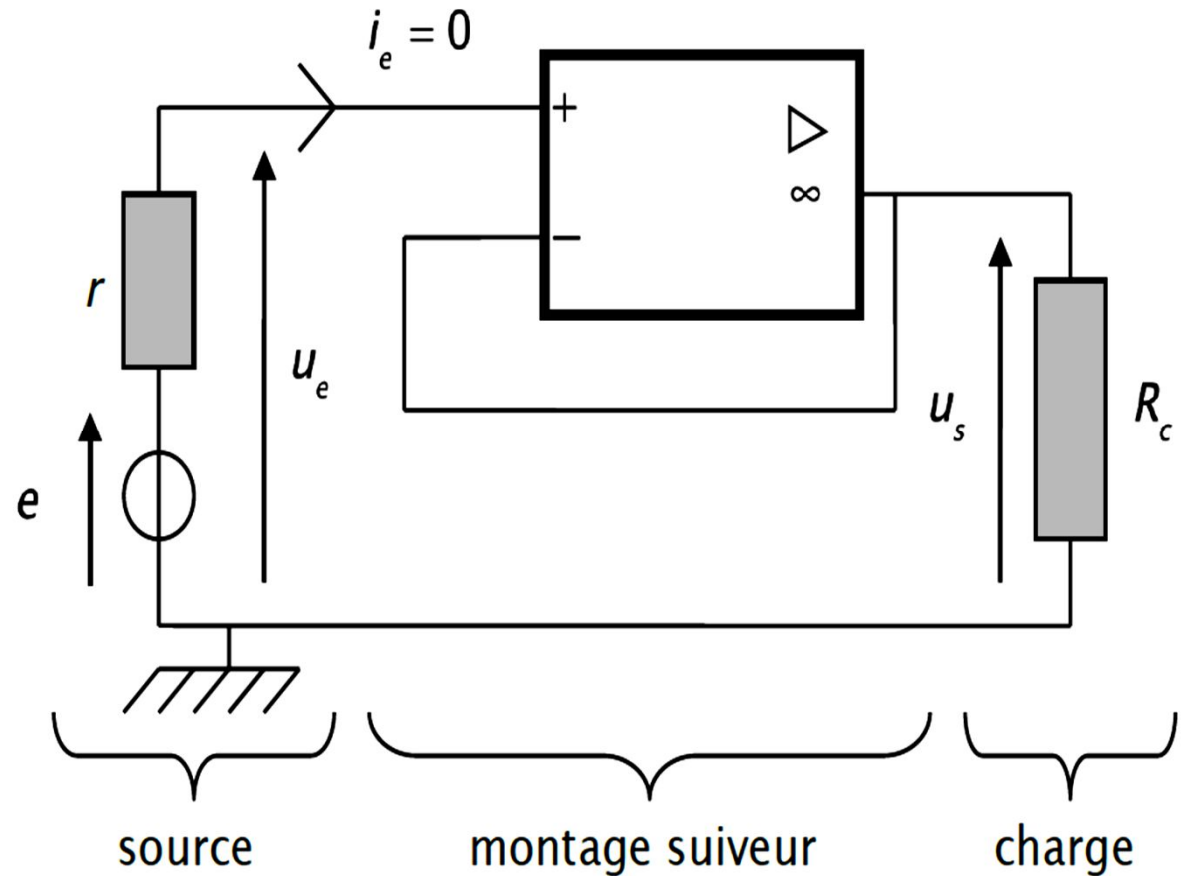


# Montages usuels à AO idéal (1)

## □ Suiveur de tension

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

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



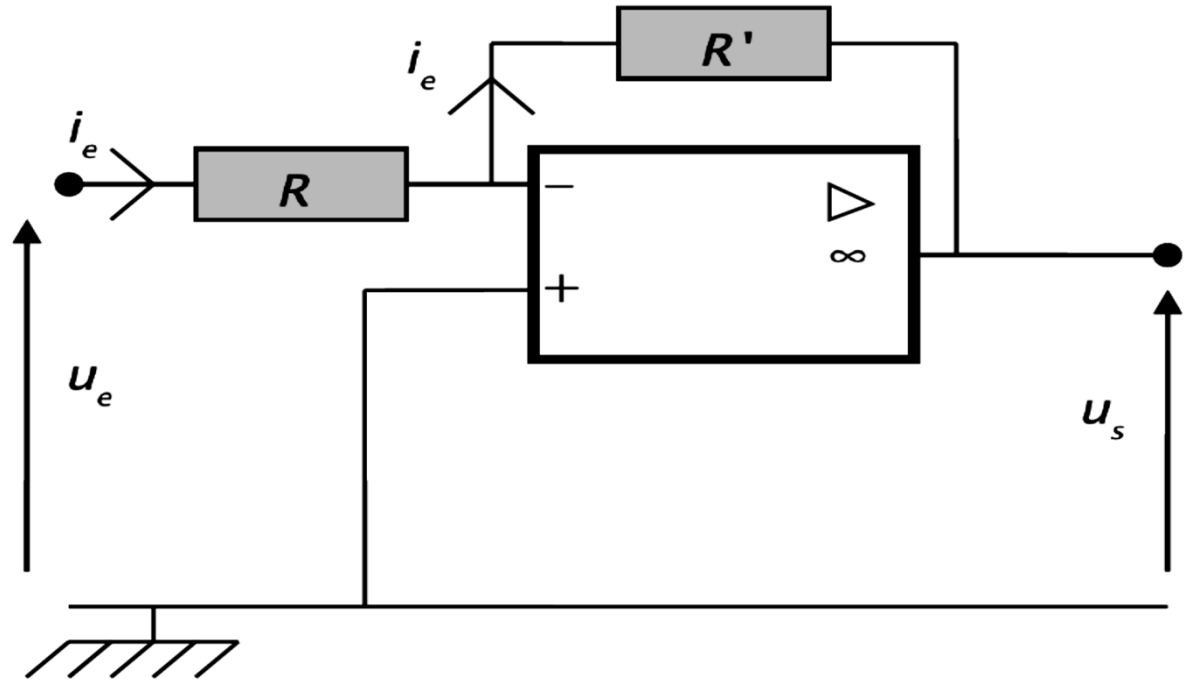
# Montages usuels à AO idéal (2)

## □ Amplificateur de tension

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

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

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



## □ Changeur de signe

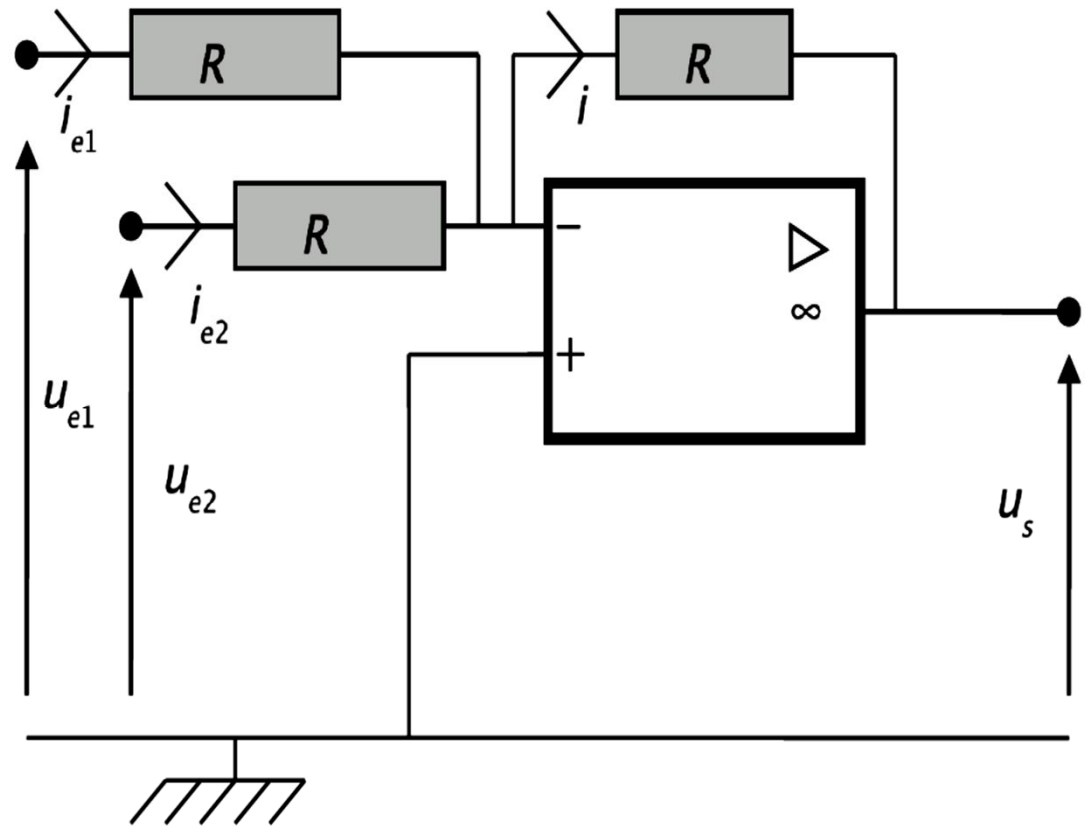
$$R = R' \Rightarrow \boxed{u_s = -u_e}$$

# Montages usuels à AO idéal (3)

## □ Sommateur de tensions

$$\begin{aligned} u_+ = u_- = 0 \quad u_s = -Ri \quad u_{e1} = Ri_{e1} \\ u_{e2} = Ri_{e2} \quad i = i_{e1} + i_{e2} \end{aligned}$$

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



# Montages usuels à AO idéal (4)

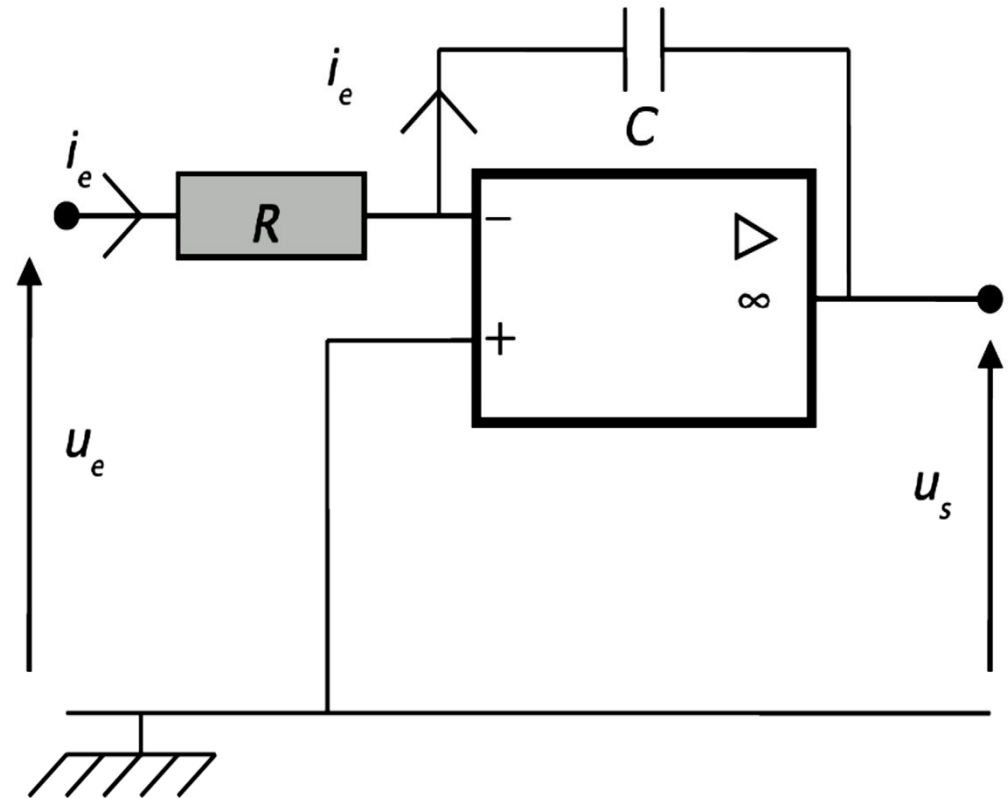
## □ Intégrateur simple

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

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

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

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



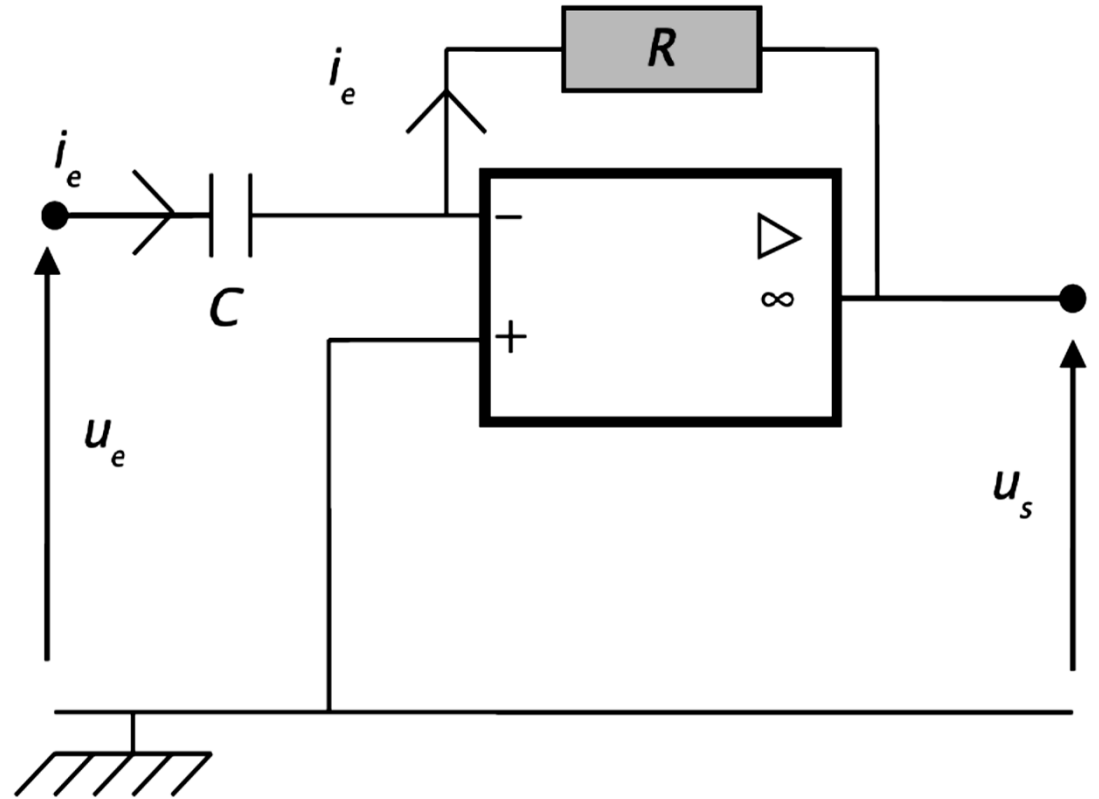
# Montages usuels à AO idéal (5)

## □ Dérivateur simple

On permute  $R$  et  $C$  dans le montage intégrateur.

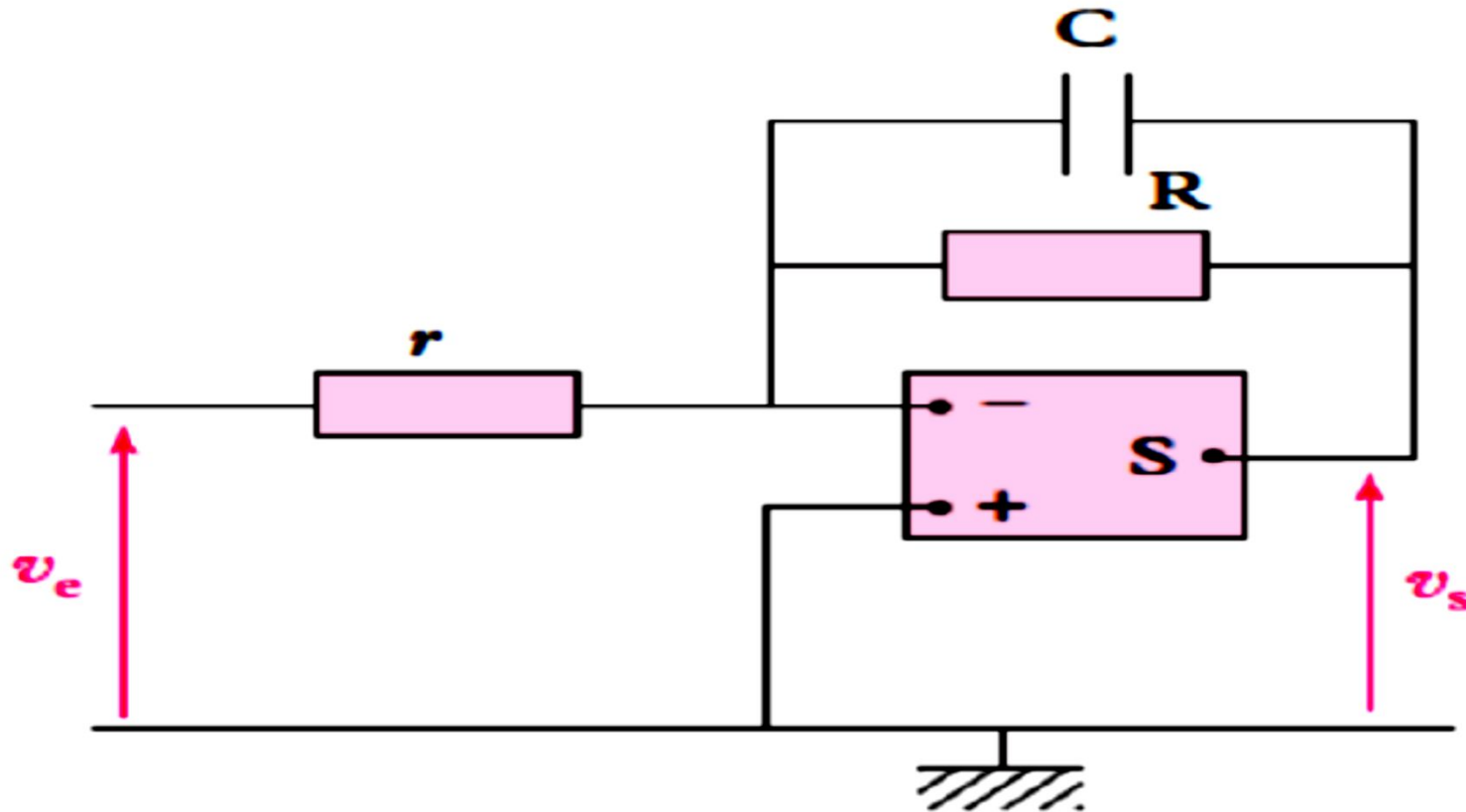
$$i_e = C \frac{du_e}{dt} = -\frac{u_s}{R},$$

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



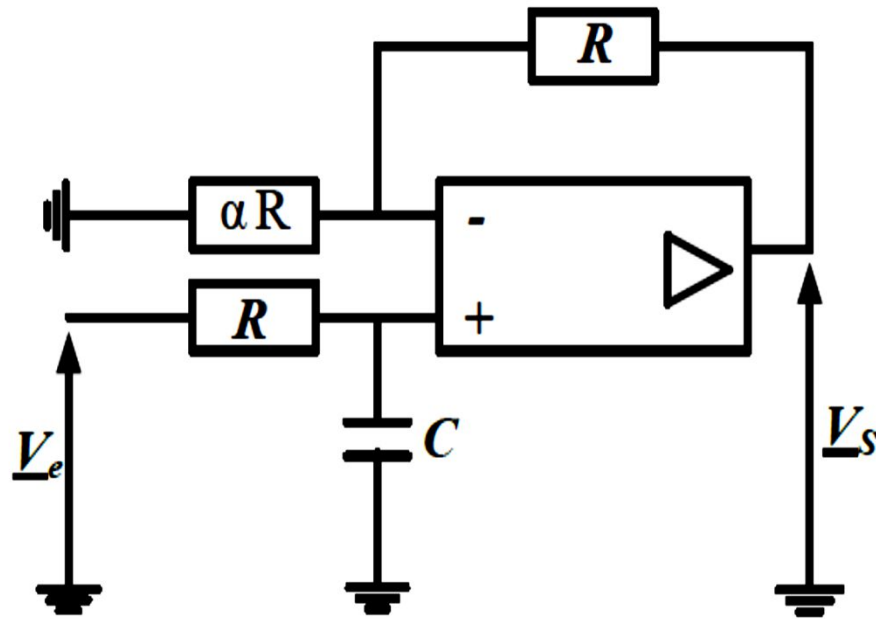
# Exercices d'application (1)

Déterminer la fonction de transfert du montage suivant.  
L'amplificateur opérationnel est idéal et fonctionne en régime linéaire.



# Exercice d'applications (2)

Nous considérons le filtre ci-dessous alimenté par un générateur sinusoïdal de pulsation  $\omega$ . L'amplificateur est idéal et en mode linéaire.



1) Déterminer la nature du filtre à partir de son comportement asymptotique.

2) Exprimer la fonction de transfert en tension en fonction de  $R, C, \alpha$  et  $\omega$ , sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

Préciser  $\omega_0$  et  $H_0$ .

3) Déterminer la pulsation de coupure  $\omega_c$  à  $-3 \text{ dB}$ . En déduire la fréquence de coupure  $f_c$ .