

## Chapitre 5

# Les amplificateurs opérationnels

### V.1. Définition

Un amplificateur opérationnel (ampli-op) ou (AOP) est un amplificateur électronique qui amplifie fortement une différence de potentiel électrique présente à ses entrées. Ils ont été conçus pour faire des opérations mathématiques de base comme l'addition, la soustraction, l'intégration etc.

Ils se présentent sous forme d'un boîtier muni de bornes de raccordement (3 bornes fonctionnelles et 2 bornes d'alimentations) essentiellement composé par des (résistances, des condensateurs, des transistors, des diodes...)

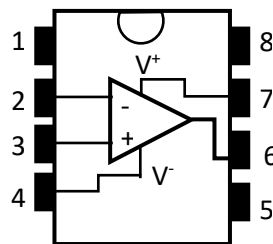


Figure 5.1 vue de dessus Ampli-op  
Dans un boîtier à 8 branches

### Symbole et description :

Pour représenter l'AOP, le symbole le plus utilisé est :

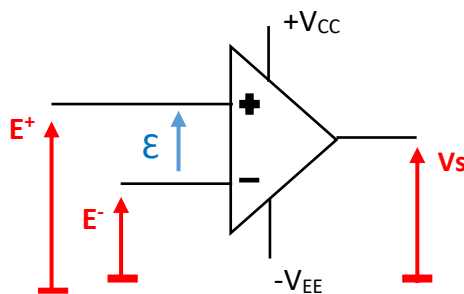


Figure 5.2 Représentation conventionnelle  
d'un Ampli-OP

Il est composé de :

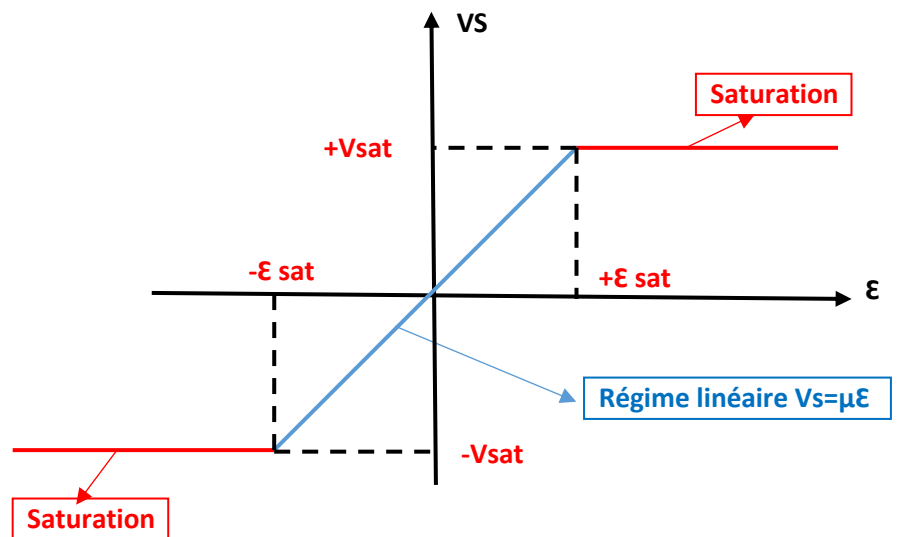
- 1- Deux alimentations continues ( $V_{CC}$  alimentation positive de 5V à 25V,  $V_{EE}$  alimentation négative de -5V à -25V)

- 2- Une entrée  $E^-$  dite inverseuse : le signe du signal obtenu à la sortie  $V_S$  est opposé à celui appliqué à cette entrée.
- 3- Une entrée  $E^+$  dite non-inverseuse : le signe du signal obtenu à la sortie  $V_S$  est le même que celui appliqué à cette entrée.
- 4-  $\epsilon = E^+ - E^-$  est la tension différentielle d'entrée

Nous pouvons grouper les différents éléments de l'Ampli-OP en 3 circuits essentiels :

- Circuit d'entrée constitué d'un amplificateur différentiel.
- Circuit intermédiaire qui est un amplificateur de tension monté en émetteur commun.
- Circuit de sortie composé d'un amplificateur de puissance avec une faible impédance de sortie.

### Caractéristiques de l'ampli-OP réel



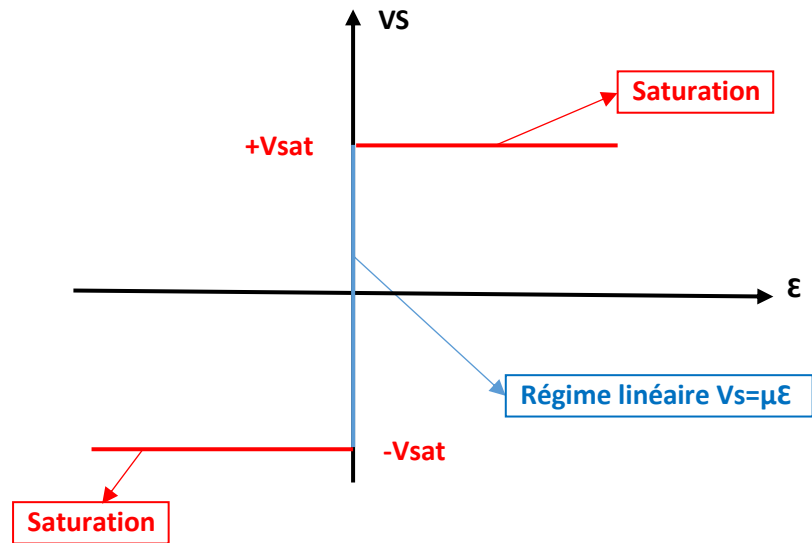
### Caractéristiques de l'ampli-OP idéal

Un ampli-OP parfait ou idéal est caractérisé par les propriétés suivantes :

- Une impédance d'entrée de l'ampli-OP infinie ( $i^+ = i^- = 0$ ).
- Une impédance de sortie de l'ampli-OP nulle.
- Un gain en tension infini.
- Une bande passante infinie.

- a) Régime linéaire :  $\epsilon = 0$  ;  $V_S = f(E^+, E^-, \dots)$
- b) Régime non linéaire (régime de saturation) :

$$\begin{aligned} \varepsilon > 0 &\rightarrow V_s = +V_{sat} ; \\ \varepsilon < 0 &\rightarrow V_s = -V_{sat} . \end{aligned}$$



### Fonctionnement sans réaction (boucle ouverte)

Un ampli-OP en boucle ouverte est un comparateur qui fonctionne en régime **non linéaire**.

Exemple : Comparateur en boucle ouverte

$$\varepsilon = V^+ - V^- ; V^+ = V_e ; V^- = V_{ref} ; \text{ donc } \varepsilon = V_e - V_{ref}$$

Si  $V_e > V_{ref}$  ; donc  $\varepsilon > 0$  ; alors  $V_s = +V_{sat}$

Si  $V_e < V_{ref}$  ; donc  $\varepsilon < 0$  ; alors  $V_s = -V_{sat}$

C'est un montage qui fonctionne en **commutation**

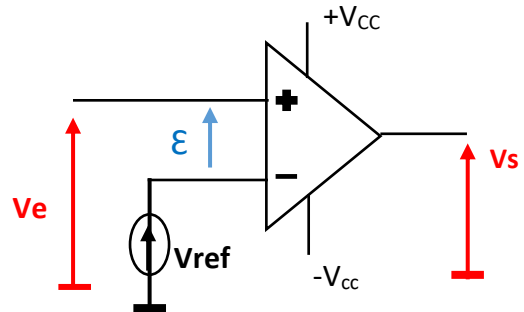


Figure 5.2 Ampli-OP comparateur

### Fonctionnement avec réaction (boucle fermée)

- Si  $V_s$  est lié à l'entrée  $E^+$  l'ampli-OP fonctionne en régime non linéaire (saturation)
- Si  $V_s$  est lié à l'entrée  $E^-$  l'ampli-OP fonctionne en régime linéaire (amplification)

### Fonctionnement avec réaction positive

La réaction est positive si l'ampli-OP est bouclé de la sortie vers l'entrée non inverseuse ( $E^+$ )

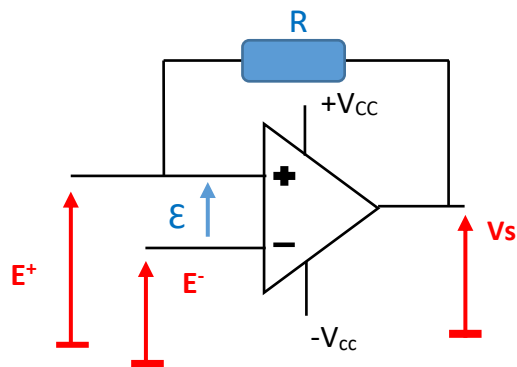


Figure 5.2 Ampli-OP en BF (réaction positive)

## Fonctionnement linéaire avec réaction négative

La réaction est négative si l'ampli-OP est bouclé de la sortie vers l'entrée inverseuse ( $E^-$ ). Le régime de fonctionnement est linéaire car  $\varepsilon = 0$

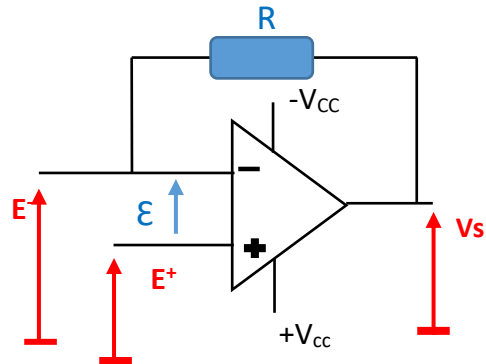


Figure 5.2 Ampli-OP en BF réaction négative

En régime linéaire, on peut avoir plusieurs montages :

### a) Montage amplificateur inverseur

L'entrée non inverseuse est reliée à la masse ; le signal d'entrée est relié à l'entrée inverseuse par une résistance  $R_1$ , et la sortie est reliée à cette entrée par une résistance  $R_2$ .

#### ❖ Le gain en tension

L'entrée  $E^+$  est reliée à la terre  $E^+=0$  ; l'amplificateur est considéré idéal. Il est en régime linéaire donc  $E^+=E^-$  ; alors  $E^-=0$ . en utilisant

le théorème de Millmann :  $E^- = \frac{\frac{V_e + V_s}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 0$  ;  $\Rightarrow \frac{V_e}{R_1} + \frac{V_s}{R_2} = 0$  ;

Alors :  $A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$  ; Le gain en tension est négatif, et sa valeur ne dépend que des deux résistances  $R_1$  et  $R_2$ ,

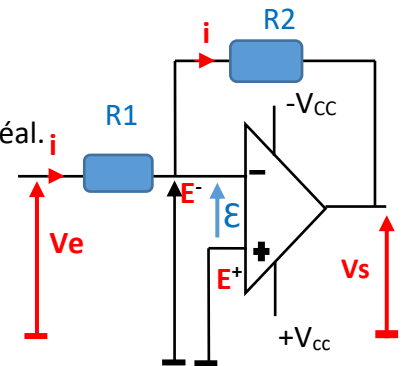


Figure 5.2 Ampli-OP en BF réaction négative

#### ❖ L'impédance d'entrée et desortie

$$Z_e = \frac{V_e}{i} = \frac{Z_1 i}{i} = Z_1$$

$$Z_s = 0$$

### b) Montage amplificateur non inverseur

#### ❖ Le gain en tension

L'entrée  $E^+$  est reliée à  $V_e$  donc  $E^+=V_e$  ; l'amplificateur est considéré idéal. Il est en régime linéaire donc  $E^+=E^-$  ; alors  $E^-=V_e$ . En utilisant le diviseur de tension :

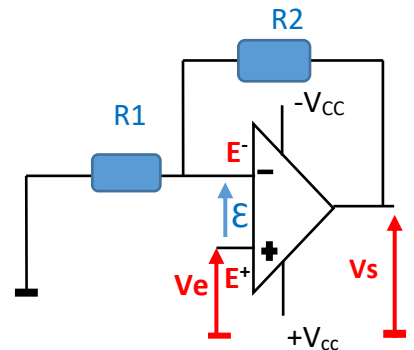


Figure 5.2 Ampli-OP en BF réaction négative

$$V_e = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_s; V_s = \frac{R_1+R_2}{R_1} V_e = 1 + \frac{R_2}{R_1} V_e$$

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}; \text{ Le gain en tension est positif, et sa valeur est supérieure à 1}$$

❖ **L'impédance d'entrée et de sortie**

$$Z_e = \frac{V_e}{i} = \frac{V_e}{0} = \infty$$

$$Z_s = 0$$