

LES AMPLIFICATEURS OPÉRATIONNELS

Objectifs du COURS :

Ce cours traitera essentiellement les points suivants :

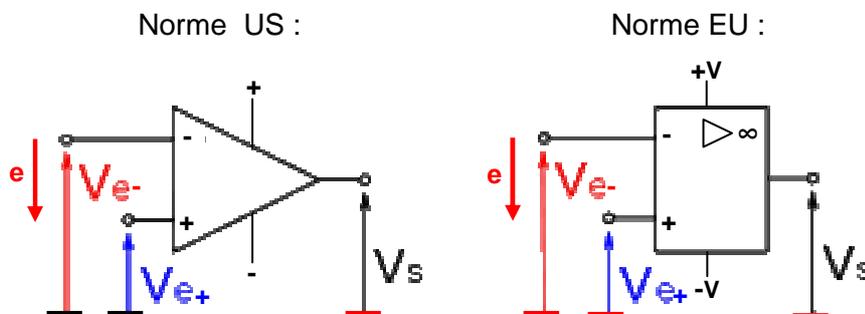
- Définitions des principales caractéristiques d'un AOP
- Notions de fonctionnement en Boucle Ouverte, Contre Réaction, Boucle Fermée
- Les différentes types d'alimentation d'un AOP
- Étude des différents montages de base
- Compléments : Déformation des signaux de sortie, notion de gain et de bande passante

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

RÔLE ET SYMBOLE D'UN AOP

Un Amplificateur Opérationnel (ou un Amplificateur Linéaire Intégré : ALI) permet d'amplifier la différence de potentiel e entre les 2 tensions d'entrées :

Les symboles normalisés utilisés pour sa représentation en schéma sont les suivants :



Remarques :

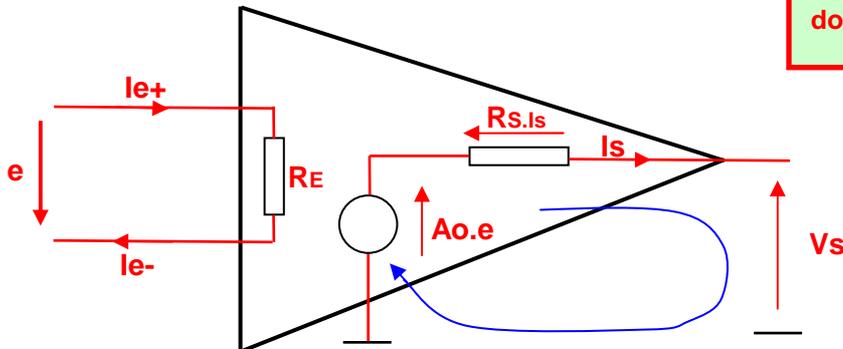
AOP signifie Amplificateur Opérationnel Parfait (on dit également amplificateur opérationnel idéal).

Ne pas confondre +V et -V qui sont les tensions d'alimentation du CI avec Ve+ et Ve- qui sont les tensions d'entrée de l'AOP.

CARACTÉRISTIQUES D'UN AOP

Soit e la tension différentielle d'entrée du montage avec : $e = V_{e+} - V_{e-}$

Schéma équivalent : (voir page suivante)



On a : $A_o \cdot e - R_S \cdot I_S - V_S = 0$
donc : $V_S = A_o \cdot e - R_S \cdot I_S$

On adopte pour un AOP dit « idéal » les caractéristiques suivantes :

R_E = Résistance d'entrée de l'AOP $\cong \infty$; $i_{e+} = i_{e-} \cong 0$

On admet alors la tension différentielle $e = R_E \cdot i_e \cong 0$

R_S = Résistance de sortie de l'AOP $\cong 0$; $R_S \cdot I_S \cong 0$

et par suite : $V_S = A_o \cdot e$

A_o est le **gain en boucle ouverte** de l'AOP. On l'admet $\cong \infty$

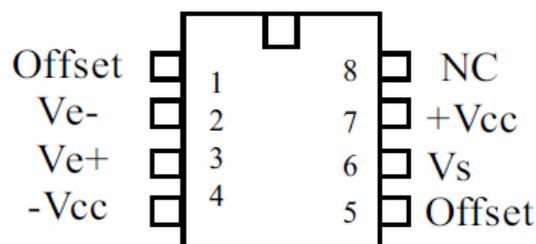
CARACTÉRISTIQUES D'UN AOP RÉEL

Les caractéristiques réelles d'un AOP données par les constructeurs sont les suivantes :

Exemple : **Circuit Intégré LM 741CN**

	MINI	TYPIQUE	MAXI
R_e	200 KΩ		2 MΩ
R_s		200 Ω	
A_o	15000		200000

Brochage du LM 741CN :



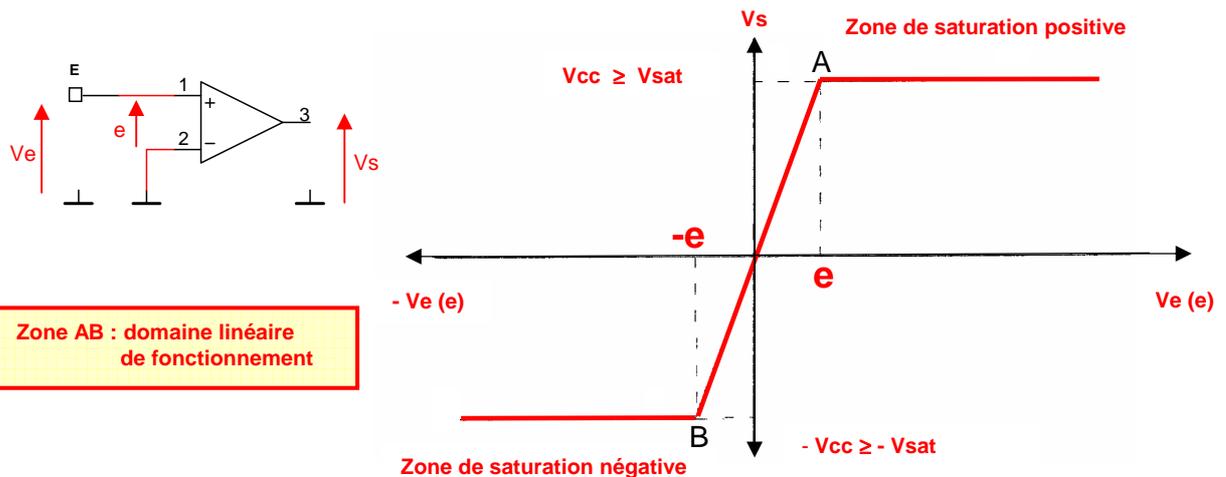
- 1 : Réglage Offset
- 2 : Entrée inverseuse
- 3 : Entrée non inverseuse
- 4 : Alimentation (-)
- 5 : Réglage Offset
- 6 : Sortie
- 7 : Alimentation (+)
- 8 : Non Connecté

NOTIONS DE BOUCLE

FONCTIONNEMENT EN BOUCLE OUVERTE (BO)

Caractéristique de transfert $V_s = f(e)$

Avec $V_s = A_o \cdot e = A_o \cdot (V_{e+} - V_{e-})$



Calculons la tension différentielle d'entrée e entraînant la saturation de la tension de sortie V_s du montage.

Prenons $V_{cc} = \pm 15$ volts et $A_o = 200\,000$

$$V_s = A_o \cdot e ; e = \frac{V_s}{A_o} = \frac{15}{200000} = 0,000075 \text{ V} = 75 \mu\text{V}$$

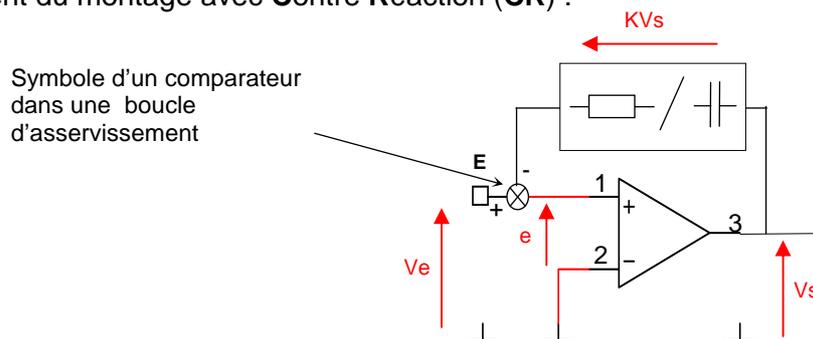
Conclusion :

Un tel montage est souvent incontrôlable (car trop sensible)

L'AOP sera toujours (ou presque*) utilisé avec une contre réaction donc en boucle fermée (*Exception : Voir montage comparateur de tension)

FONCTIONNEMENT EN BOUCLE FERMÉE (BF)

Schéma équivalent du montage avec **Contre Réaction (CR)** :



Remarques :

On réalise une contre réaction en ramenant la sortie sur une entrée. On travaille ainsi en boucle fermée.

On peut alors écrire :

$$e = V_e - KV_s$$

$$V_s = A_o.e$$

$$V_s = A_o . (V_e - KV_s) \text{ ou encore } V_s = A_o.V_e - A_o.KV_s \text{ soit } A_o.V_e = V_s + A_o.KV_s$$

$$\text{donc } A_o.V_e = V_s (1 + A_o.K) \text{ et } \frac{V_s}{V_e} = \frac{A_o}{1 + A_o.K}$$

$$\text{Si } A_o.K \gg 1 \text{ on peut écrire } \frac{V_s}{V_e} \cong \frac{1}{K}$$

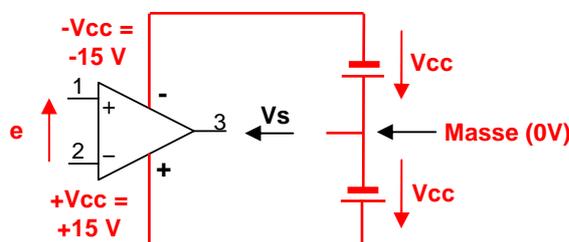
Conclusion :

On pose $\frac{V_s}{V_e} = A_v$ le gain en tension du montage.

Si $A_o.K \gg 1$ le gain A_v ne dépend plus de A_o mais uniquement du facteur K qui est souvent un rapport de résistance donc parfaitement contrôlable.

DIFFÉRENTS TYPES D'ALIMENTATION D'UN AOP

Elle va dépendre de l'utilisation du montage. Elle peut-être de 2 types :

ALIMENTATION SYMÉTRIQUE

Analyse du fonctionnement :

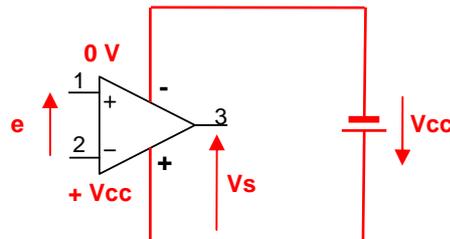
Si $e > 0$ on a $V_s + V_{sat} \cong +V_{cc}$

Si $e < 0$ on a $V_s - V_{sat} \cong -V_{cc}$

Si $e = 0$ on a $V_s \cong 0$ mais non nulle (Elle peut-être > 0 ou < 0 et même $= V_{sat}$ en BO)

Conclusion :

Ce type d'alimentation sera utilisé si la sortie doit évoluer en valeur positive et négative (par exemple lors de l'amplification d'un signal alternatif).

ALIMENTATION ASYMÉTRIQUE

Analyse du fonctionnement :

Si $e > 0$ on a $V_s + V_{sat} \cong +V_{cc}$

Si $e < 0$ on a $V_s = 0$

Si $e = 0$ on a $V_s \cong 0$ mais non nulle (Elle ne peut-être que > 0)

Conclusion :

Dans ce cas la sortie ne peut évoluer qu'entre 0 V et $+V_{sat} = V_{cc}$

Ce type d'alimentation est en général réservé à la commande TOR (Tout Ou Rien) ou à l'amplification de tension continue positive (zone linéaire de fonctionnement)

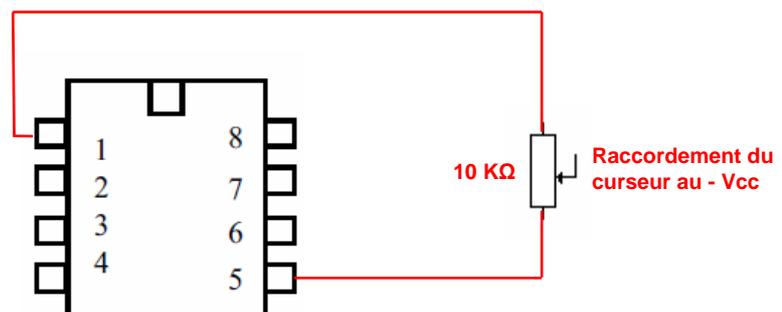
Remarques :

Tension d'offset :

C'est une tension de décalage de la sortie due à la constitution interne de l'AOP.

Réglage de la tension d'offset :

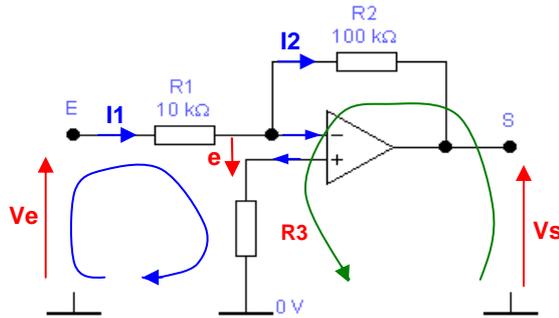
Il permet grâce à un potentiomètre monté comme ci-dessous de régler $V_s = 0$ si $e = 0$ (ajustement du zéro en sortie).



ÉTUDE DES DIFFÉRENTS MONTAGES

MONTAGE AMPLIFICATEUR INVERSEUR

Soit le montage ci-dessous : (*régime linéaire*)



REM : en général on adopte pour la valeur de R3 :

$$R3 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

Analyse du montage :

Hypothèses de départ : on admet l'AOP idéal $R_E \cong \infty$ donc $i_{e+} = i_{e-} \cong 0$ et $e \cong 0$

Maille d'entrée en bleu : $V_e - R1 \cdot I_1 + e - R3 \cdot i_{e+} = 0$ (mais $e \cong 0$ et $R3 \cdot i_{e+} \cong 0$)
donc $V_e = R1 \cdot I_1$

Maille de sortie en vert : $V_s + R2 \cdot I_2 + e - R3 \cdot i_{e+} = 0$ (mais $e \cong 0$ et $R3 \cdot i_{e+} \cong 0$)
donc $V_s = -R2 \cdot I_2$

Écrivons $A_v = \frac{V_s}{V_e}$ donc $A_v = \frac{-R2 \cdot I_2}{R1 \cdot I_1}$ (mais $I_1 = I_2$ car $i_{e-} \cong 0$)

donc $A_v = \frac{-R2}{R1}$

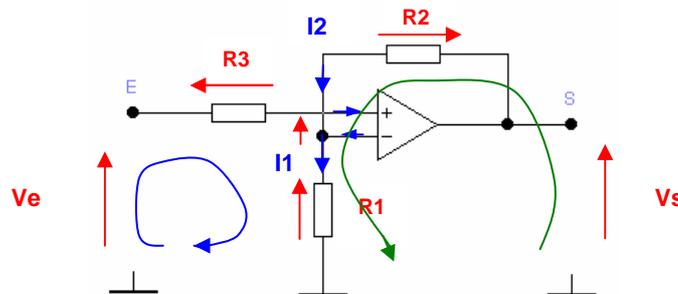
Conclusion :

On peut encore écrire : $V_s = \frac{-R2}{R1} \times V_e$ ou $V_s = A_v \times V_e$

Le signal de sortie est donc au gain près l'inverse du signal d'entrée.

MONTAGE AMPLIFICATEUR NON INVERSEUR

Soit le montage ci-dessous : (régime linéaire)



Analyse du montage :

On a toujours : $i_{e+} = i_{e-} \cong 0$ et $e \cong 0$

De plus $i_1 = i_2$ car $i_{e-} \cong 0$

Maille d'entrée en bleu : $V_e - R_3 \cdot i_{e+} - e - R_1 \cdot i_1 = 0$ (mais $e \cong 0$ et $R_3 \cdot i_{e+} \cong 0$)
donc $V_e = R_1 \cdot i_1$

Maille de sortie en vert : $V_s - R_2 \cdot i_2 - R_1 \cdot i_1 = 0$
donc $V_s = (R_1 + R_2) \cdot i_1 = (R_1 + R_2) \cdot i_2$

d'où le gain $A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

Conclusion :

Si $\frac{R_2}{R_1} \gg 1$ on retrouve $A_v = \frac{R_2}{R_1}$

et $V_s = \frac{R_2}{R_1} \times V_e$

Cas particulier :

Si $R_2 = 0$ on a $A_v = 1$

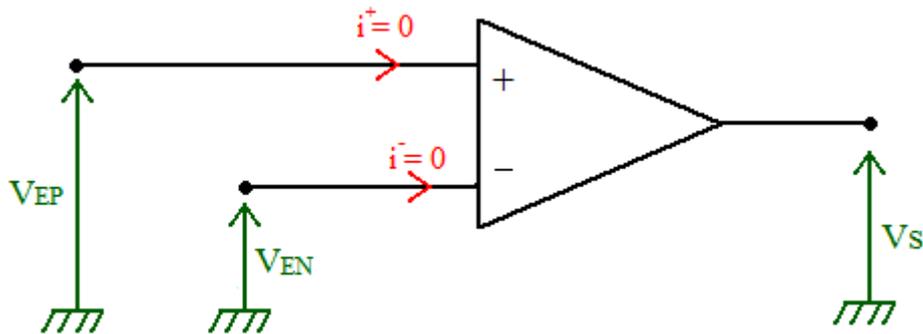
On a donc $V_s = V_e$ (C'est un montage suiveur de tension)

Son rôle est d'adapter les impédances.

Entrée à très haute impédance, et sortie à très faible impédance. Montage idéal pour réaliser un adaptateur d'impédance, et particulièrement apprécié quand il s'agit de prélever un signal sur une source dont l'impédance de sortie est très élevée. Comme la contre-réaction est totale (la totalité du signal de sortie est réinjecté sur l'entrée inverseuse).

MONTAGE AMPLIFICATEUR DE DIFFÉRENCE

Soit le montage ci-dessous : comparateur de tension (*régime non linéaire*)

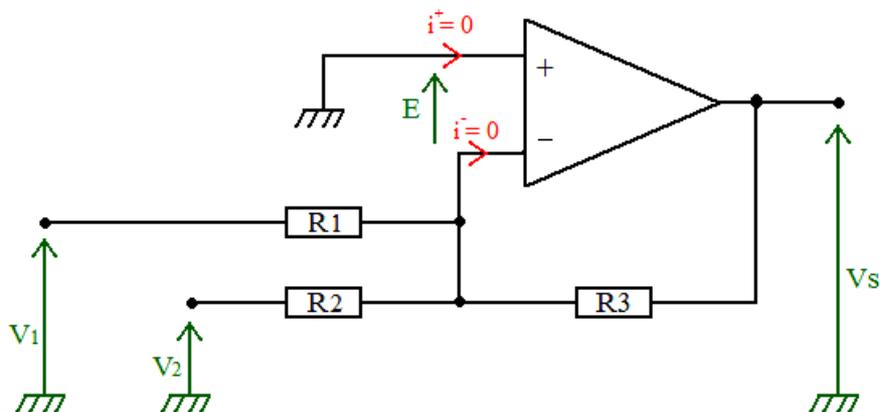
Formules :

$$V_{EP} > V_{EN} \Rightarrow V_s = V_{SATP}$$

$$V_{EP} < V_{EN} \Rightarrow V_s = V_{SATN}$$

MONTAGE ADDITIONNEUR DE TENSION

Soit le montage ci-dessous : sommateur de tension (*régime linéaire*)

Formule :

$$V_s = -R_3 \times \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

Remarque :

$$\text{Si } R_1=R_2=R_3 \text{ alors } V_s = -(V_1+V_2)$$

COMPLÉMENTS SUR L'AOP

FRÉQUENCE MAXI DE FONCTIONNEMENT

Il existe une vitesse maxi de croissance de V_s (due aux capacités internes de l'AOP). Cette vitesse va donc imposer une vitesse maxi (donc une fréquence maxi) de la tension V_e .

Dans le cas d'une tension sinusoïdale, la vitesse est $\frac{dV_e}{dt}$ maxi et, est appelée Slew Rate (vitesse de balayage), notée S_R .

Formule :

$$F_{\max} = \frac{S_R}{2\pi \times V_e}$$

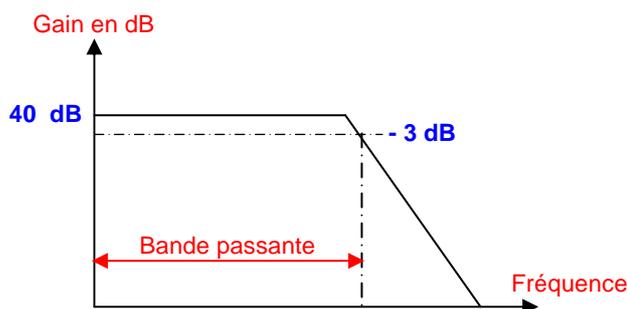
Remarque :

S_R est fixé par le gain A_v du montage. Donc pour un gain donné si on veut avoir une fréquence élevée il faut réduire V_e (et inversement).

NOTION DE GAIN ET BANDE PASSANTE

Le gain est définie par la formule :

$$G \text{ (dB)} = 20 \text{ Log } A_v = 20 \text{ Log } \frac{V_s}{V_e}$$



Avec A_v le coefficient d'amplification ;

Si $A_v = 100$ on a :

$$G \text{ (dB)} = 20 \text{ Log } 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$$

Remarques :

La bande passante est définie par la fréquence pour laquelle le gain est réduit de 3 dB. (Cette fréquence F_c est appelée fréquence de coupure).

Plus le coefficient d'amplification est élevé (donc le gain) et plus la fréquence de coupure F_c (donc la bande passante) est faible.