

Amplificateur opérationnel

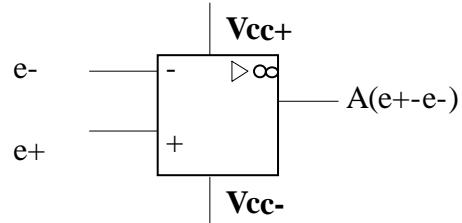
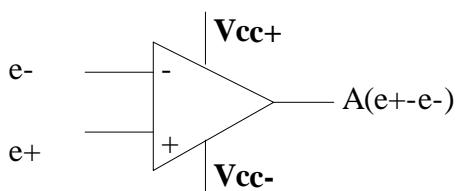
1. Présentation.....	2
1.1. Symbole – AOp idéal	2
1.2. Conditions de bon fonctionnement.....	2
2. Caractéristiques – Mode de fonctionnement :	3
2.1. Caractéristique de transfert – Fonctionnement en boucle ouverte :.....	3
2.2. Fonctionnement en régime linéaire :.....	4
2.3. Fonctionnement en réaction positive :	5
3. Caractéristiques constructeur :.....	6
3.1. Valeurs limites de fonctionnement :.....	6
3.2. Caractéristiques électriques :.....	6

1. Présentation

1.1. Symbole – AOp idéal

Le tiers environ des circuits intégrés linéaires est constitué d'amplificateurs opérationnels. Très souvent symbolisé par un triangle, parfois par un carré, l'Amplificateur Opérationnel, AOp, possède :

- deux entrées :
 - Une dite **inverseuse** : e_-
 - Une dites **non inverseuse** : e_+
- Une sortie commandée par la différence des deux entrées : $s = A (e_+ - e_-)$
- Deux entrées d'alimentation : V_{cc+} et V_{cc-} .



Symbole le plus utilisé

Autre symbole : AOP idéal

Typiquement, le gain **A** est très grand (idéalement infini) et l'AOp fonctionne pour des fréquences allant du continu (0 hz) à plusieurs Mhz (idéalement non limité en fréquence). **Les courants d'entrée sont très faibles** et souvent considérés comme nuls.

Les caractéristiques d'un AOp idéal sont :

Amplification différentielle infini : $A=\infty$.

Bande passante infinie

Résistance de sortie nulle.

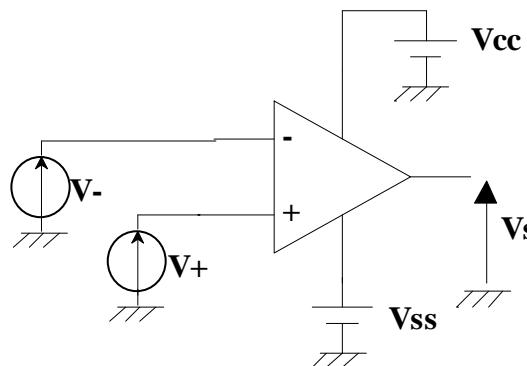
Courants d'entrée nuls $i_+ = i_- = 0$

Il existe plus de 2000 types d'amplificateur opérationnel sur le marché.

C'est un composant incontournable de l'électronique (comme le transistor).

1.2. Conditions de bon fonctionnement.

Un AOp est un circuit actif qui doit donc être alimenté par des sources de tensions extérieures.



Généralement, le fonctionnement normal est obtenu pour :

$$V_{cc} = -V_{ss} \text{ (alimentation symétrique).}$$

Et en respectant :

$$V_{ss} < V_+ < V_{cc}$$

$$V_{ss} < V_- < V_{cc}$$

Et dans ces conditions, on aura toujours :

$$V_{ss} < V_s < V_{cc}.$$

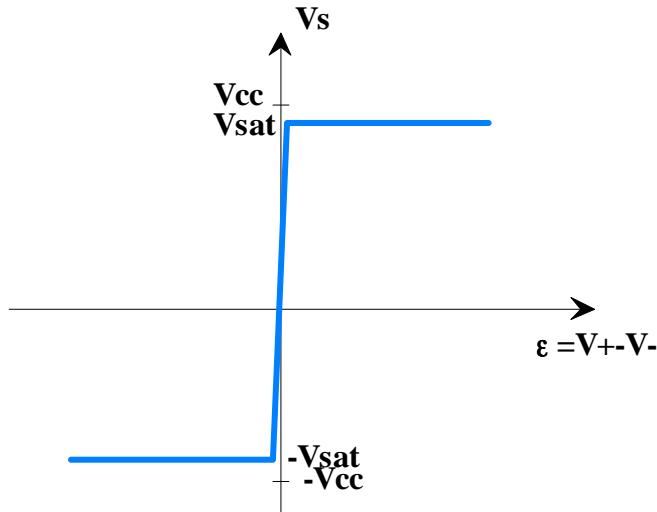
2. Caractéristiques – Mode de fonctionnement :

2.1. Caractéristique de transfert – Fonctionnement en boucle ouverte :

La fonction générale d'un Aop, comme nous l'avons déjà dit, est de fournir un signal de sortie proportionnel à la différence des entrées, avec un coefficient de proportionnalité très grand.

$$V_s = A (V_+ - V_-) \text{ avec } A \text{ très grand.}$$

Ce qui se traduit par la caractéristique de transfert suivante:



Les tensions maximum et minimum que peut prendre la sortie sont généralement notées $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$. Ces tensions sont différentes des tensions d'alimentation et plus généralement on a :

$$+V_{sat} \neq V_{cc} \quad \text{et} \quad +V_{sat} \neq -V_{cc}$$

$$-V_{sat} \neq -V_{cc}$$

Très souvent, on trouvera la notation ϵ pour définir $V_+ - V_-$:

$$\epsilon = V_+ - V_-$$

Sur cette caractéristique, on peut également remarquer que pour avoir un fonctionnement avec $-V_{sat} < V_s < +V_{sat}$ il faut travailler à ϵ très faible.

Exemple : Pour un TL081 alimenté entre +15V et -15 V, le constructeur donne :

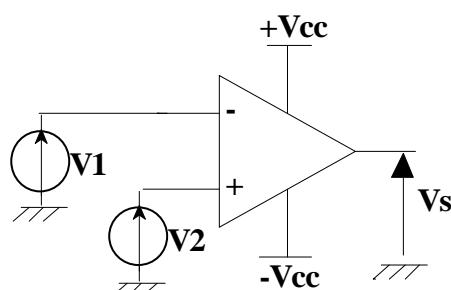
$$A = 2.10^5$$

$$+V_{sat} = |-V_{sat}| = 13.5V$$

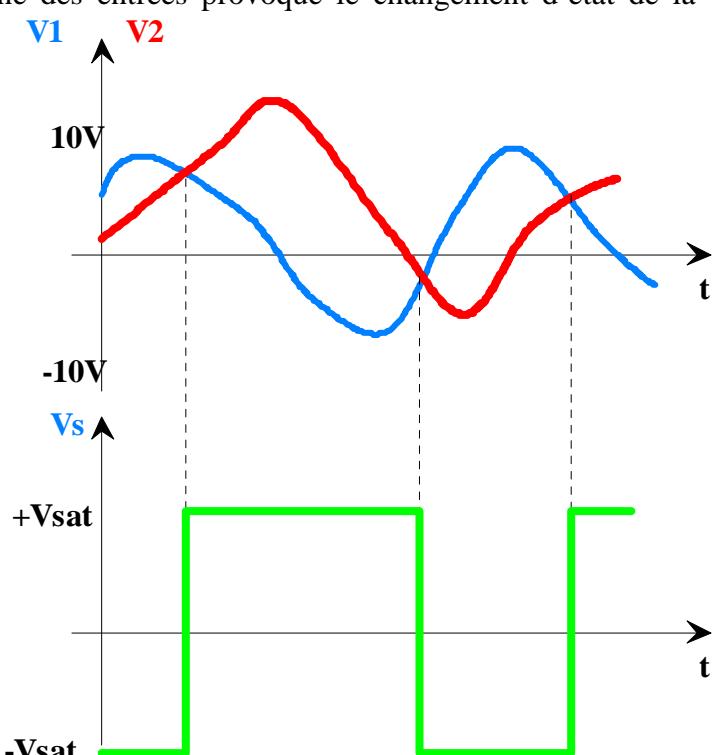
Pour travailler dans la zone de fonctionnement linéaire, il faut donc :

$$\epsilon \leq \frac{+V_{sat} - (-V_{sat})}{A} = \frac{27}{2.10^5} = 135\mu V \text{ c'est à dire}$$

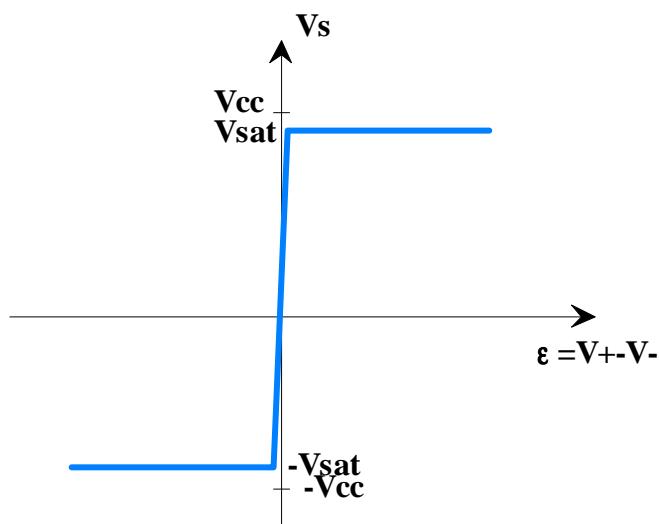
Une variation de quelques μV sur l'une des entrées provoque le changement d'état de la sortie.



L'amplificateur opérationnel utilisé seul, on dit en boucle ouverte, fonctionne donc en comparateur de tension.



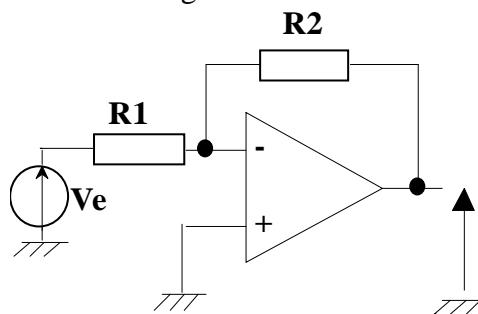
2.2. Fonctionnement en régime linéaire :



contre réaction.

Exemple :

Soit le montage suivant :



En considérant les courants d'entrée nuls, on peut écrire :

$$\begin{cases} V_- = \frac{V_e * R_2 + V_s * R_1}{R_1 + R_2} \\ V_+ = 0 \end{cases}$$

Pour V_e fixe et en supposant que $-V_{sat} < V_s < +V_{sat}$ (fonctionnement linéaire). Que se passe t'il si V_s augmente ?

Dans ces conditions V_- augmente, et par conséquent, $\epsilon = (V_+ - V_-)$ diminue ce qui se traduirait par une diminution rapide de V_s , puisque $V_s = A(V_+ - V_-)$ et que A temps vers l'infini (très grand). Mais alors $\epsilon = (V_+ - V_-)$ augmente ce qui temps à faire remonter V_s et par suite, V_s revient à chaque fois à sa position initiale. Donc pour V_e fixe, V_s est fixe. Ceci n'est possible que si $\epsilon = (V_+ - V_-) = 0$.

Dans ces conditions, puisque dans ce montage $V_+ = 0$, on obtient :

$$V_s = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_e$$

Le montage est donc un **amplificateur inverseur**.

Ce raisonnement est valable pour tous les montages possédant une réaction négative ou contre réaction et amène à la démarche d'étude suivante :

Démarche d'étude des montages à Aop avec contre réaction :

Si l'amplificateur opérationnel est utilisé en réaction négative, c'est à dire rebouclage de la sortie sur l'entrée inverseuse, alors on pose :

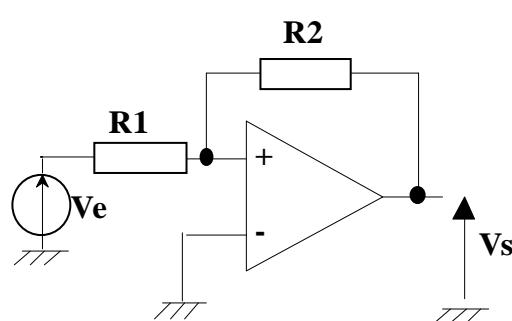
$$V_+ = V_-$$

On établit ensuite les expressions de V_+ et V_- en fonction des éléments du montage (résistances, condensateurs, etc.).

Puis on écrit $V_+ = V_-$, et on en déduit l'expression de V_s .

2.3. Fonctionnement en réaction positive :

Soit le montage suivant :



On reprend le même raisonnement que précédemment.

En considérant les courants d'entrée nul, on peut encore écrire :

$$\begin{cases} V_+ = \frac{V_e * R_2 + V_s * R_1}{R_1 + R_2} \\ V_- = 0 \end{cases}$$

Pour V_e fixe et en supposant que $-V_{sat} < V_s < +V_{sat}$ (fonctionnement linéaire). Que se passe-t-il si V_s augmente ?

Dans ces conditions V_+ augmente, et par conséquent, $\epsilon = (V_+ - V_-)$ augmente ce qui se traduit par une augmentation rapide de V_s , puisque $V_s = A(V_+ - V_-)$ et que A temps vers l'infini (très grand). Donc **le système emmène forcément la tension de sortie en saturation**, ici à $+V_{sat}$.

On retiendra donc que :

En réaction positive, la sortie de l'AOp ne peut prendre que deux états :
+ V_{sat} si $V_+ > V_-$
- V_{sat} si $V_+ < V_-$.

Dans le montage ci-dessus, on va donc chercher les valeurs de V_e pour lesquelles on a $V_s = +V_{sat}$ et celles pour lesquelles $V_s = -V_{sat}$.

On suppose $V_s = +V_{sat}$, ce qui veut dire que l'on suppose que $V_+ > V_-$, et **on cherche pour quelles valeur de V_e on passe dans la condition $V_+ < V_-$ qui provoque le changement d'état de V_s à $-V_{sat}$** . Donc :

$$\begin{cases} V_+ = \frac{V_e * R_2 + V_{sat} * R_1}{R_1 + R_2} \\ V_- = 0 \end{cases}$$

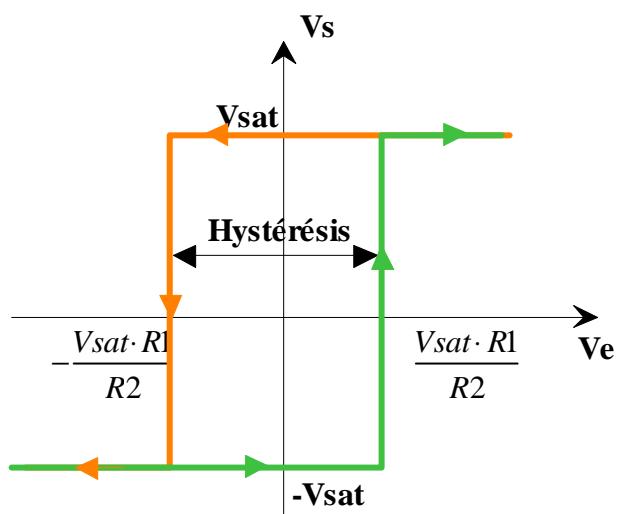
Et $V_+ < V_-$ conduit à :

$$V_e < -\frac{V_{sat} * R_1}{R_2}$$

En suivant un raisonnement identique pour le cas $V_s = -V_{sat}$, on trouve que le basculement de V_s de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ à lieu pour :

$$V_e > \frac{V_{sat} * R_1}{R_2}$$

Ce qui se résume dans la caractéristique de transfert du montage :



C'est un **COMPARATEUR À HYSTERESIS NON INVERSEUR**.

3. Caractéristiques constructeur :

3.1. Valeurs limites de fonctionnement :

Nom		Description
V_{CC+}	Supply voltage,	Tension d'alimentation positive maximum
V_{CC-}	Supply voltage,	Tension d'alimentation négative maximum
ΔV_{IM}	Differential input voltage	Tension d'entrée différentielle maximum : tension maximum pouvant exister entre les entrées inverseuse et non inverseuse. $(V+ - V-)_{MAX}$.
V_{IM}	Input voltage	Tension maximum pouvant être appliquée sur une entrée. L'amplitude sur une entrée ne devra jamais dépasser la tension d'alimentation.
P_D	Continuous total dissipation	Puissance maximum dissipée en continue.

3.2. Caractéristiques électriques :

Nom		Description
V_{IO}	Input offset Voltage	<p>Idéalement la caractéristique de transfert passe par 0. En réalité, même si on relie les 2 entrées ensemble à la masse, il existe une tension continue en sortie. Cette tension divisée par le gain A (à $f=0$) donne la valeur de la tension différentielle d'entrée.</p> <p>Cette tension provient de la non symétrie de l'étage d'entrée des AOp. Certains AOp possèdent des entrées de compensation d'offset pour corriger ce défaut.</p>
I_{IO} I_{IB}	Input Offset Current Input Bias Current	<p>Idéalement, les courants d'entrée sont nuls. Hors pour assurer la polarisation des transistors constituant les AOp, des courants très faibles existent sur les entrées $V+$ et $V-$. Ces courants sont des courants de base, pour les AOp à entrées bipolaires, et des courant de grilles pour les AOp à entrées JFET, ils sont donc plus faibles dans le deuxième cas. Le constructeur ne donne pas directement la valeur de ces courants, mais les caractérise par :</p> $I_{IO} = I^+ - I^- \text{ et } I_{IB} = \frac{I^+ + I^-}{2}$ <p>Ces courants sont nécessaires au bon fonctionnement de l'AOp.</p>
AVD	Large differential signal voltage amplification	<p>Le gain d'un AOp est idéalement infini et ne dépend pas de la fréquence.</p> <p>En réalité, il est très grand et sa valeur en continue est donnée par le constructeur par AVD. Il est généralement donné en V/mV ou en dB ($20\log AVD$ avec AVD en V/mV). Exemple, pour le TL081, $AVD = 200$ V/mV soit : 106dB.</p>

B_1 (ou F_T)	Unity Gain bandwitch (Frequency Transistion)	De plus, le gain varie en fonction de la fréquence (chute quand la fréquence augmente). Le constructeur fourni la valeur de F_T , fréquence pour laquelle le gain vaut 1. Cette caractéristique est également appelé Produit Gain Bande passante .
r_i	Input resistance	Résistance d'entrée. Supposée infinie dans le modèle idéal, c'est la résistance d'entrée différentielle (vue entre les broches + et - de l'AOp) elle est de l'ordre de $10^{12} \Omega$ en réalité. Dans certaines documentations constructeur, on trouve aussi la valeur de la résistance de mode commun r_{ic} (vue entre la broche + ou - de l'AOp est la masse) du même ordre de grandeur.
CMRR	Common mode rejection ratio	Taux de rejet en mode commun. La tension de sortie ne dépend pas que de la différence des entrées mais aussi de la moyenne des tension d'entrée (valeur commune au deux entrée, appelée tension de mode commun). On peut alors écrire : $V_s = A_{VD}(v^+ - V^-) + A_c \frac{V^+ + V^-}{2}$ <p>Ac est le gain de mode commun de l'AOp et le constructeur donne comme caractéristiques :</p> $CMMR = \left \frac{A_{VD}}{A_c} \right \quad \text{ou} \quad CMRR_{dB} = 20 \log \left(\left \frac{A_{VD}}{A_c} \right \right)$
SR	Slew rate	Le Slew Rate défini la vitesse maximum de variation de la tension de sortie de l'AOp. Il s'exprime en $V/\mu s$.
k_{SVR}	Supply voltage rejection ratio	Ce paramètre chiffre la sensibilité de la sortie de l'AOp vis-à-vis des variations de la tension d'alimentation. $k_{SVR} = 20 \log \left(\left \frac{\Delta V_{CC\pm}}{\Delta V_s} \right \right)$
I_{CC}	Supply current	Courant d'alimentation. Indique la consommation en courant par AOp dans un boîtier en comportant plusieurs. (ex : TL084 = 4 TL081 dans un seul boîtier).
r_o	Output resistance	L'AOp possède une résistance de sortie non nul pour limiter le courant en cas de court circuit de celle-ci. Elle est faible, une centaine d'ohm pour les plus mauvais. On montre que la résistance de sortie d'un montage en réaction négative est réduite par rapport à r_o .

