

# TP de Révision : L'Amplificateur Opérationnel idéal et ses limites

## Objectifs :

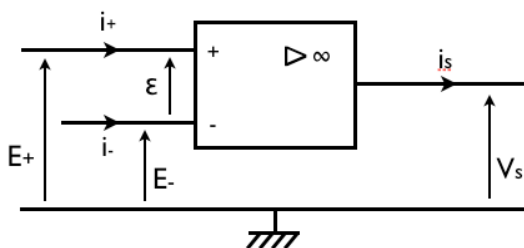
- Comprendre la mise en fonctionnement et l'utilisation de l'amplificateur opérationnel (AO).
- Etudier les régimes linéaire et non linéaire de l'AO.
- Observer les principales limitations du modèle idéal.



## Présentation de l'AO :

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré constitué d'une multitude de composants tels que les résistances, diodes, condensateurs et transistors. Présents partout en électronique, c'est devenu un composant de base des circuits.

Il permet de réaliser nombres d'opérations mathématiques ce qui n'est pas possible avec les composants simple R,L et C : addition , soustraction ,multiplication, inversion, dérivation, intégration d'un signal, il permet même de générer un signal sinusoïdal dans les alimentations



L'AO possède deux entrées et une sortie :

- E- entrée dite inverseuse
- E+ entrée non inverseuse
- S sortie.

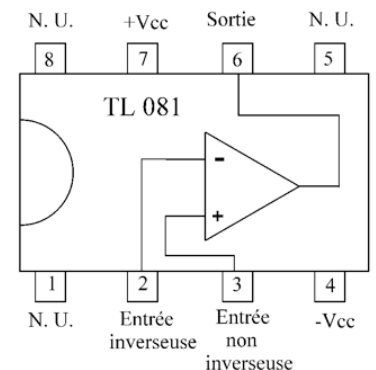
On l'utilisera sur les plaquettes d'électronique.

L'AO se présente sous la forme d'une puce à 8 pattes :

- Entrées E- et E+ en 2 et 3.
- Sortie en 6
- Alimentation continues en 4 et 7 (+/- 15 V)

Observer la puce et en particulier son sens : repérer les différentes pattes vis-à-vis du schéma.

RQ : la masse n'y apparait pas mais correspond au 0V de l'échelle définie par 4 et 7 (+/- 15 V)



telles que le GBF.

## Réalisation expérimentale :

Réaliser l'alimentation de l'AO sur une plaquette. On utilisera une source d'alimentation continue +15/-15V ; ces tensions étant définies par rapport à la masse (en noir) qui doit être commune à tous les éléments du circuit. (Elles sont sur la gauche de l'alimentation)

**ATTENTION :** Si les tensions de l'alimentation ne sont pas correctement branchées **la puce risque de sauter**. Appliquez la procédure générale suivante, et vérifier tous les branchements avant de mettre en marche l'alimentation externe et le GBF.

**ATTENTION :** Ne jamais utiliser les sorties en tension et en courant, au centre de l'alimentation.

### 🔍 Procédure générale :

- 1-Repérer la ligne de masse sur la plaquette (il y en a 2 notées A et B).
- 2-L'alimentation (- 15V, + 15V) étant à l'arrêt, connecter :
  - la borne 0 V à la ligne de masse (fil de connexion noir)
  - la borne - 15V à la borne de l'amplificateur opérationnel marquée -Vcc (fil vert)
  - la borne + 15V à la borne de l'amplificateur opérationnel marquée +Vcc (fil rouge)
- 3-Repérer les bornes E-, E+ et S de l'amplificateur opérationnel.
- 4-Réaliser le montage électrique et veiller à relier avec des  *fils noirs tous les points qui doivent être reliés à la masse*  : masse du GBF, de l'oscilloscope et de l'alimentation.
- 5-Mettre d'abord en marche l'alimentation -15V, + 15V ; sinon, l'AO peut être détériorer.
- 6-Mettre en marche le GBF branché à l'entrée du montage.
- 7-En fin de manipulation, arrêter d'abord le générateur. Eteindre ensuite l'alimentation.

### 🔍 L'amplificateur opérationnel idéal :

La structure interne de l'AO est complexe (cf annexe) mais nous allons modéliser son comportement par des lois simples, pourtant très fidèles à la réalité.

Aucun courant ne rentre dans les deux entrées de l'AO soit  $i_+ = i_- = 0$  mA, mais un courant faible  $i_s \sim$  qq. dizaines de mA peut en sortir. Nous distinguerons deux modes d'utilisation de l'AO correspondant à deux régimes de fonctionnement différents :

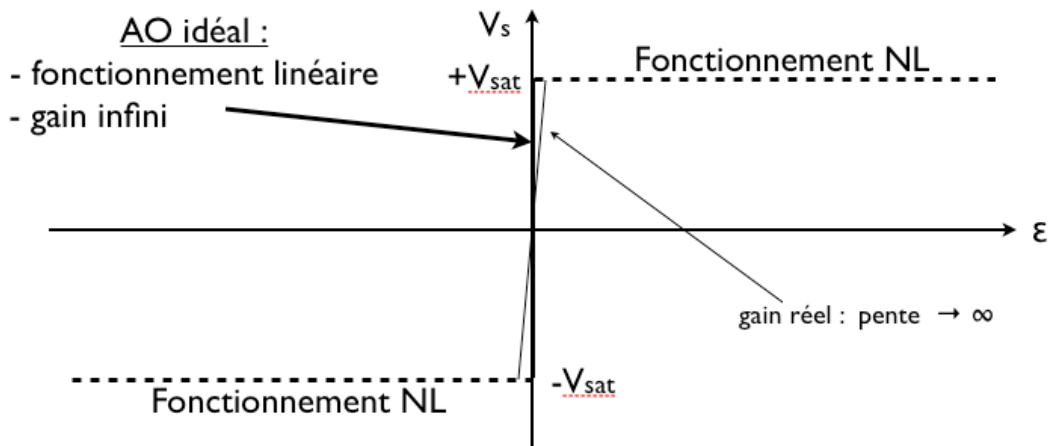
### 🔍 Le régime non linéaire :

La sortie n'est généralement pas connectée à l'une des entrées (boucle ouverte). Dans ce cas, l'AO idéal est caractérisé par une tension de sortie de valeur  $V_{sat}$  dont le signe est celui de la tension  $\varepsilon$  entre les deux entrées.  $V_{sat}$  est la tension de saturation et vaut  $\sim 15$  V. (A mesurer)

Si  $V_+ > V_-$  alors  $\varepsilon > 0$  et  $V_s = +V_{sat}$

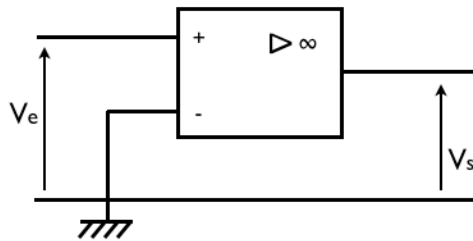
Si  $V_+ < V_-$  alors  $\varepsilon < 0$  et  $V_s = -V_{sat}$  ; dans tous les cas  $|V_s| < V_{sat}$

Sa «caractéristique» peut être représentée comme sur le schéma suivant (tirets horizontaux) :



### 🔍 Réalisation expérimentale :

Relier E- à la masse et E+ au bornes du GBF. On choisira arbitrairement une fréquence de 200Hz. Connecter le signal d'entrée sur la voie 1 de l'oscilloscope et le signal de sortie sur la voie 2. Observer les paliers de tension de saturation. Quand se produisent les changements de palier ? Quelle est la valeur de ces paliers ? Tester l'influence de la tension d'entrée, de l'offset ? Illustrer vos mesures par des schémas.

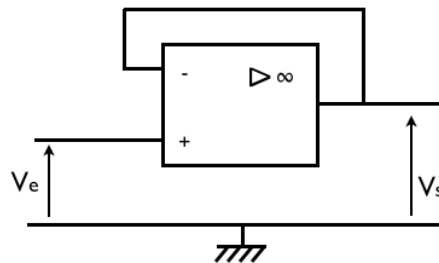


### Le régime linéaire :

La sortie est connectée à l'entrée inverseuse E- (boucle fermée). On dit que le régime est linéaire car  $V_s$  est proportionnelle à  $\varepsilon$  (lignes en traits pleins). Dans le cas de l'AO idéal on suppose que la pente (ou gain en tension de l'AO) est infini, on a donc toujours  $\varepsilon = 0$ .

### Réalisation expérimentale :

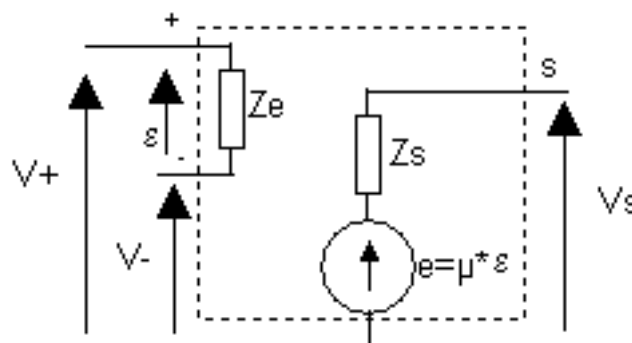
On modifie le circuit précédent en faisant une contre-réaction de la sortie sur l'entrée inverseuse : L'entrée E- est reliée à la sortie et non plus à la masse (Montage suiveur). Observer le signal de sortie pour différents signaux d'entrée : sinusoïdaux, crêteaux, triangles. Le signal de sortie est-il différent du signal d'entrée ? Que vaut le gain  $V_s / V_e$  du filtre associé ? Que vaut donc  $\varepsilon$  ?



Envoyer un signal d'entrée de tension maximum et varier aussi l'offset. Qu'observe-t-on ? Conclure sur les valeurs possibles de la tension de sortie en régime linéaire.

### Quelques propriétés de l'AO réel :

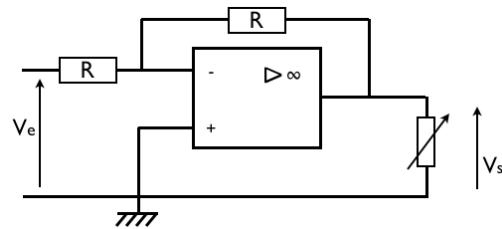
Les limites de l'amplificateur réel sont très proches de l'AO idéal. Le gain vaut de l'ordre de  $10^5$ . L'impédance d'entrée d'un TL 081 vaut  $Z_e \sim 10^{12} \Omega$  et celle de sortie  $Z_s \sim 1 \Omega$ . Le schéma suivant donne une modélisation des entrées et de la sortie de l'AO en régime linéaire :



### Réalisation expérimentale :

Choisir un signal d'entrée en crêteau. Observer la montée du signal de sortie par rapport à celle du signal d'entrée. On diminuera la base de temps pour «zoomer». Mesurer sa pente en  $V / \mu s$  et comparer aux données de l'annexe. Il s'agit du «slew rate» ou la capacité à suivre des variations rapides du signal d'entrée.

Nous allons tenter d'observer l'effet de l'impédance de sortie  $Z_s$  à l'aide d'un diviseur de tension avec une résistance variable. Réaliser le montage suivant : ( $R = 47 \text{ k}\Omega$ ) :

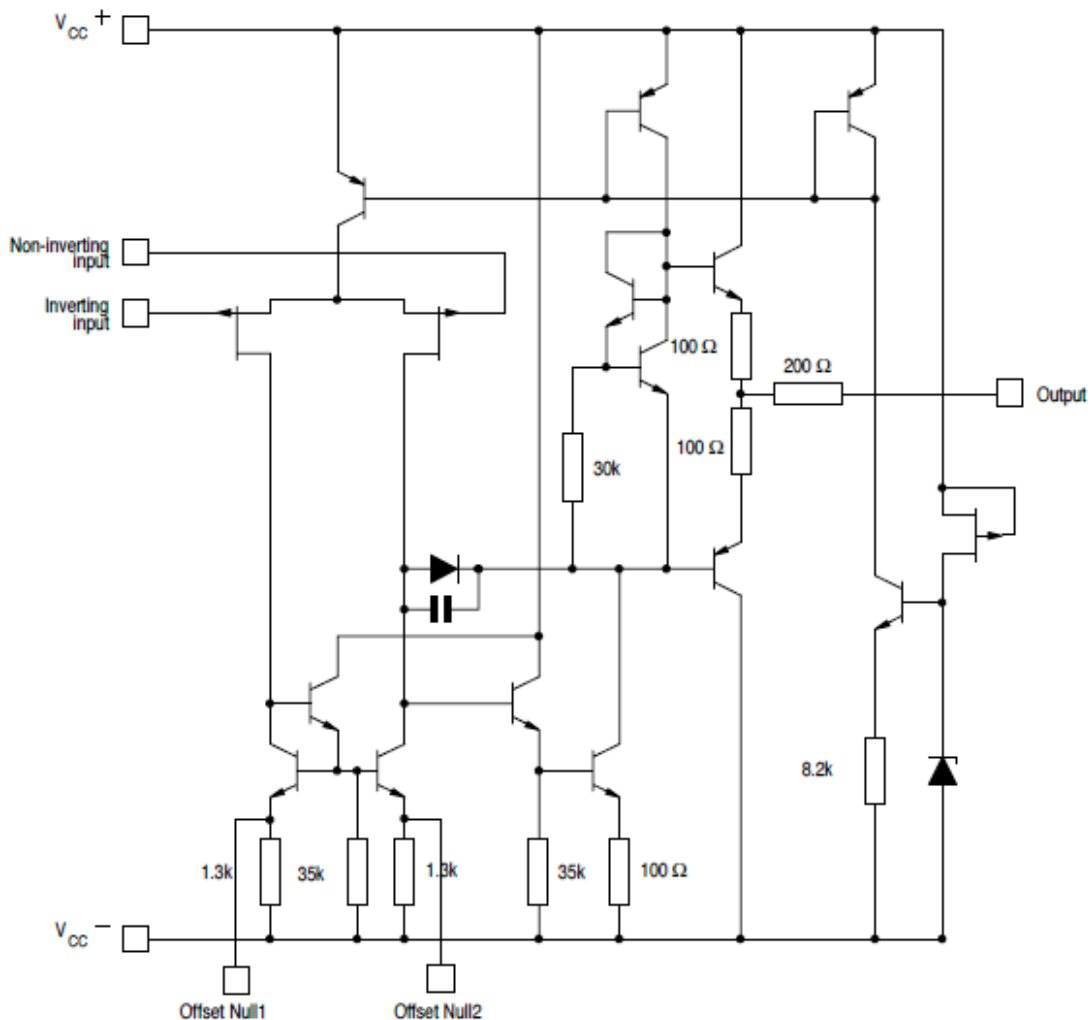


Mesurer  $V_s$  pour une résistance importante  $R_v \sim \text{k}\Omega$ . Diminuer la résistance et observer la diminution du signal de sortie. Comment en déduire une borne supérieure de la résistance de sortie de l'AO ?

$R_q$  : en cas de saturation du signal, diminuer le signal d'entrée pour ne pas saturer l'AO.

Dans le cadre de l'AO idéal, on pourra considérer en très bonne approximation que le gain  $\mu$  est infini, la réponse instantanée, que l'impédance d'entrée est infinie et que l'impédance de sortie nulle.

### Annexe :



Notre modèle d'AO : le fameux TL 081 et ses 16 transistors !

Gain en boucle ouverte de  $10^5$

Impédance d'entrée de  $\sim 10^{12} \Omega$

Impédance de sortie de  $\sim 1 \Omega$

Courant de saturation  $\sim 30 \text{ mA}$

De plus il est rapide : le slew rate atteint  $16\text{V} / \mu\text{s}$ .