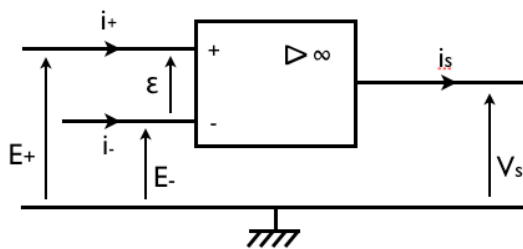


## Révisions SUP : Amplificateur Opérationnel (en régime linéaire)

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 telles que le GBF.



L'AO possède deux entrées et une sortie :

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

La structure interne de l'AO est très 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 $i_+ = i_- = 0 \text{ mA}$ ,**

Cette première propriété est toujours vérifiée, en revanche un courant faible  $i_s \sim \text{qq. dizaines de mA}$  peut sortir de l'AO, et on ne peut pas utiliser le théorème de Millman sur la sortie.

Nous distinguerons deux modes d'utilisation de l'AO correspondant à deux régimes de fonctionnement différents :

### 🕒 **Le régime linéaire : $\epsilon = 0$ soit $V_+ = V_-$**

La sortie est connectée à l'entrée inverseuse E- (boucle fermée). On dit que le régime est linéaire car  $V_s$  est proportionnelle à  $\epsilon$  (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  $\epsilon = 0$ .

rq : si l'on déconnecte l'entrée inverseuse ou si  $V_s$  dépasse une tension dite de saturation, on bascule alors dans le régime non linéaire de l'AO:

### 🕒 **Le régime non linéaire :** (pas abordé dans ce DM)

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  $V_{\text{sat}}$  dont le signe est celui de la tension  $\epsilon$  entre les deux entrées.  $V_{\text{sat}}$  est la tension de saturation et vaut  $\sim 15 \text{ V}$ . (A mesurer)

**Si  $V_+ > V_-$  alors  $\epsilon > 0$  et  $V_s = +V_{\text{sat}}$**

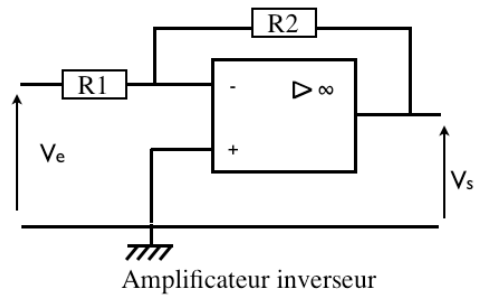
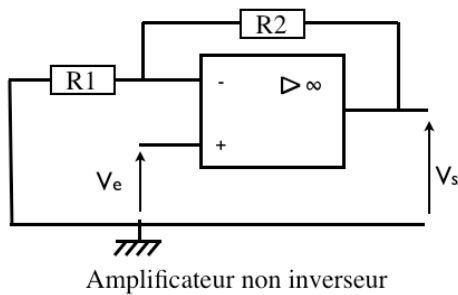
**Si  $V_+ < V_-$  alors  $\epsilon < 0$  et  $V_s = -V_{\text{sat}}$  ; dans tous les cas  $|V_s| < V_{\text{sat}}$**

Dans tous les exercices, les flèches  $V_e$  indiquent la tension du générateur, il peut y en avoir plusieurs. Sauf mention contraire, on considère que le signal  $V_e$  est sinusoïdal.  $V_s$  la tension mesurée en sortie c-à-d dire à l'oscilloscope.

### Exercice 1 Montages de base avec un AO idéal

Justifier que le régime est linéaire.

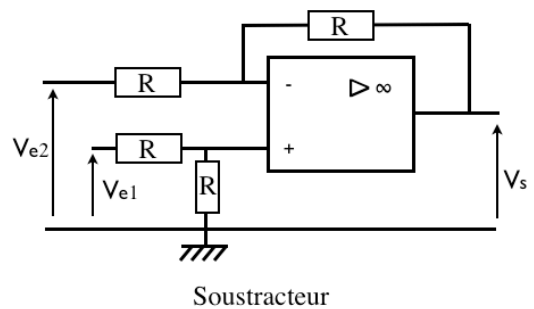
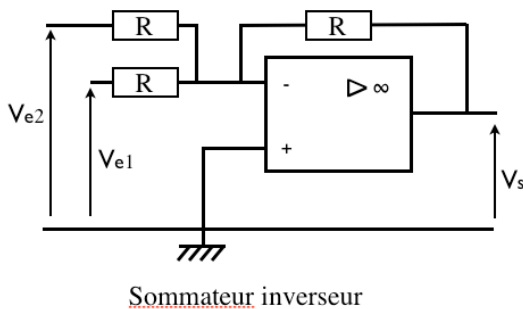
Déterminer les fonctions de transfert des circuits actifs suivants. On introduira un courant  $i$  sortant du générateur et on utilisera les hypothèses d'idéalité :  $i_+ = 0$  ;  $i_- = 0$  ;  $\varepsilon = 0$ .



Dans les quatre montages, trouver l'impédance d'entrée  $Z_e$  telle que  $V_e = Z_e i_e$

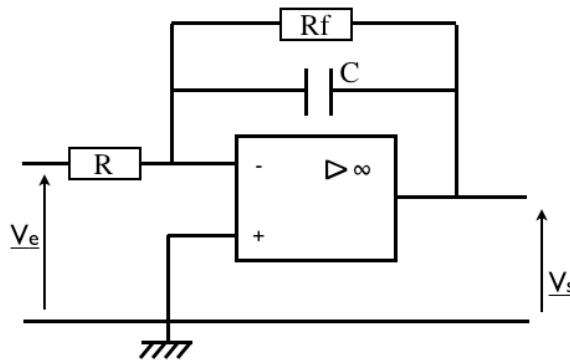
Comment trouver l'impédance de sortie ? Théoriquement ? Expérimentalement ?

Trouver l'expression de  $V_s$  en fonction de  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$



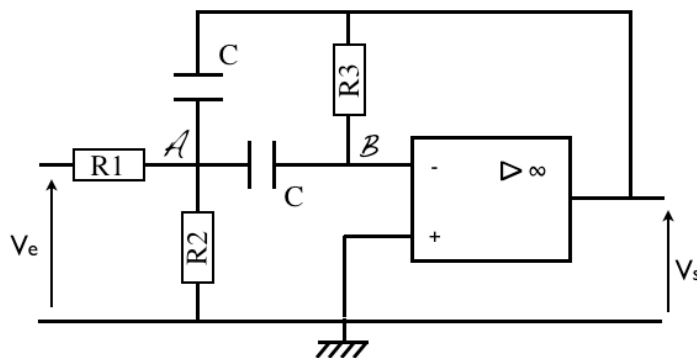
### Exercice 2 Fonction de transfert d'un intégrateur

- a - Justifier que le régime est linéaire.
- b - Déterminer la fonction de transfert du filtre suivant lorsque  $R_f = 0$ . Tracer son diagramme de bode. Expliquer pourquoi on appelle ce filtre un intégrateur. Quel problème risque t-on de rencontrer ?
- c - Déterminer la fonction de transfert du filtre en tenant compte cette fois de  $R_f$ . Etudier les comportements asymptotiques : dans quelle limite a-t-on un intégrateur ? Qu'obtient t-on dans le cas contraire ? Tracer le diagramme de Bode. Conclure sur l'intérêt de  $R_f$ .



### Exercice 3 Filtre actif

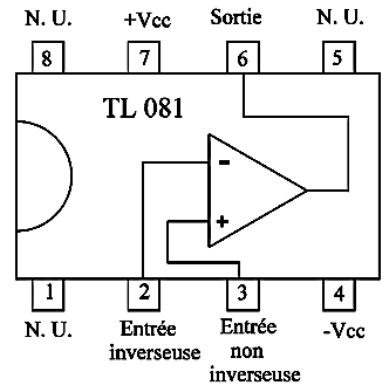
- a - Justifier que le régime est linéaire.
- b - Déterminer la fonction de transfert du filtre suivant. Déterminer  $\omega_0$ , Q et  $H_0$ . On appliquera le théorème de Millman en deux points ainsi que les hypothèses de l'AO idéal :  $i_+ = 0$  ;  $i_- = 0$  ;  $\varepsilon = 0$ .



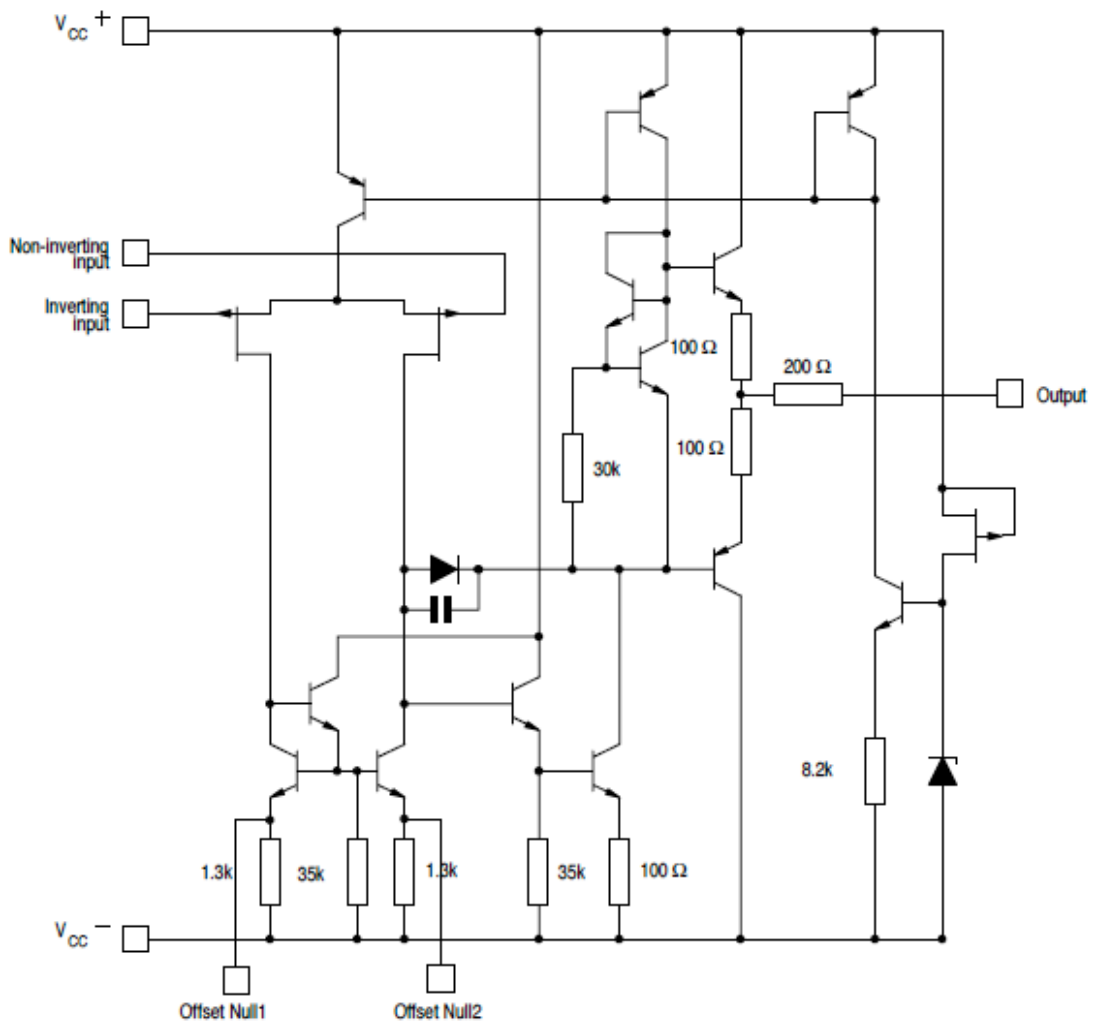
**Annexe :**

On utilise l'AO sur les plaquettes d'électronique.  
 Il 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)



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



**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  $16\text{V} / \mu\text{s}$ .