

## 4- AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL IDEAL

### 4.1- Introduction générale

### 4.2 L'AO en régime linéaire

1

### L' AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL (A.O.)



A tubes



µA741



LM741 ou TL081

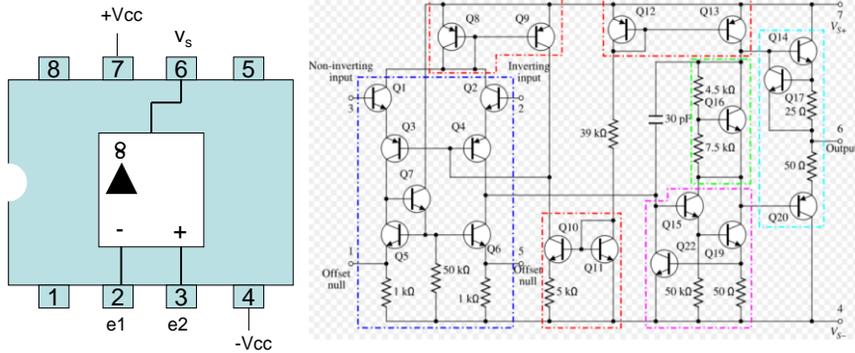
### 4.1- Généralité sur l'A.O.

Un **amplificateur opérationnel** est un amplificateur **différentiel** : il amplifie une **différence de potentiel** électrique présente à ses bornes d'entrées. Il a été initialement conçu pour effectuer des opérations mathématiques dans des calculateurs analogiques : il permettait de modéliser les opérations mathématiques de base comme l'**addition**, la **soustraction**, l'**intégration**, la **dérivation** etc ... Par la suite, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans bien d'autres applications comme la commande de moteurs, la régulation de tension, les sources de courants ou encore les oscillateurs. Physiquement, un amplificateur opérationnel est constitué de **transistors**, de tubes électroniques ou de n'importe quels autres composants amplificateurs. On le trouve communément sous la forme de **circuit intégré**.

A.O est encore appelé Amplificateur Intégré Linéaire (A.I.L) ou Amplificateur Différentiel Intégré (A.D.I.).

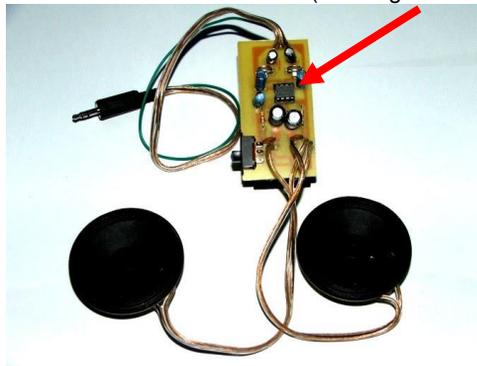
1 Première commercialisation en 1965 (FAIRCHILD)

Les amplificateurs opérationnels ont d'abord été réalisés avec des composants discrets. L'électronique intégrée permet actuellement la fabrication d'amplificateurs dont les performances sont excellentes, la mise en œuvre aisée et le coût modique<sup>1</sup>. Ils ne nécessitent que peu de composants périphériques et les problèmes délicats de polarisation des amplificateurs réalisés avec des composants discrets sont éliminés. Ils sont maintenant utilisés dans de nombreux domaines de l'électronique analogique.



Contrôle d'une carte d'alimentation (fabrication industrielle)

Haut parleur en mode Stéréo (bricolage amateur)



AOP intégré à la puce

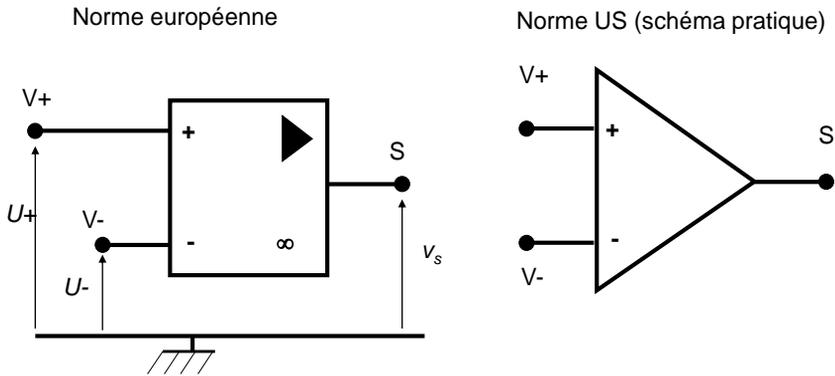


### 4.1-1 Caractéristique de l'AO de gain fini

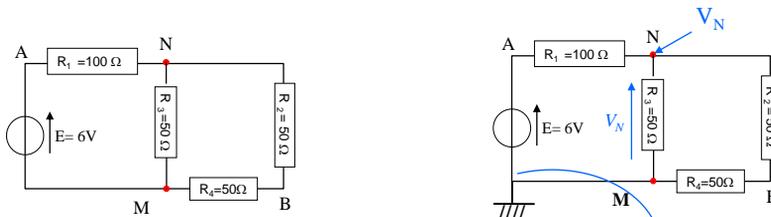
L'ampli Op. possède :

- \* deux bornes d'entrée : E+ (entrée non inverseuse) et E- (entrée inverseuse) portées aux potentiel respectifs v+ et v- par rapport à la masse
- \* Une borne de sortie S, dont la tension par rapport à la masse est notée v<sub>s</sub>

#### Symboles électronique



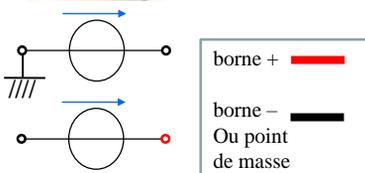
#### Nouvelle notation des ddp - Notion de **potentiel de référence** ou **masse**



$$U_{NM} = V_N - V_M$$

On prenant le nœud M comme potentiel de référence

$$V_M = 0V$$



$$U_{NM} = V_N - V_M = V_N - 0 = V_N$$

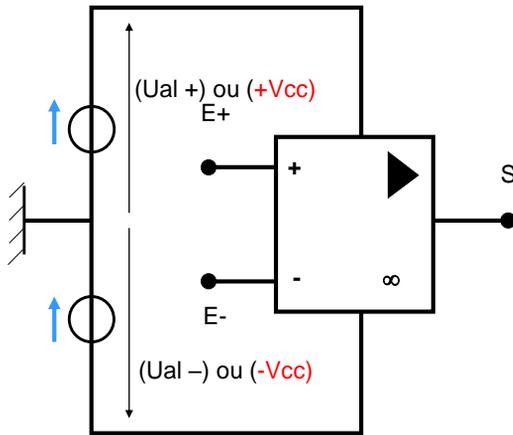
On prendra l'habitude de noter  $U_{NM}$  par  $V_N$

On a donc :

$$U_N = V_N$$

*Les deux écritures sont donc possibles dans l'étude des circuits : loi des mailles, des nœuds etc ...*

#### 4.1-2 Alimentation

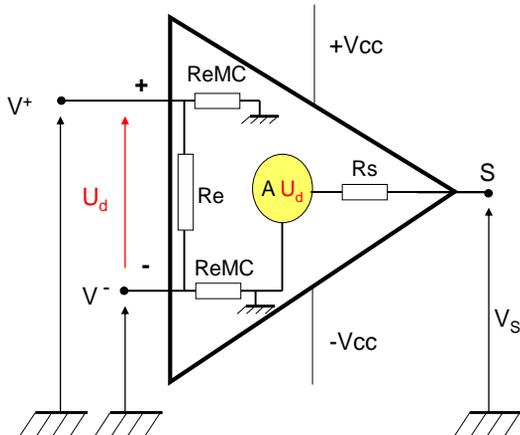


Pour simplifier le schéma, le circuit d'alimentation n'est en général pas représenté. Cette polarisation est cependant indispensable car elle apporte l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'AO. Elle est en général symétrique:

$$+V_{cc} = |-V_{cc}| \text{ (par exemple 15V)}$$

#### 4.1-3 L'A.O. réel et l'A.O. idéal

On peut utiliser le schéma équivalent qui met en évidence l'amplificateur différentiel d'entrée et ses résistances.



La tension de sortie d'un amplificateur différentiel est donnée par :

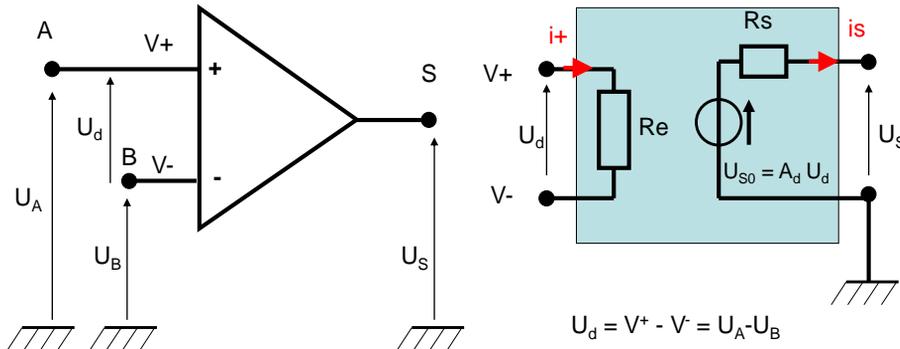
$$V_S = A_D(V^+ - V^-) + A_{MC} \left( \frac{V^+ + V^-}{2} \right)$$

Ces amplificateurs sont conçus pour avoir un gain en mode commun  $A_{MC}$  aussi faible que possible afin de ne pas amplifier les signaux présents sur les deux entrées à la fois (mode commun) et qui correspondent en général à un bruit parasite.

On considérera donc que la tension de sortie  $V_S$  est donnée par la relation simple :

$$V_S = A_D(V^+ - V^-) = A_D U_d$$

### Schéma électrique équivalent

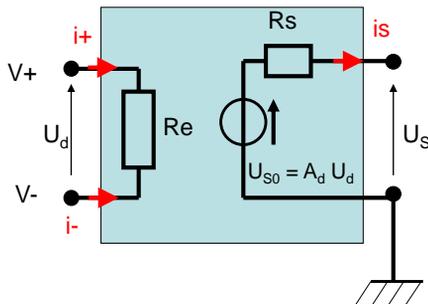
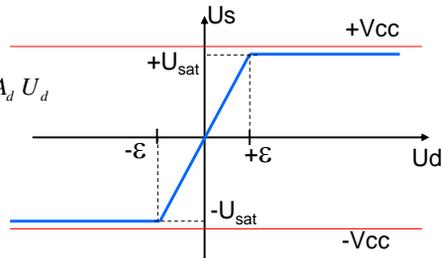


#### 4.1-4 régimes de fonctionnement :

- Régime linéaire si  $-\varepsilon \leq U_d \leq +\varepsilon \Rightarrow U_s = A_d U_d$
- Régime saturé si  $U_d < -\varepsilon \Rightarrow U_s = cste = -U_{sat}$   
ou si  $U_d > \varepsilon \Rightarrow U_s = cste = +U_{sat}$

Exemple :  $|U_{ai}|=15V$ ;  $A_d=10^5$

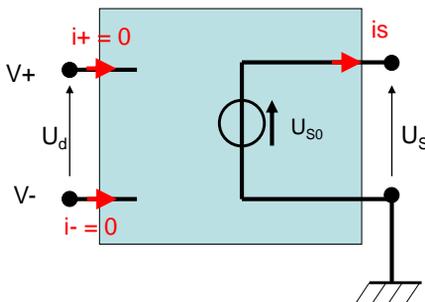
Calculer  $\varepsilon$ .  $\varepsilon=0,15\text{ mV}$



#### Caractéristiques réelles

- Re élevée (0.1M  $\Omega$  à 1000 G $\Omega$ )
- $i+$  et  $i-$  très faible (< 1nA)
- Rs faible (10 à 500  $\Omega$ )
- $A_d$  (  $10^5$  à  $10^7$  )
- Gain-bande passante > 100 MHz

#### A.O. Idéal

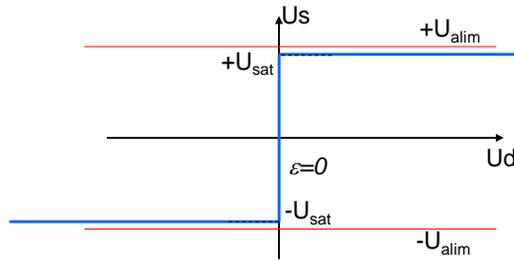


#### Caractéristiques idéales

- $Re \rightarrow \infty$
- $i^+ = i^- = 0$
- $U_d = 0 \rightarrow U^+ = U^-$
- $Rs \rightarrow 0$
- $A_d \rightarrow \infty$

### Caractéristiques idéales

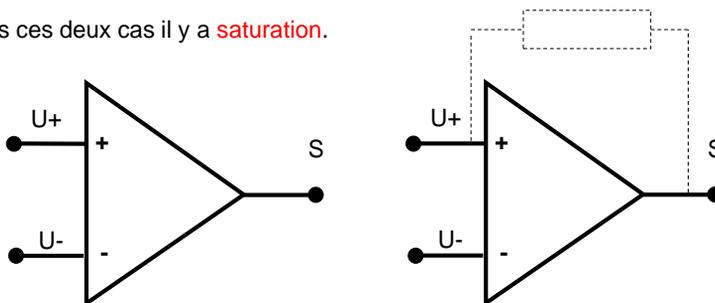
$$U_d = V^+ - V^- = U_A - U_B$$



### 4.1-5 Les deux régime de l' A.O. idéal

- a) l'AOI est dit en « Boucle ouverte » si la sortie S n'a pas de liaison avec les deux entrées U+ ou U- .
- b) l'AOI est dit en « Boucle fermée avec réaction positive » si la sortie S est en liaison avec l'entrée U+ .

Dans ces deux cas il y a **saturation**.



$i^+ = i^- = 0$  et  $U^+ \approx U^-$  mais  $U_d = U^+ - U^-$  n'est pas négligeable et il y a **saturation**  
 $U_s = \pm U_{alim}$  dépendant du signe de  $U_d$ .

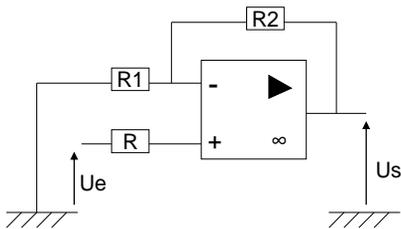
c) l'AOI est en « boucle fermée avec réaction négative » ou « contre-réaction » ou « rétro-réaction » si la sortie S est en liaison avec l'entrée inverseuse U-.  
Le montage peut fonctionner **en régime linéaire** tant que :

$$-U_{sat} \leq U_s \leq +U_{sat} \quad \text{avec} \quad U_s = A_d U_e$$

## 4.2- L'A.O.I en régime linéaire

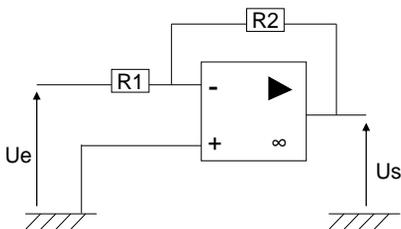
Les **montages de base** sont ceux destinés à réaliser des opérations analogiques. Dans un but pédagogique nous considérerons avoir affaire à un amplificateur idéal, c'est à dire que nous ne ferons pas figurer, dans les exemples qui suivent, les circuits destinés à compenser les imperfections de l'amplificateur.

### 4.2-1 L'amplificateur non inverseur



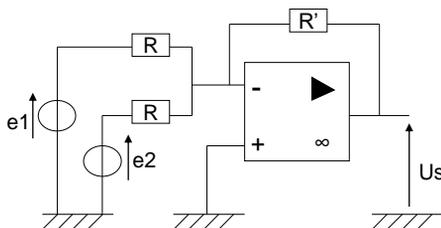
$$A = \frac{U_s}{U_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

### 4.2-2 L'amplificateur inverseur



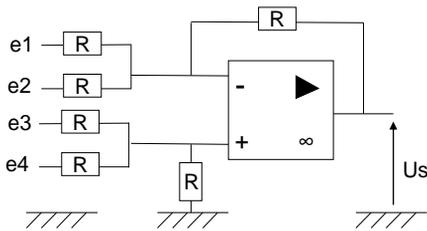
$$A = \frac{U_s}{U_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

### 4.2-3 L'amplificateur sommateur



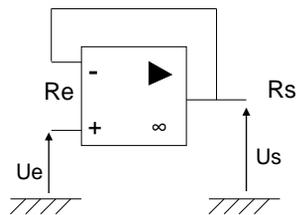
$$U_s = -\frac{R'}{R}(e_1 + e_2)$$

#### 4.2-4 L'amplificateur soustracteur



$$U_s = (e_3 + e_4) - (e_1 + e_2)$$

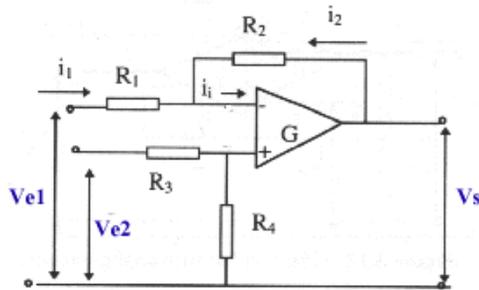
#### 4.2-5 L'amplificateur suiveur



$$A = \frac{U_s}{U_e} = 1$$

Le montage **suiveur**, de gain unité, est destiné à permettre l'adaptation d'impédance entre deux étages successifs d'un dispositif.

#### Amplification différentielle



diviseur de tension

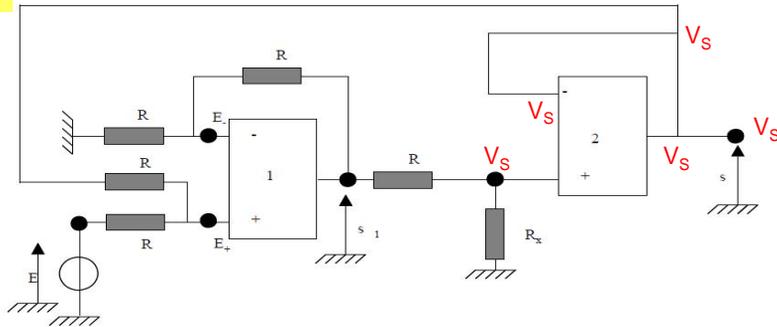
au noeud de l'entrée -

$$v^+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{e2} \quad \frac{V_s}{R_2} + \frac{V_{e1}}{R_1} = V^- \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = V^+ \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{car } V^+ = V^-$$

$$\Rightarrow \frac{V_s}{R_2} + \frac{V_{e1}}{R_1} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{e2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \Rightarrow \frac{V_s}{R_2} = -\frac{V_{e1}}{R_1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{e2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\Rightarrow V_s = -\frac{R_2}{R_1} V_{e1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{e2} \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

TPE1



Ce montage est réalisé sur une maquette que vous allez utiliser et dont voici la photo. Les deux AOP sont intégrés dans le même boîtier alors qu'auparavant un boîtier contenait un seul AOP.



$$S_1 = S + E \quad S = \frac{R_x}{R + R_x} S_1 \quad S = E \frac{R_x}{R}$$