

TP N° : 08

# **AMPLI-OP ET MONTAGES ÉLÉMENTAIRES**

## 1. But de la manipulation

Le but de ce TP est d'étudier les caractéristiques d'un Ampli-op et ses applications élémentaires.

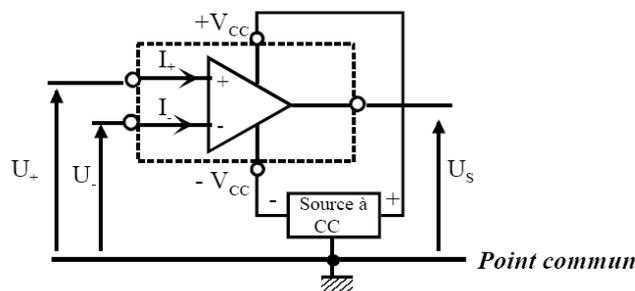
## 2. Rappel théorique

### 2.1. Caractéristiques d'un amplificateur opérationnel en courant continu

Un amplificateur opérationnel (AO) comporte (Figure. 1):

- 2 entrées
  - L'une inverseuse (-)
  - L'autre non inverseuse (+)
- Une seule sortie, où le signal  $U_s$  est mesuré par rapport à un **point commun**.
- Une source d'alimentation externe à courant continu  $\pm 15$  V par rapport au point commun.

L'AO est un amplificateur différentiel à grande gain en boucle ouverte  $A_{ol}$  (ol : open loop), c'est-à-dire en absence de contre-réaction.



**Figure.1** : Amplificateur opérationnel.

L'AO idéal (parfait) remplit les conditions suivantes :

- ✓ Un gain différentiel infini en boucle ouverte :

$$A_{ol} = \frac{U_s}{\varepsilon} = \infty, \text{ ou } \varepsilon = U_+ - U_-;$$

- ✓ La tension de sortie est nulle en absence de signal d'entrée ;
- ✓ Les courants sur chaque entrée sont nuls :  $I_+ = I_- = 0$  . L'impédance d'entrée différentiel est infinie :  $Z_e = \infty$  ;
- ✓ Une impédance de sortie nulle :  $Z_s = 0$  . L'AO idéal est équivalent à la sortie à une source de tension  $U_s$  de résistance nulle.

L'AO est caractérisé par sa réponse en tension (tension de sortie en fonction de la tension différentielle d'entrée).

La caractéristique  $U_s = f(\varepsilon)$  comporte 3 zones :

- $U_+ \succ U_- \Rightarrow U_s = +V_{CC}$  Zone de saturation positive ;
- $U_+ = U_- \Rightarrow \varepsilon = 0$  Régime linéaire ;
- $U_+ \prec U_- \Rightarrow U_s = -V_{CC}$  Zone de saturation négative ;

L'AO réel diffère sensiblement de l'AO idéal :

- ✓ Le gain en boucle ouverte n'est pas infini, mais de l'ordre de  $10^4$  à  $10^6$  ;
- ✓ L'impédance d'entrée n'est pas non plus infinie, d'où des courants  $I_+$  et  $I_-$  non nuls,
- ✓ L'impédance de sortie n'est plus nulle, et le courant de charge sera donc limité ;
- ✓ La symétrie de l'AO n'est jamais parfaite ce qui signifie qu'une tension nulle en entrée conduira à une sortie non nulle.

## 2.2. Amplificateur de tension non inverseur

Dans ce classe d'amplificateur le signal d'entrée attaque l'entrée non inverseuse, la réaction réinjecte un échantillon de la tension de sortie sur l'entrée inverseuse  $\varepsilon = U_+ - U_-$  (Figure. 2).

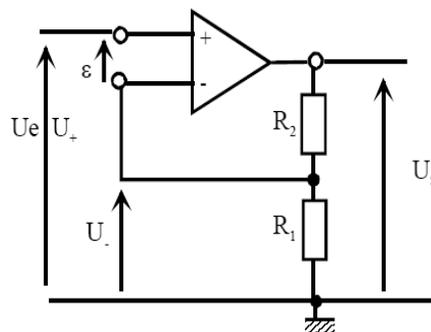


Figure .2

Dans l'hypothèse d'un fonctionnement en régime Linéaire :

- $U_+ = U_e$  (Signal d'attaque) ;
- $\varepsilon = U_e - BU_s$  et  $U_- = \frac{R_1}{R1 + R2} U_s = BU_s$  ;
- $U_s = A_{ol} \varepsilon = A_{ol} (U_e - BU_s)$  donc  $U_s (1 + A_{ol} B) = A_{ol} U_e$  ;

Soit donc :

$U_s = A_{cl} U_e$  : Définition d'un gain en boucle fermée en raison de la contre-réaction  $A_{cl}$  (cl : closedloop).

Ici l'AO adapte la tension de sortie  $U_s$ , afin que la tension échantillonnée  $U_-$  soit égale à la tension d'entrée  $U_e$  : c'est la **contre-réaction**.

### 2.3. Amplificateur de tension inverseur

Si le signal de sortie est en phase avec le signal d'entrée pour l'amplificateur non inverseur, il peut être utile dans certaines applications d'avoir un signal en opposition de phase. Le schéma principal d'un amplificateur inverseur est donné par la figure 3.

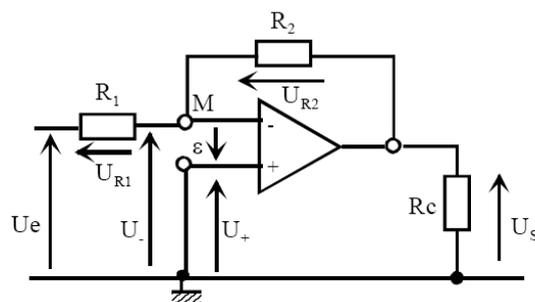


Figure. 3

Dans l'hypothèse d'un régime linéaire  $\varepsilon = 0$ .

$\varepsilon = U_+ - U_- = 0 \Rightarrow U_- = U_+ = 0$  car l'entrée non inverseuse est connectée à la masse.

Le point M (fig.3) est une masse virtuelle, au potentiel de  $U_- \cong 0$ , mais où aucun courant ne s'écoule.

$$U_{R1} = U_e - U_- = I_{R1} R_1 \Rightarrow I_{R1} = U_e / R_1 \text{ et } U_{R2} = U_- - U_s = I_{R2} R_2 \text{ car } I_+ = I_-,$$

donc :

$$I_{R1} = I_{R2} = I.$$

Alors :

$$U_{R2} = -U_s = IR_2$$

Donc :

$$U_s = -\frac{R_2}{R_1} U_e \text{ soit } U_s = A_{cl} U_e,$$

Avec :

$$A_{cl} = -\frac{R_2}{R_1} \text{ (signe « - » indique inversion de phase).}$$

### 2.4. Amplificateur sommateur inverseur

L'amplificateur inverseur peut traiter Simultanément plusieurs entrées, car L'entrée inverseuse est une masse virtuelle (Figure. 4).

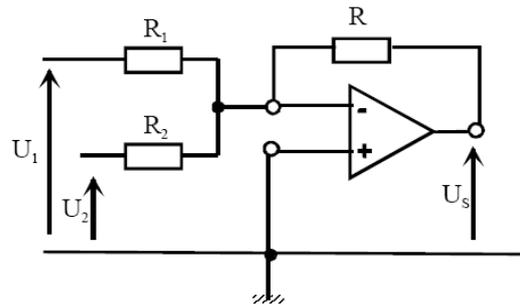


Figure. 4

$$\varepsilon = U_+ - U_- = 0 \Rightarrow U_- = U_+ = 0$$

$$U_{Ri} = I_i R_i \Rightarrow I_i = \frac{U_{Ri}}{R_i} = \frac{U_i - U_-}{R_i} = \frac{U_i}{R_i}$$

$$U_R = U_- - U_s = -U_s = IR, I = \sum_i I_i$$

$$U_s = -\sum \frac{R}{R_i} U_i$$

## 2.5. Amplificateur différentiel (soustracteur)

Les signaux d'attaque étant appliqués sur les entrées inverseuse et non inverseuse, les propriétés de l'amplificateur inverseur et non inverseur sont exploitées. En utilisant le théorème de superposition on trouve successivement :

$$U_1 = 0, U_s = f(U_2)$$

$$U_2 = 0, U_s = f(U_1)$$

$$U_+ \equiv 0 = U_-$$

$$\left. \begin{array}{l} U_2 - 0 = R_2 I \\ 0 - U_s = R_1 I \end{array} \right\} \Rightarrow U_s(U_2) = -\frac{R_1}{R_2} U_2 \quad U_- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_s = U_+ \equiv \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_1 \Rightarrow U_s(U_1) = \frac{R_1}{R_2} U_1$$

- Superposition :

$$U_s = U_s(U_1) + U_s(U_2) = \frac{R_1}{R_2} U_1 - \frac{R_1}{R_2} (U_1 - U_2)$$

- L'impédance d'entrée  $R_e$  est finie :

$$U_e = U_1 - U_2 = R_2 I_1 + \varepsilon - R_2 I_2 = R_2 (I_1 - I_2) = R_2 I_e \Rightarrow R_e = U_e / I_e = R_2.$$

Si on applique le signal  $U_1$  par l'intermédiaire d'un diviseur de tension formé par  $R_1 = R_4$  et  $R_2 = R_3$  on obtient un montage soustracteur (Figure. 5):

$$U_s = \frac{R_4}{R_3} U_1 - \frac{R_1}{R_2} U_2$$

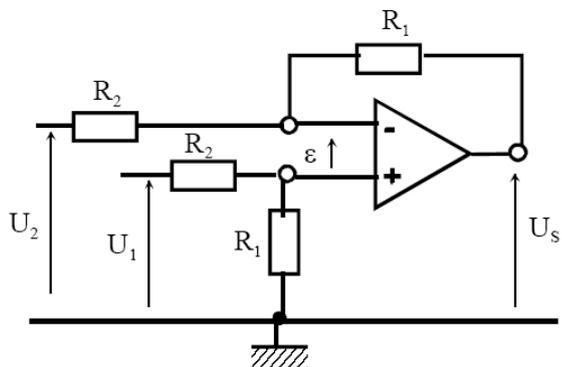
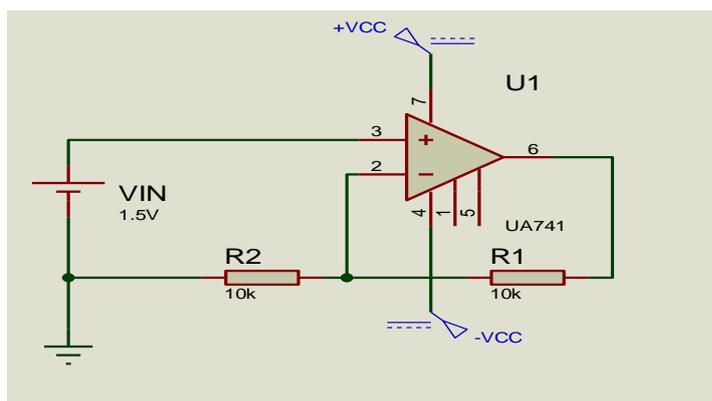


Figure.5 Amplificateur différentiel.

### 3. Manipulation

#### 3.1. Travail personnel

a. A l'aide de Proteus réaliser le montage ci-dessous :



b. Relever et simuler le montage en ajoutant les appareils mesurant les grandeurs électriques nécessaires pour remplir le tableau suivant :

$U_e$ (V)	-12	-9.0	-7.5	-6.0	-4.5	-3.0	0.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	12
$U_s$ (V)													

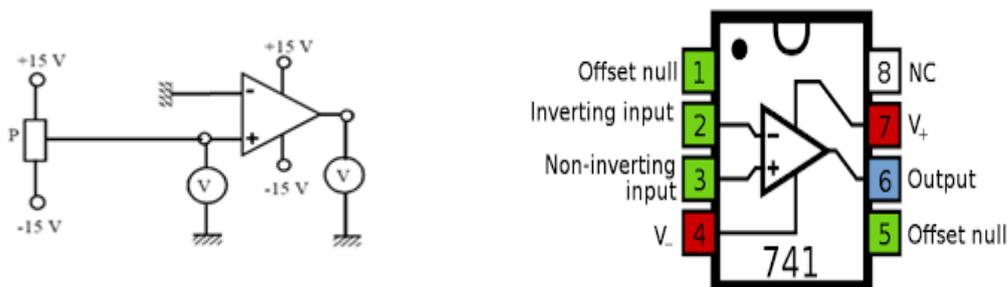
c. Tracer sur un papier millimétrique la courbe  $U_s = f(U_e)$ , en mentionnant sur la courbe la zone linéaire et la zone de saturation.

d. Calculer le gain d'amplification.

#### 3.2. Travail Présentiel

##### 3.2.1. Etude en boucle ouverte

a. Réaliser le montage d'après le schéma électrique ci-dessous :



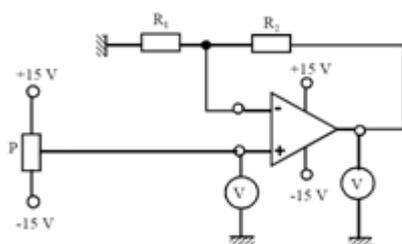
- b. Faire vérifier le montage par l'enseignant.
- c. Régler la source de tension continue à 15 V.
- d. Appliquer à l'entrée du circuit des tensions  $U_e$  de valeurs différentes (en utilisant le potentiomètre P et le multimètre) et mesurer la tension de sortie  $U_s$ .
- e. Compléter le tableau 1.
- f. Tracer sur le document le graphe  $U_s = f(U_e)$ .
- g. Qu'est-ce que vous remarquez si  $U_e=0$ .
- h. Que s'appelle cette tension.

**Tableau 1**

$U_e(V)$	-12	-9.0	-7.5	-6.0	-4.5	-3.0	0.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	12
$U_s(V)$													

### 3.2.2. Caractéristique d'un amplificateur de tension non inverseur

a. Réaliser le montage d'après le schéma électrique ci-dessous :



- b. Faire vérifier le montage par l'enseignant.
- c. Régler la source de tension continue à 15 V.
- d. Appliquer à l'entrée du circuit des tensions  $U_e$  de valeurs différentes (en utilisant le potentiomètre P et le multimètre) et mesurer la tension de sortie  $U_s$ .
- e. Compléter le tableau 2.
- f. Tracer le graphe  $U_s = f(U_e)$ .
- g. Repérer et délimiter les domaines du régime linéaire et non linéaire.

h. Déterminer la valeur du gain  $A_{cl}$ .

e. Comparer le gain  $A_{cl}$  au terme  $1 + \frac{R_2}{R_1}$ . En déduire une relation entre  $U_s$ ,  $U_e$  et les résistances  $R_1$  et  $R_2$  en régime linéaire.

$R_2$  en régime linéaire.

**Tableau 2**

$U_e$ (V)	-12	-9.0	-7.5	-6.0	-4.5	-3.0	0.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	12
$U_s$ (V)													

**3.2.3. Caractéristique d'un amplificateur de tension inverseur**

a. Modifier le montage précédent d'après le schéma électrique ci-dessous :

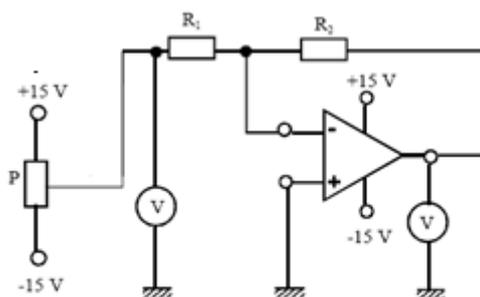


Fig.8

b. Appeler l'enseignant avant de continuer.

c. En variant à l'aide du potentiomètre P la tension d'entrée  $U_e$  ; mesurer la tension de sortie  $U_s$  correspondante, puis compléter le tableau 3.

d. Tracer le graphe  $U_s = f(U_e)$ .

e. Délimiter sur le graphe les zones des régimes linéaires et saturés. Justifier le terme « inverseur » donné à ce montage.

f. Déterminer la valeur du gain  $A_{cl}$ .

g. Comparer le gain  $A_{cl}$  au terme  $-\frac{R_2}{R_1}$ . En déduire une relation entre  $U_s$ ,  $U_e$  et les résistance  $R_1$  et  $R_2$  en régime linéaire.

régime linéaire.

**Tableau.3**

$U_e$ (V)	-12	-9.0	-7.5	-6.0	-4.5	-3.0	0.0	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	12
$U_s$ (V)													