

# CHAPITRE 3 : AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

<b>1.</b>	<b>PREAMBULE.....</b>	<b>24</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIPTION.....</b>	<b>24</b>
2.1	PRESENTATION.....	24
2.2	ALIMENTATION.....	24
<b>3.</b>	<b>MODELE DE L'AO IDEAL.....</b>	<b>25</b>
3.1	DEFINITION.....	25
3.2	REGIMES DE FONCTIONNEMENT.....	25
3.2.1	<i>Fonctionnement sans contre-réaction.....</i>	<i>26</i>
	<i>Fonctionnement avec contre-réaction sur la borne –.....</i>	<i>26</i>
<b>4.</b>	<b>MONTAGES AMPLIFICATEURS DE BASE.....</b>	<b>27</b>
4.1	AMPLIFICATEUR INVERSEUR.....	27
4.2	MONTAGE NON INVERSEUR.....	27
<b>5.</b>	<b>AUTRES MONTAGES.....</b>	<b>27</b>

# 1. Préambule

L'amplificateur opérationnel doit son nom au fait qu'il a d'abord été conçu pour effectuer des opérations arithmétiques dans des calculateurs analogiques : addition, soustraction, résolution d'équations différentielles, ...Aujourd'hui il est devenu le composant universel de l'électronique analogique grâce à sa facilité d'emploi et son faible coût. ce circuit peut fonctionner aussi bien en **régime linéaire** (amplificateurs, filtres, ...) qu'en **régime de commutation** (comparateurs, générateurs de signaux carrés, ...). Il sera utilisé dans ces deux types de fonctionnement en TP. Le régime de commutation est traité dans ce chapitre (bien que son étude ne corresponde évidemment à celle d'un système linéaire) pour une raison de suite logique.

# 2. Description

## 2.1 Présentation

L'amplificateur opérationnel (désigné par AO) est un circuit intégré analogique très répandu. On le trouve en général dans un boîtier plastique à double rangée de connexions (DIL : Dual In Line en Anglais) pour les applications courantes. Un boîtier contient un, deux ou quatre AO. Le brochage (attribution du rôle de chaque connexion) dépend du modèle utilisé. Par exemple, la figure 6.1 représente un AO très courant du type 741 dans son boîtier le plus classique : DIL 8 broches. Beaucoup d'AO simples possèdent le même brochage que celui-ci. La représentation est toujours vue de dessus. le sens du boîtier est indiqué soit par un point en relief, soit par une encoche. les broches sont numérotées comme le montre la figure. Un AO est un circuit à **deux entrées** (l'une dite **inverseuse** et notée -, l'autre appelée **non inverseuse** et notée +) et **une sortie**. Le symbole le plus couramment utilisé (même s'il ne correspond pas au symbole normalisé) pour la représentation de l'AO est donné sur la figure 6.2. Deux bornes sont prévues pour l'alimentation continue et d'autres connexions dont le rôle ne sera pas abordé dans ce cours existent seulement sur certains modèles.

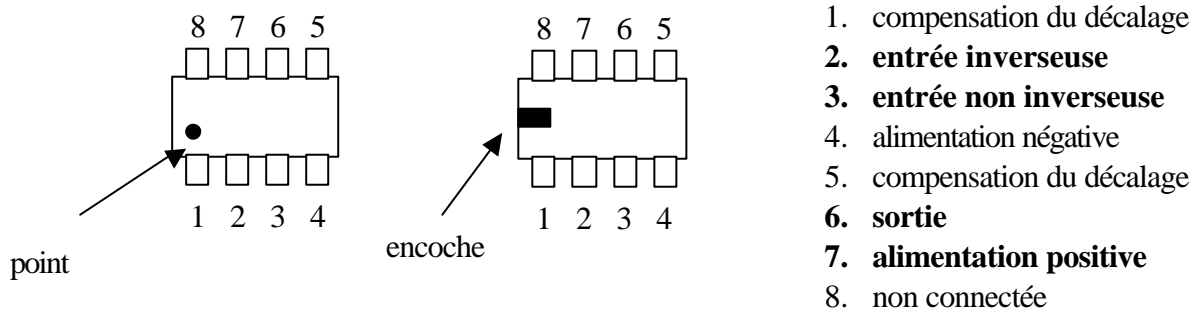


Figure 6.1. Brochage de nombreux A.O. simples comme le 741 ou le TL081.

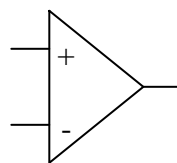


Figure 6.2. Représentation de l'A.O.

## 2.2 Alimentation

Comme pour tout circuit amplificateur, il est nécessaire d'alimenter l'AO afin de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement du circuit. On utilise en général pour cela **deux sources de tension symétriques** selon le montage de la figure 6.3.

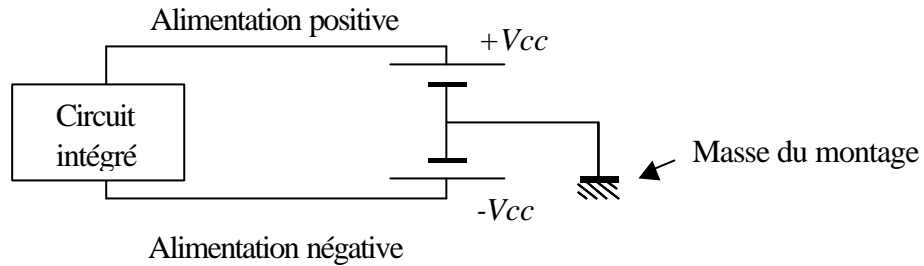


Figure 6.3. Alimentation d'un AO par deux sources de tension.

En général les alimentations ne sont pas représentées sur les schémas de principe, mais elles sont évidemment toujours présentes.

### 3. Modèle de l'AO idéal

#### 3.1 Définition

Pour expliquer le fonctionnement des montages et calculer les caractéristiques principales, on utilise un modèle très simple pour décrire l'AO en ne prenant en compte que ses **propriétés essentielles**.

Ce modèle est alors qualifié d'idéal.

Ce modèle correspond au schéma de la figure 6.4 où  $e = v_+ - v_-$  est la **tension différentielle** d'entrée et  $\pm V_{sat}$  sont les **tensions de saturation** de l'AO. Pour l'AO considéré comme idéal, on aura  $V_{cc} = +V_{sat}$ . Sur la figure 6.4, on a considéré le gain  $A$  non infini de l'AO afin de faire apparaître les

tension  $\pm e_{sat} = \frac{\pm V_{sat}}{A}$ . En pratique  $A > 10^6$  est considéré comme infini et  $e_{sat} \approx 0$ .

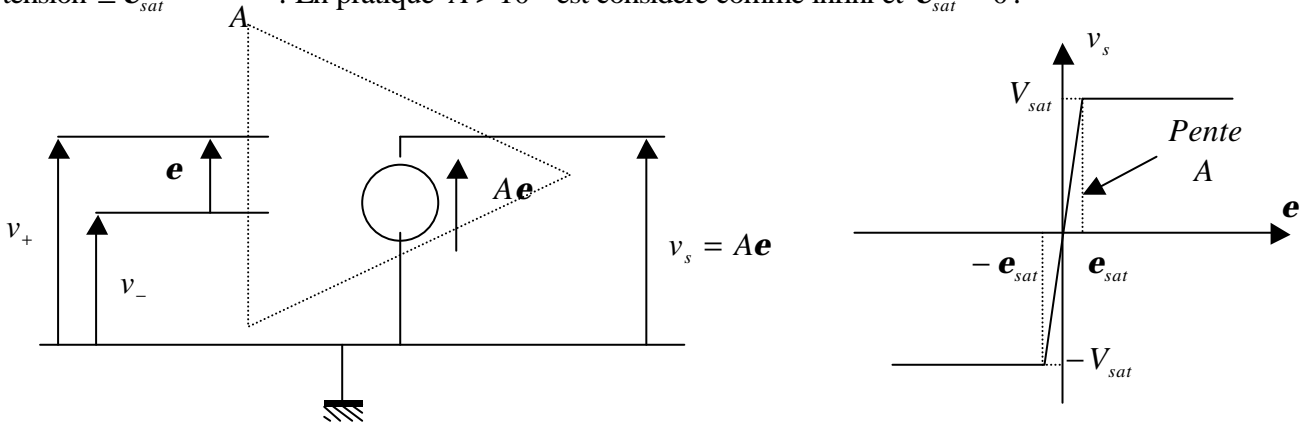


Figure 6.4. Modèle de l'AO idéal.

➔ **Conséquences :**

- La tension de sortie ne dépend que de la différence des tensions d'entrée
- Les courants d'entrée sont nuls
- La tension de sortie est indépendante de la charge.

#### 3.2 Régimes de fonctionnement

Selon la position du point de fonctionnement sur la caractéristique (figure 6.5), on distingue deux types de fonctionnement :

- En zone linéaire  $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{e} = 0 \\ -V_{sat} < v_s < +V_{sat} \end{array} \right.$
- en zone de saturation  $\left\{ \begin{array}{l} v_s = -V_{sat} \text{ si } \mathbf{e} < 0 \\ v_s = +V_{sat} \text{ si } \mathbf{e} > 0 \end{array} \right.$

Suivant le type de montage, l'AO fonctionne soit dans sa zone linéaire, soit dans sa zone de saturation.

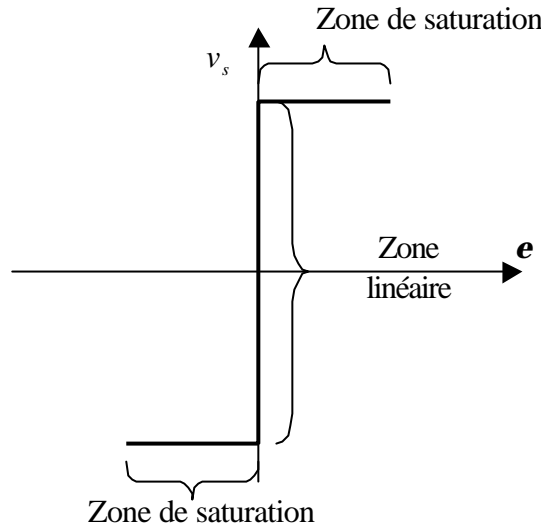


Figure 6.5. Zones de fonctionnement sur la caractéristique de transfert.

### 3.2.1 Fonctionnement sans contre-réaction

Si l'AO n'est pas associé à des composants qui relient sa sortie à l'une de ses entrées, il est en **Boucle Ouverte**. La présence de la moindre tension à l'entrée entraîne l'AO en saturation. Le fonctionnement n'est jamais linéaire, les seuls états possibles sont  $v_s = \pm V_{sat}$ .

Pour  $\mathbf{e} > \mathbf{e}_{sat} \rightarrow v_s = +V_{sat}$   
 Pour  $\mathbf{e} < \mathbf{e}_{sat} \rightarrow v_s = -V_{sat}$

On dit que l'on a un **fonctionnement en commutation**. On réalise ainsi les comparateurs qui seront étudiés en TD et utilisés en TP.

### 3.2.2 Fonctionnement avec contre-réaction sur la borne -

On considère le montage de la figure 6.6.

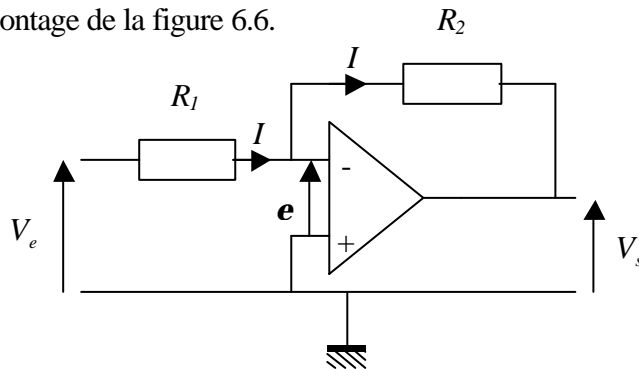


Figure 6.6. Montage à contre-réaction.

En supposant que l'AO fonctionne dans sa zone linéaire, on a  $e = 0$ , soit  $V_e = R_1 I$  et  $V_s = -R_2 I$ ,

d'où le gain en tension du montage :  $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} = A_v$ .

Cette relation reste valable tant que la tension d'entrée reste inférieure à maximum  $V_{e_{max}}$  conduisant à la

saturation de l'AO pour laquelle  $V_s = \pm V_{sat}$ , soit :  $|V_{e_{max}}| = \frac{|V_{sat}|}{A_v}$ .

## 4. Montages amplificateurs de base

### 4.1 Amplificateur inverseur

Le montage est celui de la figure 6.6. Nous avons établi que  $\frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} = A_v$ .

On a un fonctionnement **en amplificateur** si le gain en tension  $A_v$  est supérieur à 1. dans le cas contraire on a un **atténuateur**. L'amplificateur est dit « inverseur » car le gain en tension  $A_v$  est négatif.

### 4.2 Montage non inverseur

On considère le montage de la figure 6.7.

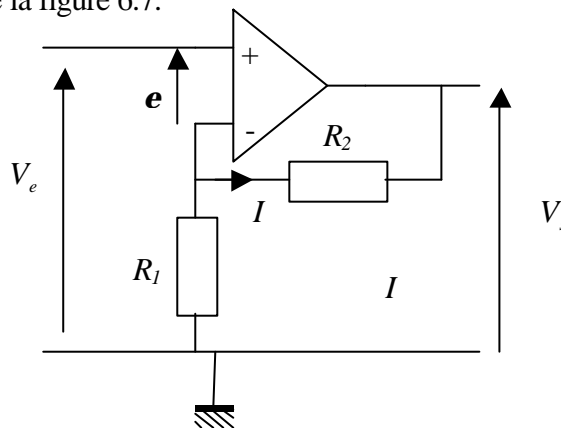


Figure 6.7. Montage non inverseur.

En supposant que l'AO fonctionne dans sa zone linéaire, on a  $e = 0$ , soit  $V_e = R_1 I$  et  $V_s = (R_1 + R_2) I$ ,

d'où le gain en tension du montage :  $\frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = A_v$ .

Dans ce cas, le gain en tension est toujours supérieur à 1.

L'amplificateur est dit « non inverseur » car le gain en tension  $A_v$  est positif.

## 5. Autres montages

Les montages ci-dessous seront partiellement étudiés en TD.

- Intégrateurs et dérivateurs
- Additionneur et soustracteur
- Filtres actifs.