CHAPITRE 3 : AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

1. PREAMBULE 24

2. DESCRIPTION 24

2.1 PRESENTATION 24
2.2 ALIMENTATION 24

3. MODELE DE L'AO IDEAL 25

3.1 DEFINITION 25
3.2 REGIMES DE FONCTIONNEMENT 25
3.2.1 Fonctionnement sans contre-réaction 26
Fonctionnement avec contre-réaetion sur la borne – 26

4. MONTAGES AMPLIFICATEURS DE BASE 27

4.1 AMPLIFICATEUR INVERSEUR 27
4.2 MONTAGE NON INVERSEUR 27

5. AUTRES MONTAGES 27

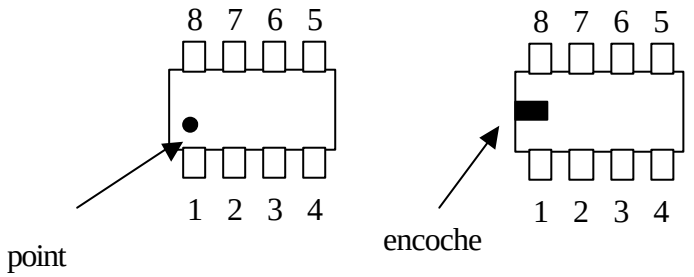
1. Préambule

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, fi1tres, ...) 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.



1. compensation du décalage
2. **entrée inverseuse**
3. **entrée non inverseuse**
4. alimentation négative
5. compensation du décalage
6. **sortie**
7. **alimentation positive**
8. non connectée

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

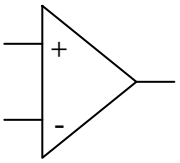


Figure 6.2. Représentation de l'A.O.

2.2 Alimentation

Comme pour tout circuit ampli6cateur, 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.

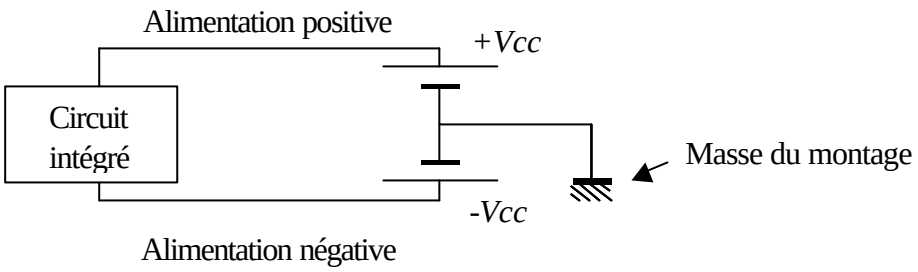


Figure 6.3. Alimentation d'un AO par deux sources de tension.

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 $e_{sat} \approx 0$.

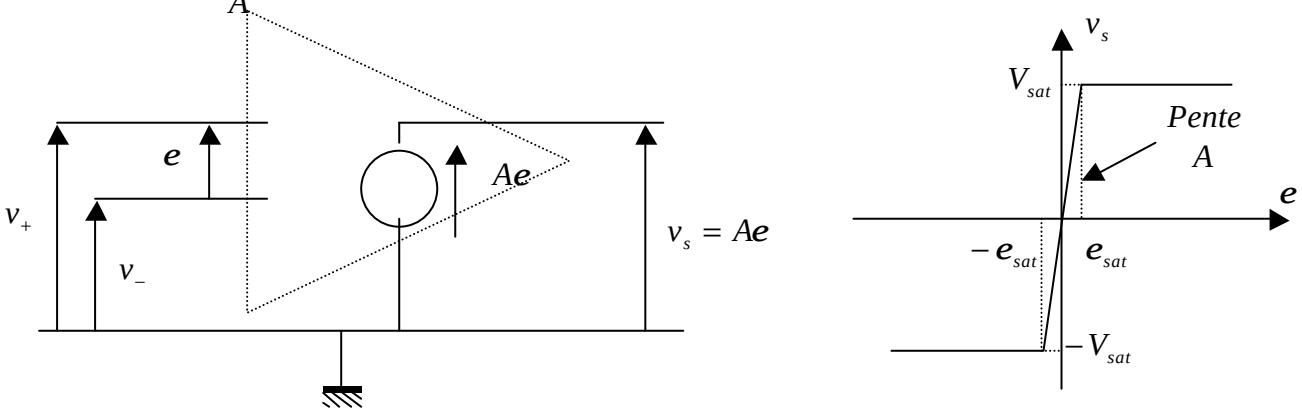


Figure 6.4. Modèle de l'AO idéal.

➔ **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 $\begin{cases} e = 0 \\ -V_{sat} < v_s < +V_{sat} \end{cases}$
- en zone de saturation $\begin{cases} v_s = -V_{sat} \text{ si } e < 0 \\ v_s = +V_{sat} \text{ si } e > 0 \end{cases}$

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

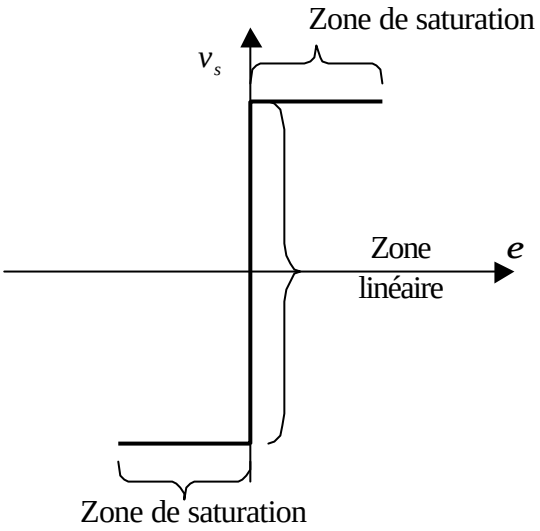


Figure 6.5. Zones de fonctionnement sur la caractéristique de transfert.

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 $v_s = \pm V_{sat}$.

$$\text{Pour } e > e_{sat} \rightarrow v_s = +V_{sat}$$
$$\text{Pour } e < e_{sat} \rightarrow v_s = -V_{sat}$$

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-réaetion sur la borne –

On considère le montage de la figure 6.6.

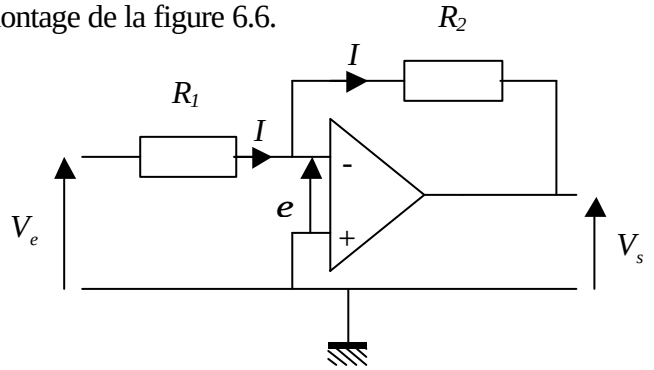


Figure 6.6. Montage à contre-réaction.

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»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.

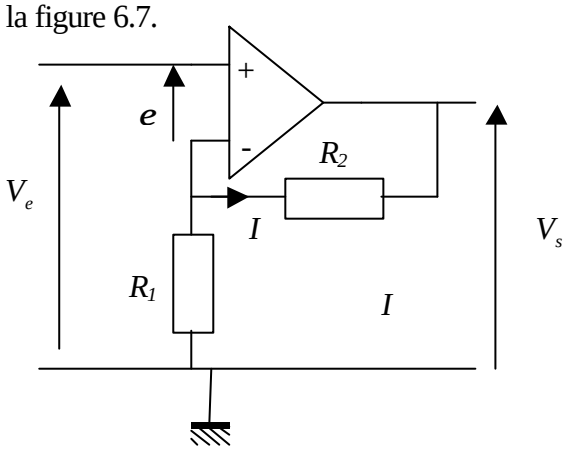


Figure 6.7. Montage non inverseur.

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.