

Chapitre VI : Amplificateurs opérationnels

OussamaTech Académie - 06.43.72.14.39 - Prof Oussama

Plan du sixième chapitre

1. Introduction
2. Schéma de base de l'amplificateur opérationnel
3. Amplificateur opérationnel parfait
4. Applications
5. Montage des AO en applications linéaires

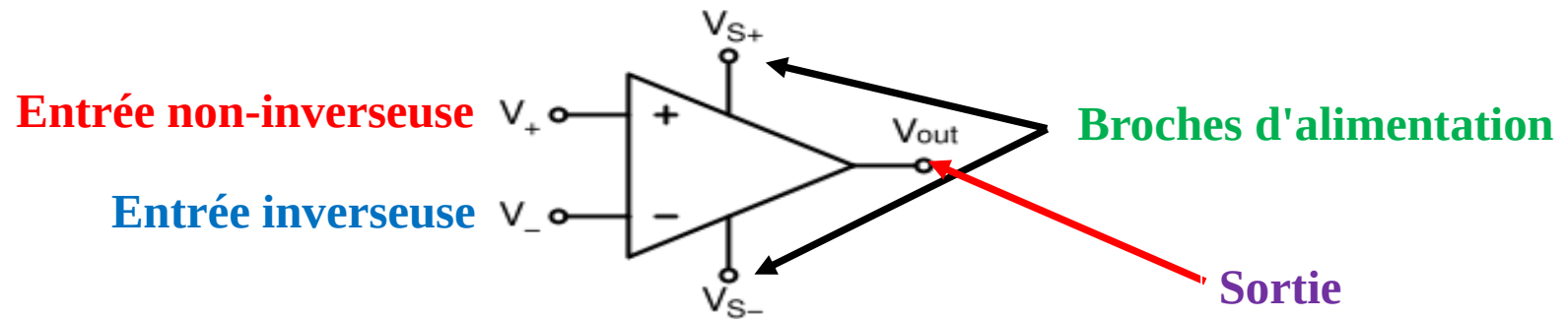
OussamaTech Académie - 06.43.72.14.39 - Prof Oussama

1. Introduction

Un amplificateur opérationnel est un amplificateur différentiel qui 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. C'est un amplificateur électronique qui amplifie une tension électrique présente à ses entrées. Il a été fabriqué pour effectuer des opérations mathématiques dans les calculateurs analogiques (addition, soustraction, intégration et dérivation). 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, les oscillateurs, ...

2. Schéma de base de l'amplificateur opérationnel

Sur la figure ci-dessous, nous présentons un Amplificateur Opérationnel (AO) avec les différents brochages :



Amplificateur Opérationnel

Un AO dispose au minimum de deux entrées, de deux broches d'alimentation et d'une sortie. L'entrée notée V_+ est dite **non-inverseuse** tandis que l'entrée V_- est dite **inverseuse** en raison de leur rôle dans les relations entrée/sortie de l'amplificateur. La différence de potentiel entre ces deux entrées est appelée **tension différentielle d'entrée**.

Remarques importantes :

La broche d'alimentation positive repérée V_{S+} est parfois aussi appelée V_{DD} , V_{CC} , ou V_{CC+} . La broche d'alimentation négative repérée V_{S-} est parfois aussi appelée V_{SS} , V_{EE} , ou V_{CC-} . Les appellations V_{CC} et V_{EE} sont généralement réservées aux AO bipolaire tandis que les appellations V_{DD} et V_{SS} sont généralement réservées aux AO à effet de champ.

Le **C** de V_{CC} signifie que l'alimentation est reliée au collecteur d'un transistor bipolaire tandis que le **E** de V_{EE} signifie que l'alimentation est reliée à l'émetteur d'un transistor bipolaire. Le **D** de V_{DD} fait référence au drain d'un transistor à effet de champ tandis que le **S** de V_{SS} fait référence à la source de ce même transistor.

Suivant les applications, l'AO peut aussi être doté de deux broches pour la compensation d'*offset* ainsi que d'une broche pour le réglage de la compensation fréquentielle.

3. Amplificateur opérationnel parfait

L'amplificateur opérationnel parfait possède un gain différentiel, une impédance d'entrée, ainsi qu'une vitesse de balayage infinie et un gain de mode commun ainsi qu'une résistance de sortie nulle. De plus, il ne possède pas de tension d'offset ni de courant de polarisation. Ces caractéristiques traduisent le fait que l'amplificateur opérationnel parfait ne perturbe pas le signal qu'il va amplifier et que sa tension de sortie dépend uniquement de la différence de tension entre ses deux entrées.

La présence d'un gain différentiel infini implique que la moindre différence de potentiel entre les deux entrées de l'amplificateur l'amènera à saturer. Si l'on ne désire pas que la tension de sortie de l'amplificateur soit uniquement limitée à $\pm V_{sat}$ suivant le signe de la différence de potentiel entre les deux entrées de l'amplificateur, l'utilisation d'une contre-réaction négative est obligatoire.

La contre-réaction sur l'entrée inverseuse (ou contre-réaction négative) d'un AO parfait permet de soustraire une partie du signal de sortie au signal d'entrée de l'amplificateur. On parle alors de mode linéaire, car on peut faire varier la tension de sortie entre $\pm V_{sat}$ suivant la tension appliquée en entrée de l'amplificateur. L'absence d'une contre-réaction sur l'entrée non-inverseuse de l'AO parfait amènera l'amplificateur en saturation positive ou négative suivant le signal appliqué en entrée. On parle alors de mode comparateur (ou saturé).

Remarques :

Un AO réel possède un certain nombres de limitations par rapport au AO parfait : présence d'un offset en entrée, influence de la tension de mode commun sur la tension de sortie, impédance non nulle en sortie, impédance non infinie en entrée et variation en fréquence du gain. De plus, la tension de sortie peut être influencée par des variations de tensions d'alimentation et possède une **vitesse de balayage** finie.

Les amplificateurs ont plusieurs applications qui dépendent essentiellement de leurs caractéristiques (AO différentiel, AO très grand gain, AO suiveur, AO d'erreur, AO comparateur de tension, Oscillateur, Filtre actif analogique, Amplificateur inverseur de tension, Amplificateur à résistance négative).

4. Applications

L'utilisation se fait soit en **mode continu** ou en **mode linéaire**. Le choix du mode s'effectue par la différence des contre réactions des entrées e^+ et e^- sur la sortie s (impédance que l'on notera Z^+ et Z^- en ohm). Si :

$Z^- < Z^+$: on est en régime linéaire

$Z^- = Z^+$: on est en régime commutation

a- Mode linéaire

La remarque particulière pour ce mode c'est que les potentiels e^+ et e^- sont égaux. Une fois cette donnée prise en compte pour les calculs de gain, la théorie la plus appropriée est l'utilisation de **la relation de Millman**.

b- Mode comparateur (ou saturé)

Un AO parfait possède deux entrées repérées $+$ et $-$. Dans son mode opérateur logique, on utilise sa propriété de très grand gain (A_V) pour comparer deux signaux. Le facteur d'amplification n'est donc plus externe mais interne et l'on obtient :

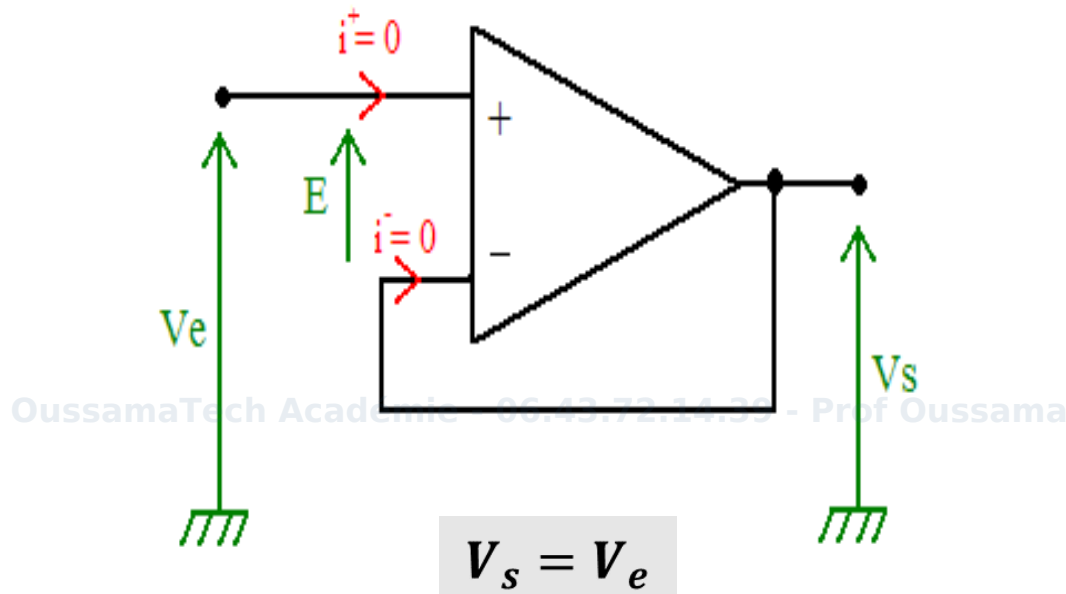
$$\textit{Tension de sortie} = A_V \cdot [V^+ - V^-]$$

Il ne fonctionne plus en « amplification » traditionnelle, mais en **tout ou rien** logique ou comparateur de tension (car le coefficient d'amplification interne A_V est très grand, assimilé à la valeur infinie pour un AO idéal), c'est-à-dire qu'en sortie il n'y a que deux états stables possibles :

- Si l'entrée + est supérieure (en tension) à l'entrée - : la sortie = $+V_{sat}$.
- Si l'entrée + est inférieure (en tension) à l'entrée - : la sortie = $-V_{sat}$.

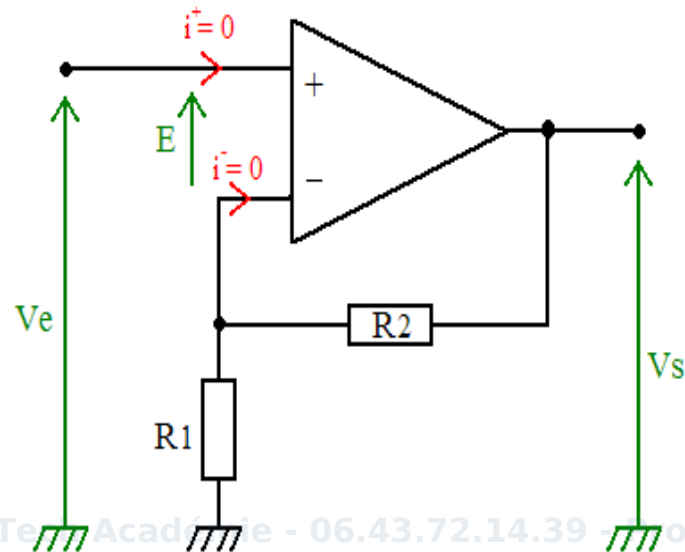
5. Montage des AO en applications linéaires

a. Amplificateur suiveur de tension



Remarque : La résistance en entrée du montage est **infinie**. Le suiveur de tension permet de prélever une tension sans la perturber, car il possède un **courant d'entrée nul**. On le rencontre donc régulièrement lors de la présence de sonde.

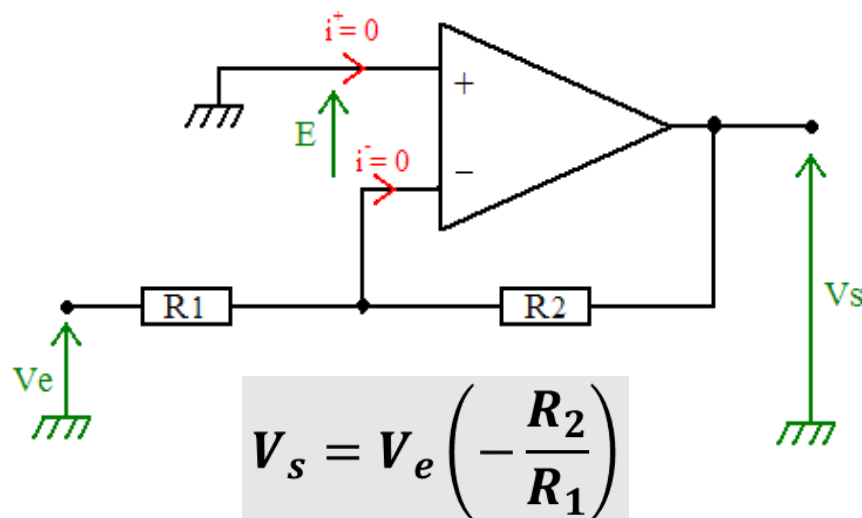
b. Amplificateur de tension non-inverseur



$$V_s = V_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Remarque : L'amplitude de V_s est supérieure à celle de V_e (c'est pour cela qu'il est "non-inverseur"). La résistance en entrée du montage est **infinie**. Donc le **courant d'entrée est nul**.

c. Amplificateur de tension inverseur



OussamaTech Académie - 06.43.72.14.39 - Prof Oussama

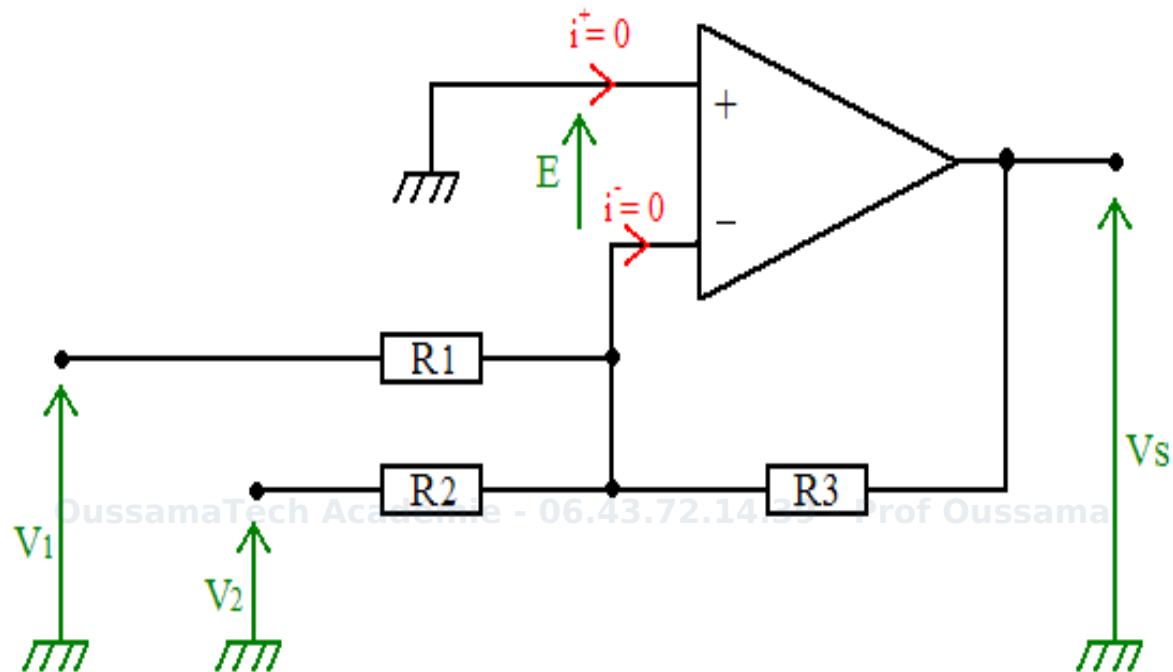
Remarque : V_s peut être soit :

-**amplifiée** : lorsque $R_1 > R_2$

-**atténuée** : lorsque $R_1 < R_2$

La résistance d'entrée du montage est R_1 , donc cette résistance ne peut pas être très élevée par rapport aux autres montages illustrés précédemment.

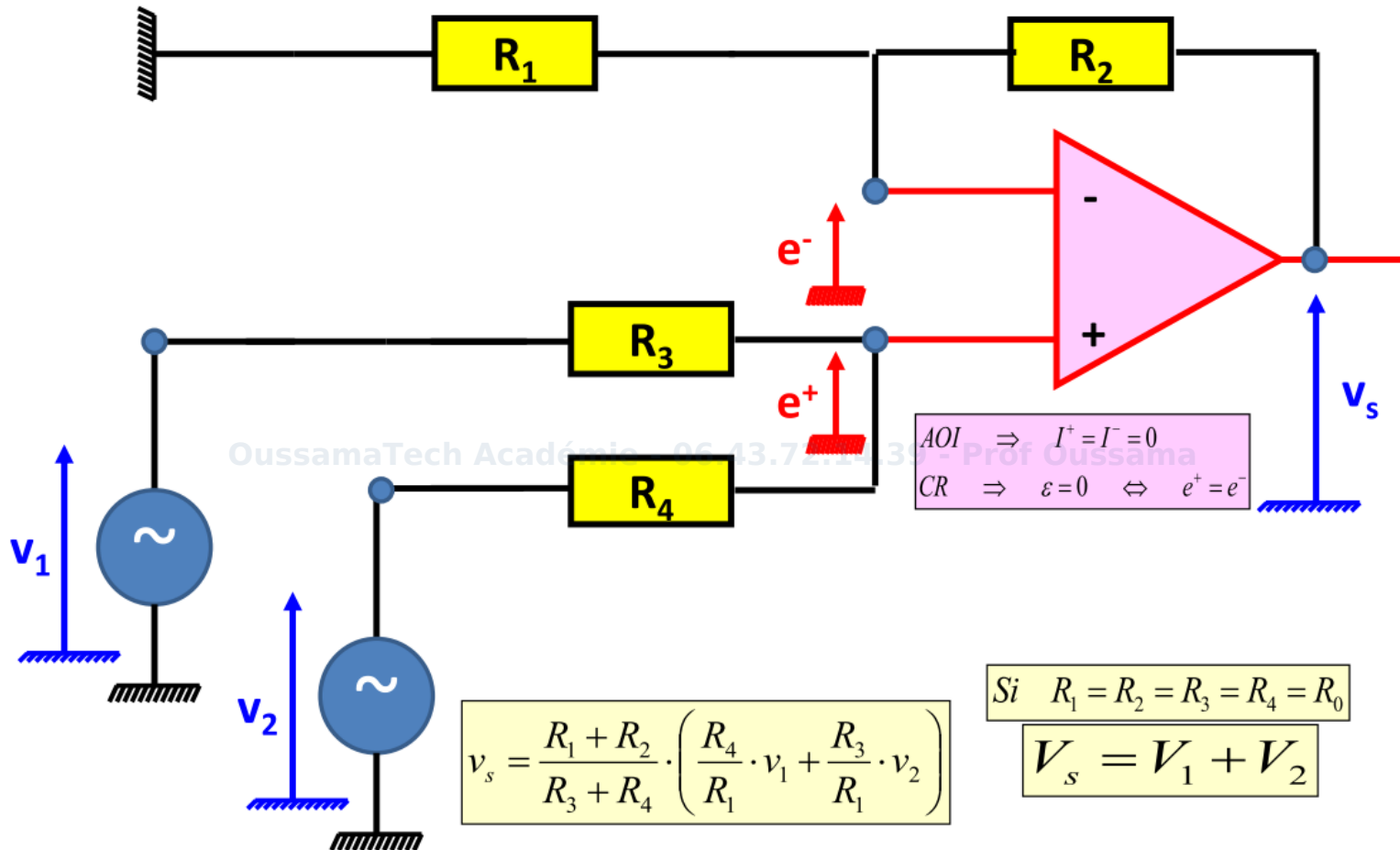
d. Amplificateur sommateur



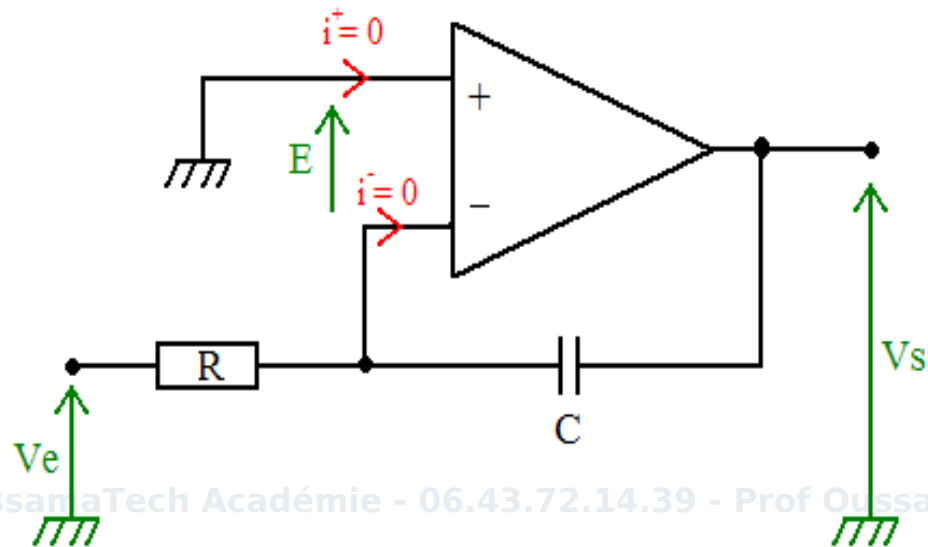
$$v_s = -\left(\frac{R_3}{R_1} \cdot v_1 + \frac{R_3}{R_2} \cdot v_2\right)$$

Remarque : Si $R_1 = R_2 = R_3$. Alors : $V_s = -(V_1 + V_2)$

e. Additionneur non-inverseur



f. Intégrateur inverseur



OussamaTech Académie - 06.43.72.14.39 - Prof Oussama

$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$$

Remarque : Une résistance (de valeur élevée) peut être placée en parallèle sur C pour stabiliser le point de repos (V_s sature lorsque $V_e = I_e = 0$).