

# GELE2112 Chapitre 4 : Amplificateur opérationnel

Gabriel Cormier, PhD

Université de Moncton

Hiver 2009

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur
  - Amplificateur inversant

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur
  - Amplificateur inversant
  - Amplificateur sommateur

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur
  - Amplificateur inversant
  - Amplificateur sommateur
  - Amplificateur non-inversant

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur
  - Amplificateur inversant
  - Amplificateur sommateur
  - Amplificateur non-inversant
  - Amplificateur différentiel

# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur
  - Amplificateur inversant
  - Amplificateur sommateur
  - Amplificateur non-inversant
  - Amplificateur différentiel
  - Procédure générale



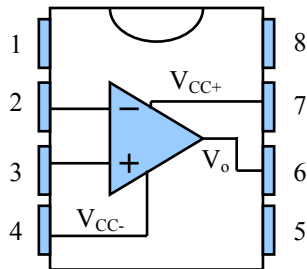
# Contenu

Ce chapitre présente une composante électronique très utilisée, l'amplificateur opérationnel.

- Notions de base
- Mode amplificateur
  - Amplificateur inversant
  - Amplificateur sommateur
  - Amplificateur non-inversant
  - Amplificateur différentiel
  - Procédure générale
- Mode comparateur

# Amplificateur opérationnel

L'ampli-op le plus commun : développé en 1968 par Fairchild Semiconductor ; le  $\mu A741$ .



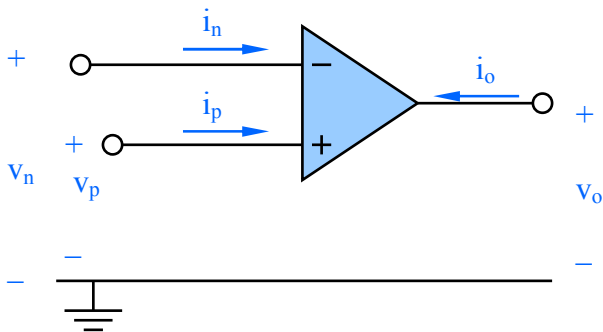
# Bornes

L'ampli-op possède cinq bornes qui sont d'intérêt pour ce cours :

- 1 Entrée inversante  $v_n$  (l'entrée avec le  $-$ )
- 2 Entrée non-inversante  $v_p$  (l'entrée avec le  $+$ )
- 3 Sortie  $v_o$
- 4 Alimentation positive  $V_{CC+}$
- 5 Alimentation négative  $V_{CC-}$

# Bornes

## Schéma de l'ampli-op



# Propriétés

- Gain très élevé : de l'ordre de 200 000 pour des amplis pratiques.
- Équation du gain :  $v_o = A(v_p - v_n)$ , où  $A$  est le gain.
- Sortie limitée :  $V_{CC-} < v_o < V_{CC+}$

Deux modes de fonctionnement :

- 1 Mode amplificateur
- 2 Mode comparateur

Dans le mode amplificateur, il y a *toujours* un parcours entre la sortie et l'entrée  $-$  : c'est du feedback négatif. Sans ce parcours, l'ampli-op fonctionne en mode comparateur.

# Mode amplificateur

Deux suppositions importantes :

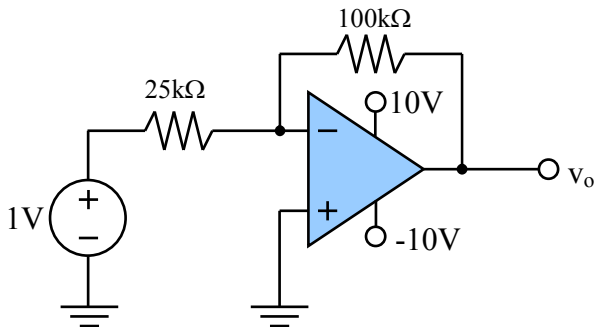
Règles importantes :

- 1  $v_p = v_n$
- 2  $i_p = i_n = 0$

Le reste de l'analyse se fait avec les techniques des chapitres précédents : lois de Kirchhoff, méthode des tensions de noeud, etc.

# Exemple

Calculer la tension de sortie  $v_o$ .



## Exemple

Mode amplificateur : parcours entre la sortie et la borne  $-$  (à travers la résistance de  $100k\Omega$ ).

Appliquer les suppositions :  $v_n = v_p = 0$ , puisque  $v_n$  est mis à terre, et  $i_p = i_n = 0$ .

Puisque  $i_n = 0$ ,  $i_{25k\Omega} = i_{100k\Omega}$ . On a donc :

$$\frac{v_{in} - v_n}{25000} = \frac{v_n - v_o}{100000}$$

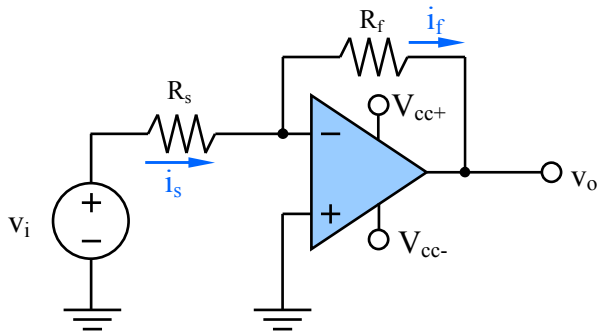
et puisque  $v_n = 0$ ,

$$\frac{1 - 0}{25000} = \frac{0 - v_o}{100000} \Rightarrow v_o = -4V$$



# Amplificateur inversant

- Configuration la plus commune.



# Amplificateur inversant

- $v_n = v_p = 0$
- $i_p = i_n = 0$

On peut dire que  $i_s = i_f$ .

$$i_s = \frac{v_i - v_n}{R_s} = \frac{v_i}{R_s} \quad (1)$$

On applique le même raisonnement pour trouver le courant  $i_f$  :

$$i_f = \frac{v_n - v_o}{R_f} = -\frac{v_o}{R_s} \quad (2)$$

Avec ces deux équations, on obtient :

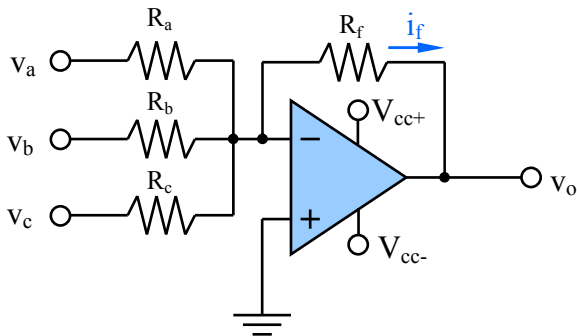
$$v_o = -\frac{R_f}{R_s} v_i \quad (3)$$

# Amplificateur inversant

- La tension de sortie sera une version amplifiée de la tension à l'entrée.
- Le signe négatif est la raison pour laquelle on appelle cette configuration *inversante*.
- L'équation 3 est seulement valide si la sortie est entre  $V_{CC-}$  et  $V_{CC+}$ .

# Sommateur

- Utilisé pour additionner des tensions.



# Sommateur

Mode amplificateur, donc :

- $v_n = v_p = 0$
- $i_p = i_n = 0$

On fait la somme des courants à la borne  $-$  :

$$\frac{v_a - v_n}{R_a} + \frac{v_b - v_n}{R_b} + \frac{v_c - v_n}{R_c} - \frac{v_n - v_o}{R_f} = 0 \quad (4)$$

La sortie est :

$$v_o = - \left( \frac{R_f}{R_a} v_a + \frac{R_f}{R_b} v_b + \frac{R_f}{R_c} v_c \right) \quad (5)$$

# Sommateur

Si les trois résistances à l'entrée sont égales ( $R_a = R_b = R_c = R_s$ ), on peut simplifier :

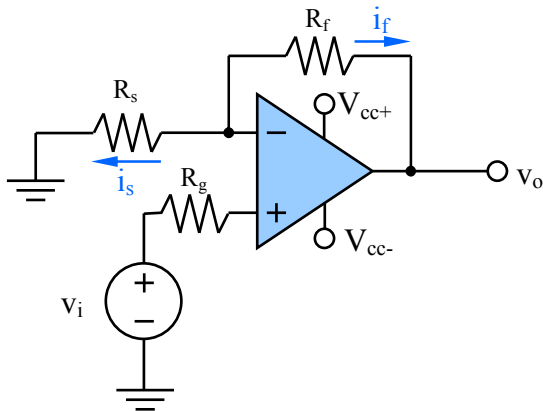
$$v_o = -\frac{R_f}{R_s}(v_a + v_b + v_c) \quad (6)$$

On voit bien que la sortie est la somme des trois entrées.

Le nombre d'entrées n'est pas limité à 3 : on peut additionner autant de signaux que l'on veut. Par exemple, on pourrait additionner les 16 canaux d'un signal audio.

# Amplificateur non-inversant

- Un amplificateur qui n'inverse pas la polarité de l'entrée.



# Amplificateur non-inversant

Mode amplificateur, donc :

- $v_n = v_p = v_i$
- $i_p = i_n = 0$

On fait la somme des courants à la borne négative de l'ampli-op :

$$\frac{v_i - 0}{R_s} - \frac{v_o - v_i}{R_f} = 0 \quad (7)$$

ce qui donne :

$$\frac{v_i}{R_s} + \frac{v_i}{R_f} = \frac{v_o}{R_f} \quad (8)$$

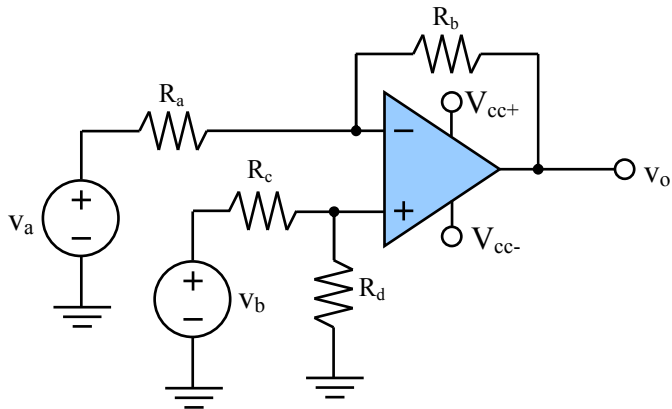
qu'on simplifie,

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_s}\right) v_i \quad (9)$$



# Amplificateur différentiel

- Permet de soustraire deux tensions.



# Amplificateur différentiel

Mode amplificateur, donc :

- $i_p = i_n = 0$
- $v_n = v_p$

Tension  $v_p$  (diviseur de tension) :

$$v_p = \frac{R_d}{R_c + R_d} v_b \quad (10)$$

Somme des courants à la borne négative de l'ampli-op :

$$\frac{v_a - v_n}{R_a} - \frac{v_n - v_o}{R_b} = 0 \Rightarrow \frac{R_b}{R_a} v_a - \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) v_n = -v_o \quad (11)$$

# Amplificateur différentiel

On combine les équations 10 et 11 (puisque  $v_n = v_p$ ), ce qui donne

$$\frac{R_b}{R_a}v_a - \left(\frac{R_a + R_b}{R_a}\right) \frac{R_d}{R_c + R_d}v_b = -v_o \quad (12)$$

et donc,

$$v_o = \left(\frac{R_d}{R_a} \frac{R_a + R_b}{R_c + R_d}\right) v_b - \frac{R_b}{R_a}v_a \quad (13)$$

# Amplificateur différentiel

Si on veut que les rapports de résistance soient égaux, il faut que :

$$\frac{R_d}{R_a} \frac{R_a + R_b}{R_c + R_d} = \frac{R_b}{R_a} \quad (14)$$

ou,

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_c}{R_d} \quad (15)$$

Dans ce cas-là, on obtient

$$v_o = \frac{R_b}{R_a} (v_b - v_a) \quad (16)$$

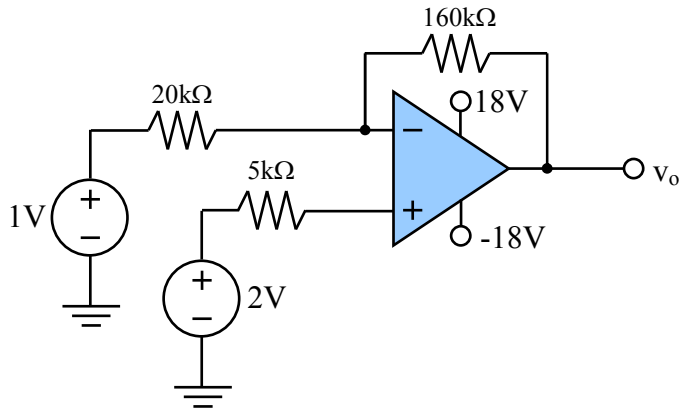
# Procédure générale

La méthode générale à suivre lorsqu'on solutionne des problèmes d'un ampli-op en mode amplificateur est la suivante :

- 1 Calculer la tension à la borne positive,  $v_p$ . Il ne faut pas oublier que  $i_p = 0$ .
- 2 Faire la somme des courants à la borne négative, tout en n'oubliant pas que  $i_n = 0$ .
- 3 Appliquer le principe que  $v_n = v_p$ .
- 4 Solutionner pour  $v_o$  en fonction de  $v_i$ .
- 5 Vérifier que  $V_{cc-} < v_o < V_{cc+}$ .

## Exemple

Calculer la tension de sortie  $v_o$  pour le circuit suivant.



## Exemple

La tension  $v_p = 2V$ , puisque le courant  $i_p = 0$ .

À la borne négative, on fait la somme des courants, en supposant que le sens est vers la sortie :

$$\frac{1 - v_n}{20k} = \frac{v_n - v_o}{160k}$$

et puisque  $v_n = v_p = 2V$ ,

$$\frac{1 - 2}{20k} = \frac{2 - v_o}{160k}$$

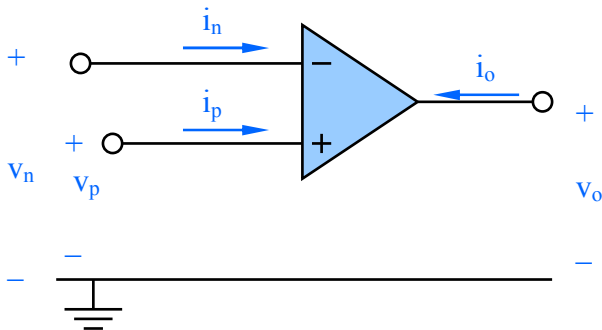
qu'on peut simplifier pour obtenir :

$$v_o = 2 + \frac{160k}{20k} = 10V$$

La sortie est comprise entre -18V et 18V.

# Le comparateur

Il n'y a pas de chemin de feedback entre la sortie et la borne négative.



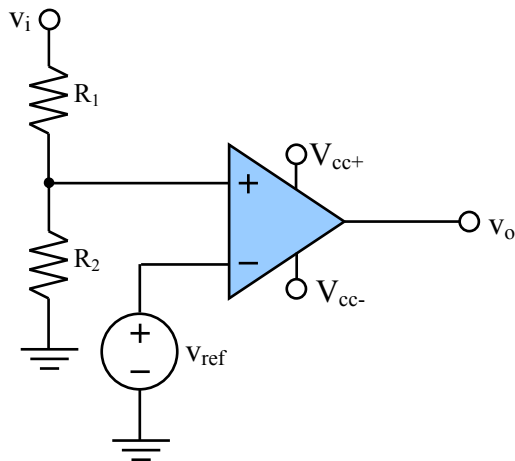
Le fonctionnement est assez simple :

- Si  $v_p > v_n$ , alors  $v_o = V_{cc+}$
- Si  $v_n > v_p$ , alors  $v_o = V_{cc-}$



## Exemple

Pour le circuit suivant, tracer la courbe de la sortie  $v_o$  vs l'entrée  $v_i$  si  $v_{ref} = 5V$ ,  $R_1 = 10k\Omega$  et  $R_2 = 40k\Omega$ .



## Exemple

La tension  $v_p$  est obtenue en appliquant un diviseur de tension, puisque le courant  $i_p = 0$ .

$$v_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i = \frac{40}{40 + 10} v_i = 0.8v_i$$

La sortie sera  $V_{cc+}$  lorsque  $v_p > v_n$ , ou  $0.8v_i > v_{ref}$  :

$$0.8v_i > v_{ref} \Rightarrow v_i > \frac{5}{0.8} = 6.25 \text{ V}$$

# Exemple

Le graphique est le suivant :

