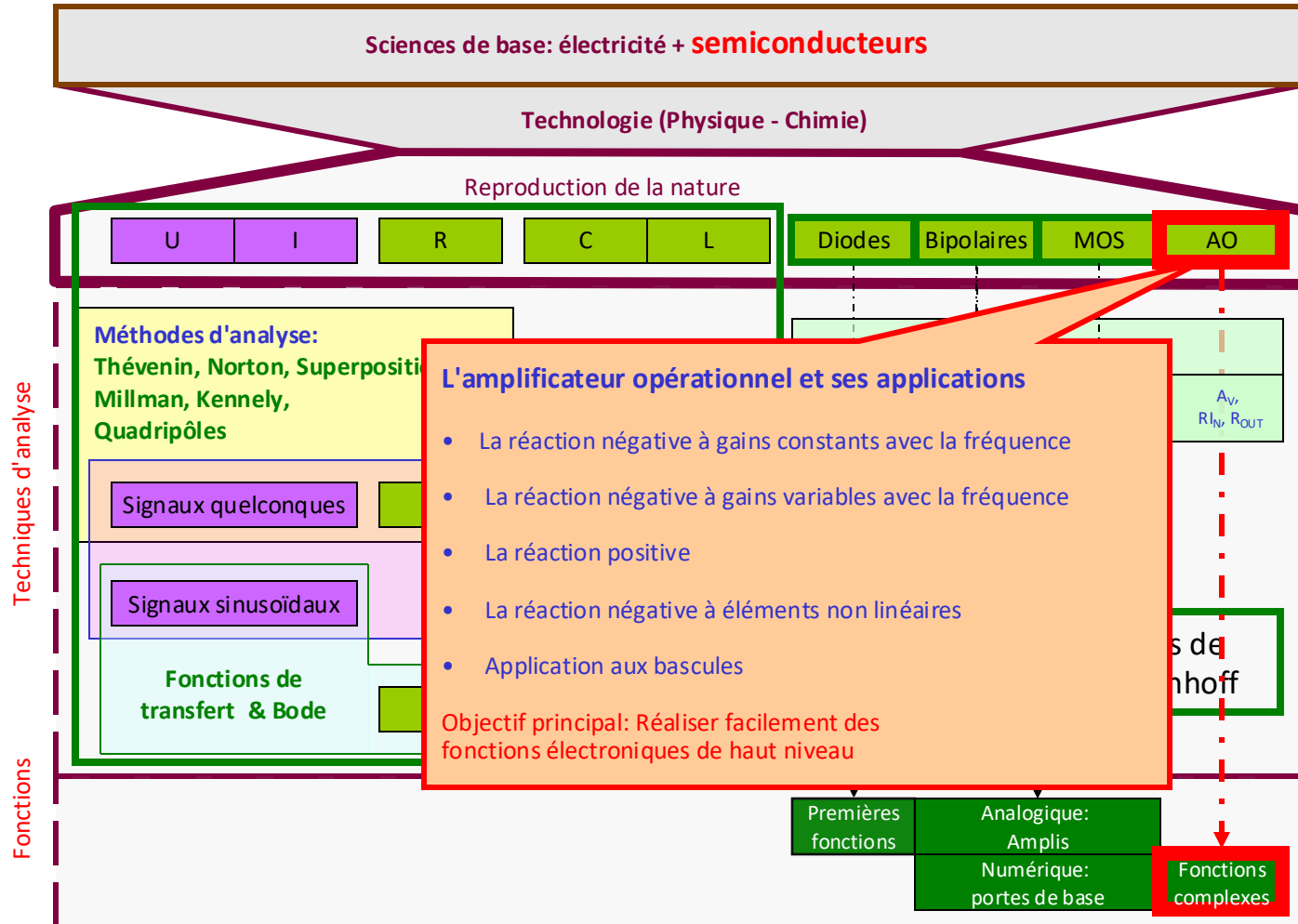


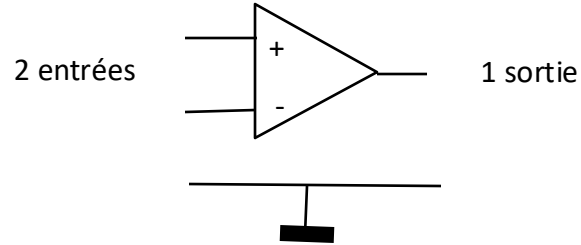
Relations entre les différentes notions



L'AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL (A.O.)

Observations

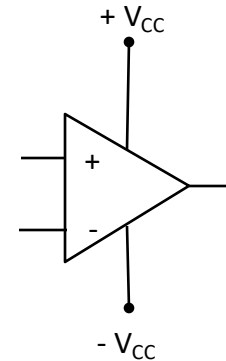
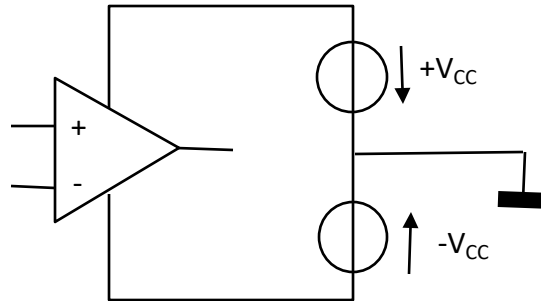
Symbole



Structure interne de l'AO: Environ 20 transistors

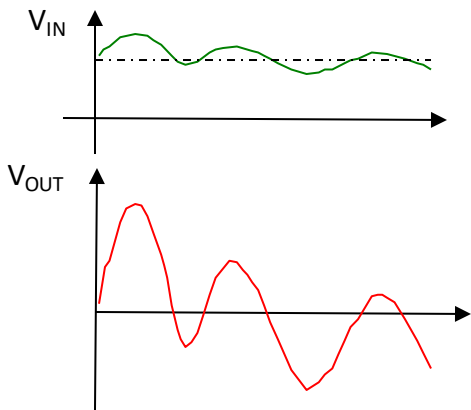
Alimentation DC:

V_{CC} , généralement de l'ordre de 15 à 18 V

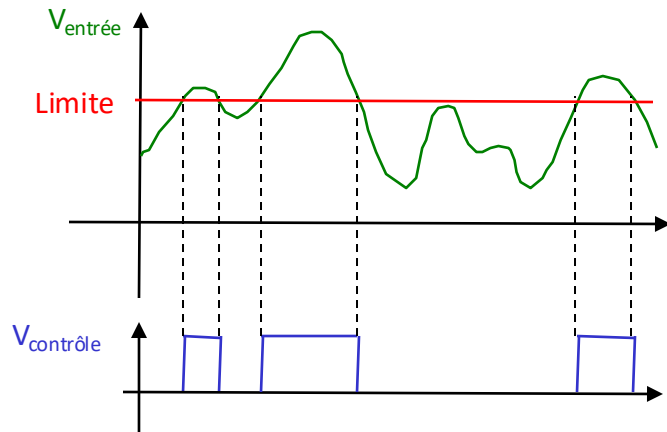


Applications [1]

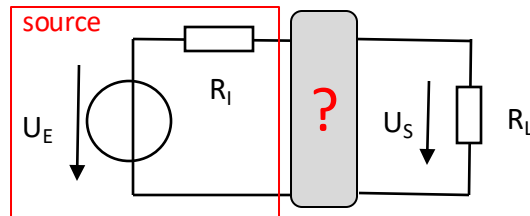
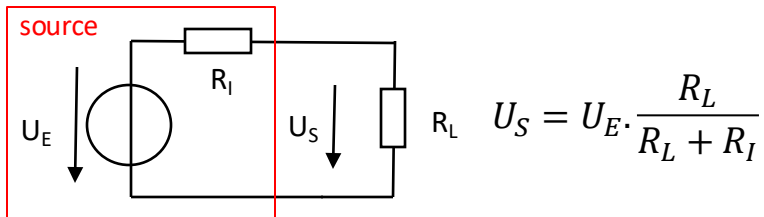
Amplification



Détecteur de seuil

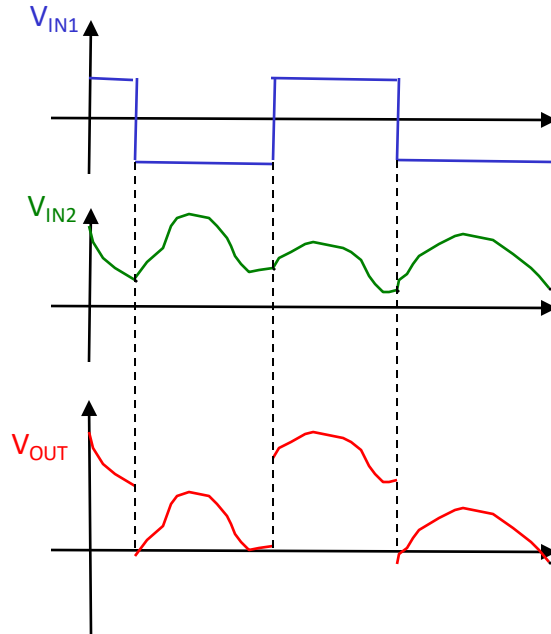


Adaptation d'impédance



Applications [2]

Mixage



Analyses mathématiques
(dérivées, intégrales)

Fonctions arithmétiques
(Exp, log, sh, ch, y^x)

Filtres actifs
(passe-bas, passe-haut, passe-bande, coupe-bande)

Redresseurs

Modulation (AM - Somme, FM - Produit)

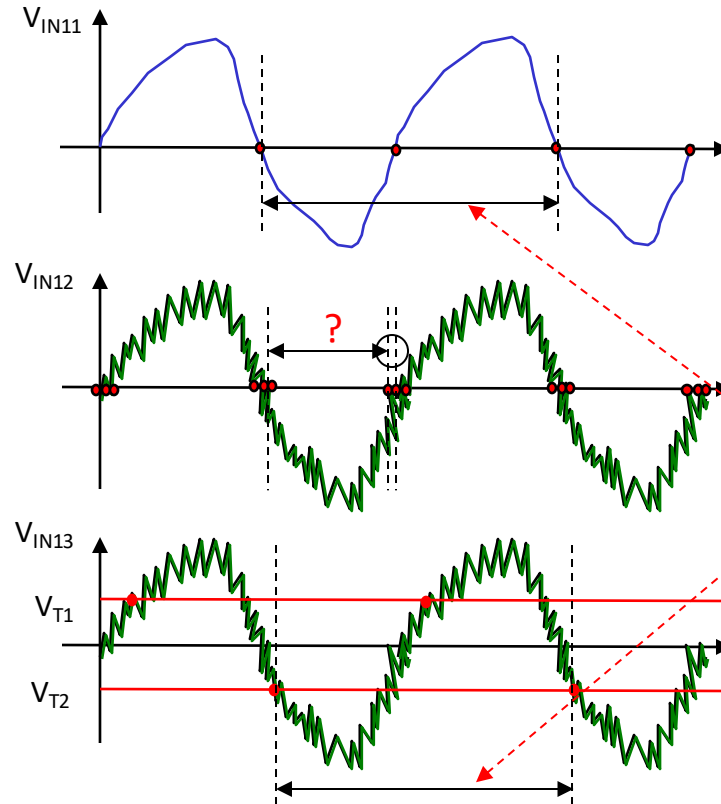
Générateurs de signaux (carrés, triangles)

Bascules

Oscillateurs (sin - orgue électrique)

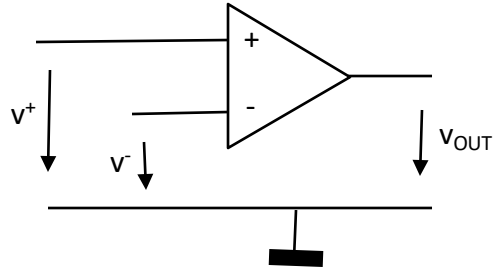
Applications [3]

Triggers



Calculer une base de temps

Propriétés idéales de l'A.O.



$$v_{out} = A(v^+ - v^-)$$

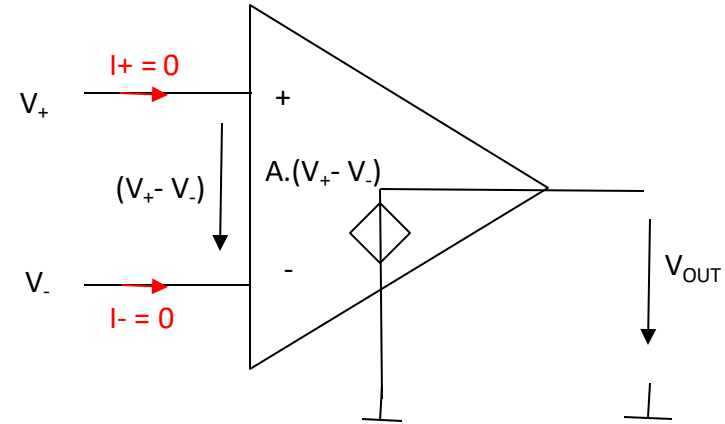
$$A \rightarrow \infty \quad (A > 100.000)$$

$$Z_{out} = 0$$

$$Z_{in} = \infty$$

si $v^+ = v^-$, $v_{out} = 0$.

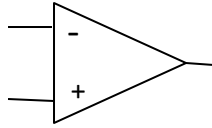
- L'ampli. différentiel amplifie aussi bien les signaux continus (DC) qu'alternatifs (AC).



Circuit équivalent de l'AO idéal

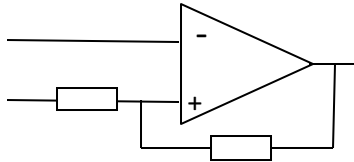
A.O. les différentes familles de montages

Boucle ouverte



Comparateur

Réaction positive

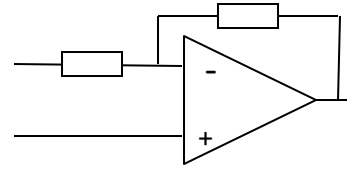


R, C, Combinaison R et C

Triggers, Bascules

Générateurs de signaux
carrés et triangulaires

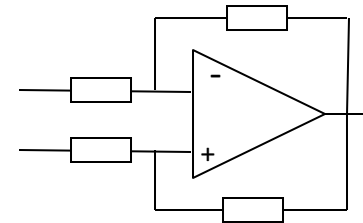
Réaction négative



R, C, Combinaison R et C,
diodes, transistors

Ampli., Filtres,
Conversion I, V
Adaptation
d'impédance,
Intégrateur
Dérivateur,
Redresseur

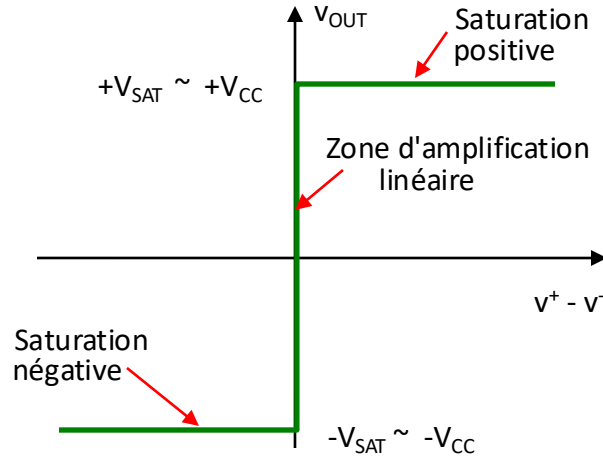
Réactions négative et positive



Oscillateur

R, C, Combinaison R et C

L'ampli. opérationnel en boucle ouverte



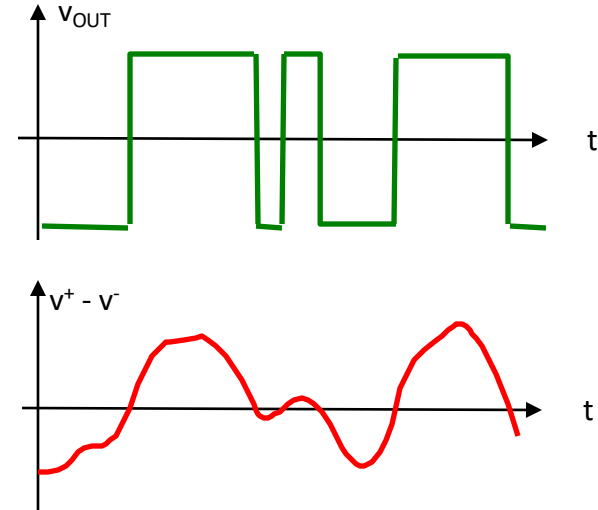
Zone linéaire

$$V_{out} = A(v^+ - v^-)$$

avec $A = \text{infini}$ on a $v^+ - v^- = 0$

Zone de saturation

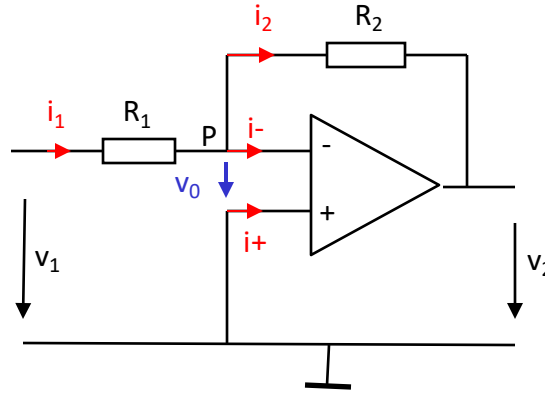
$$V_{out} = \pm V_{sat} \approx \pm V_{cc}$$



Fonctionnement de l'AO en boucle ouverte :
Fonctionnement en **comparateur**

La réaction négative ou "contre-réaction"

Le principe



$$v_{\text{out}} = A(v^{+} - v^{-})$$

$$A \rightarrow \infty \quad (A > 100.000)$$

$$Z_{\text{out}} = 0$$

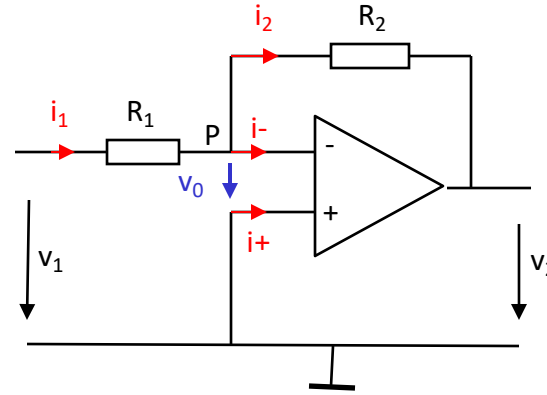
$$Z_{\text{in}} = \infty$$

Réflexes

- 1) $i_{+} = i_{-} = 0 \Rightarrow i_1 = i_2$
- 2) Il faut admettre : $v_0 \approx 0$ et $v_2 = A(v_{+} - v_{-}) = A.v_0$

MONTAGE LINÉAIRE À GAIN CONSTANT EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE

Amplificateur inverseur



En effet, on exploite deux réflexes

1. $i_+ = i_- = 0$ et $i_1 = i_2$
2. $v_0 = -v_2/A \rightarrow 0$ (négligeable)

On pose : $i_2 = \frac{(v_0 - v_2)}{R_2} = -\frac{v_2}{R_2}$ et $i_1 = \frac{(v_1 - v_0)}{R_1} = \frac{v_1}{R_1}$

On trouve finalement:

$$\frac{v_2}{v_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

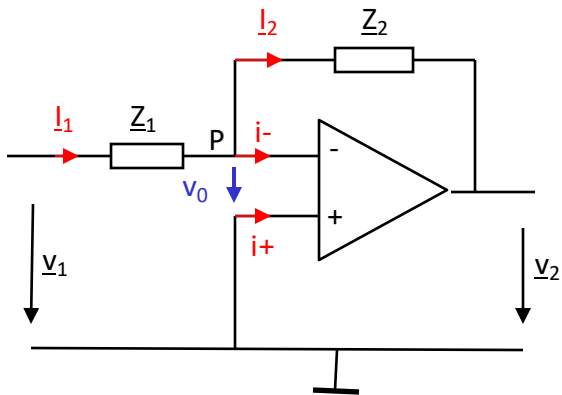
Gain:

- négatif,
- réduit ($\ll A$),
- indépendant de A

Le nœud P est une **masse virtuelle**

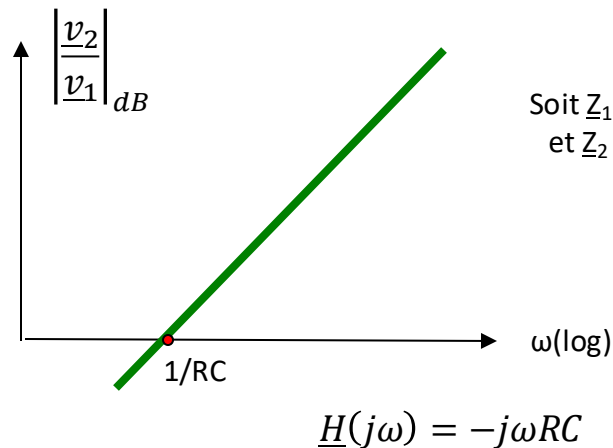
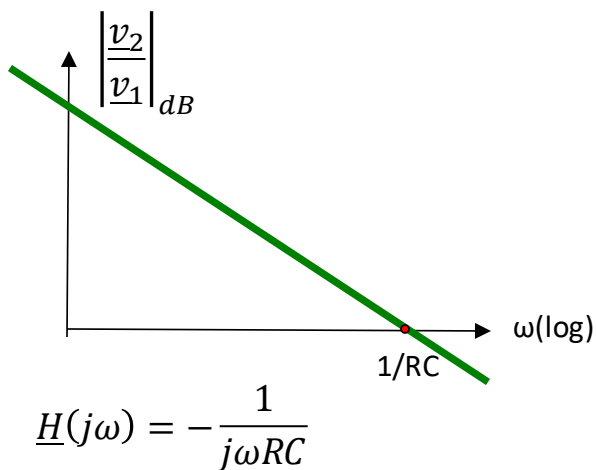
$$\underline{Z}_{IN} = \frac{v_1}{i_1} = R_1$$

Réaction négative avec des impédances (voir semaine suivante)



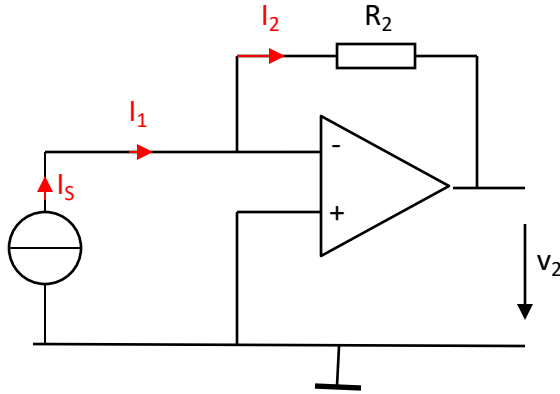
$$\underline{H}(j\omega) = \frac{v_2}{v_1} = -\frac{Z_2}{Z_1} \text{ et } Z_{IN} = Z_1$$

Soit Z_1 une résistance
et Z_2 une capacité:



Soit Z_1 est une capacité
et Z_2 une résistance:

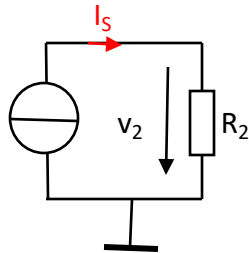
Conversion courant/tension



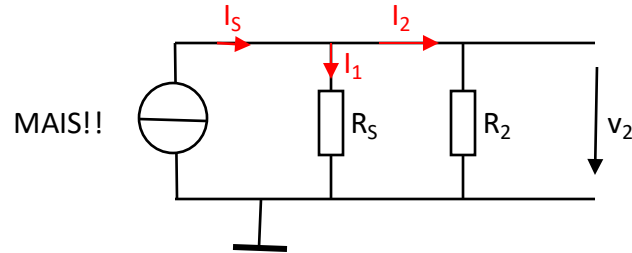
$$I_S = I_1 = I_2$$

$$I_2 = -\frac{v_2}{R_2} \Rightarrow v_2 = -R_2 \cdot I_S$$

Pourquoi ne pas avoir réalisé la conversion courant tension à l'aide d'une simple résistance, puisque, par application de la loi d'Ohm, on aurait directement :

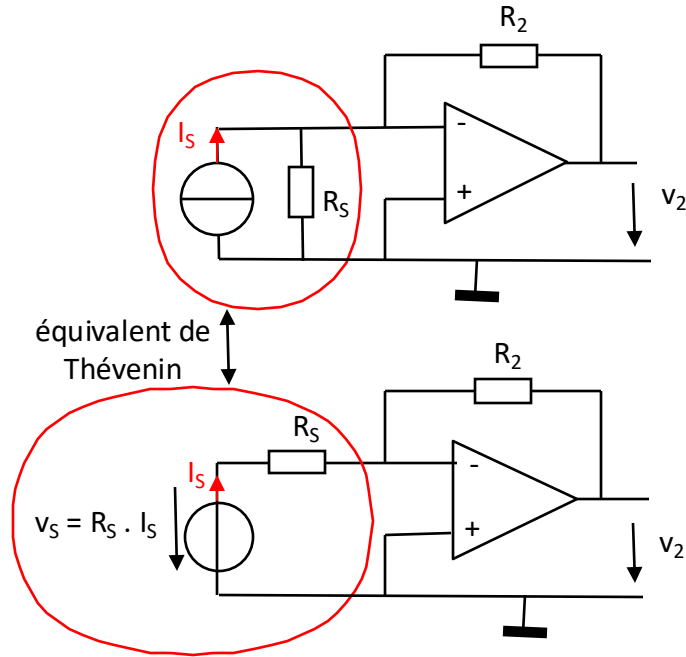


$$V_2 = R_2 \cdot I_S$$



$$I_2 = I_S \cdot \frac{R_S}{R_S + R_2} \text{ et } v_2 = R_2 \cdot I_2 = I_S \cdot \frac{R_2 \cdot R_S}{R_S + R_2}$$

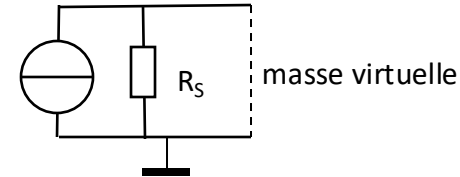
Conversion courant/tension: Avec l'Ampli. Op.



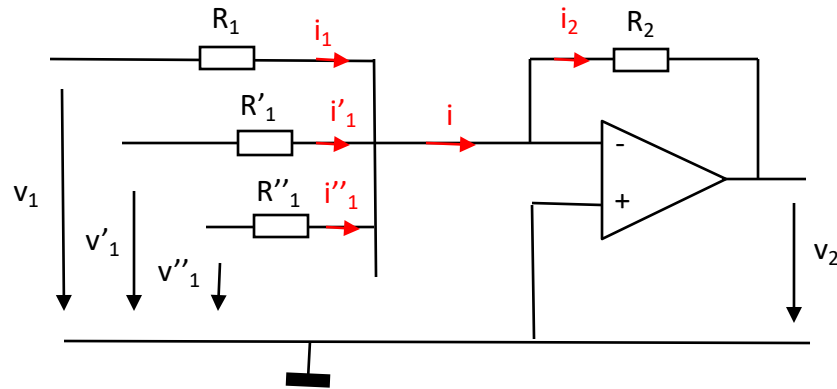
$$v_2 = -R_S \cdot I_S \cdot \frac{R_2}{R_S} = -R_2 \cdot I_S$$

R_S n'intervient pas

La source de courant débite sur le point de masse virtuelle, c'est-à-dire l'équivalent de la masse.



Le sommateur



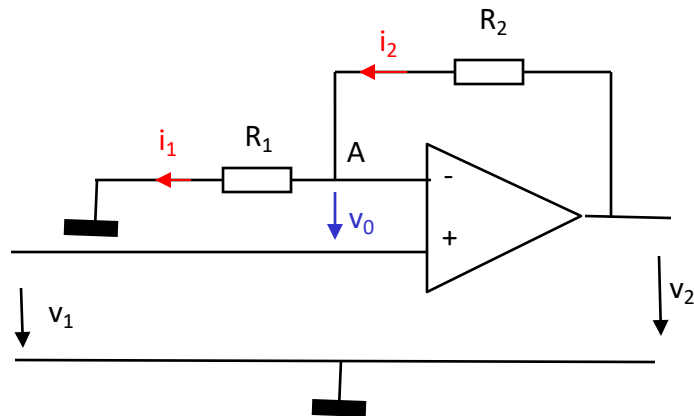
$$i_1 = \frac{v_1}{R_1}, i'_1 = \frac{v'_1}{R'_1}, i''_1 = \frac{v''_1}{R''_1}$$

$$v_2 = -R_2 \cdot I_2 = -R_2 \cdot I$$

$$i = i_1 + i'_1 + i''_1 + \dots = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v'_1}{R'_1} + \frac{v''_1}{R''_1} + \dots$$

$$v_2 = -R_2 \cdot \left[\frac{v_1}{R_1} + \frac{v'_1}{R'_1} + \frac{v''_1}{R''_1} + \dots \right]$$

Ampli non-inverseur



$$v_0 \rightarrow 0 \quad \text{et} \quad v_A = v_1$$

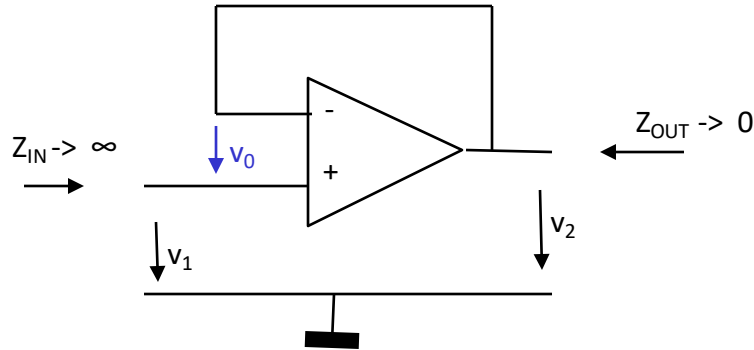
$$\left. \begin{aligned} i_2 &= \frac{(v_2 - v_1)}{R_2} \\ i_1 &= \frac{v_1}{R_1} \end{aligned} \right\} i_1 = i_2$$

$$\frac{(v_2 - v_1)}{R_2} = \frac{v_1}{R_1} \Rightarrow \frac{v_2}{R_2} = v_1 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$A_V = \frac{v_2}{v_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

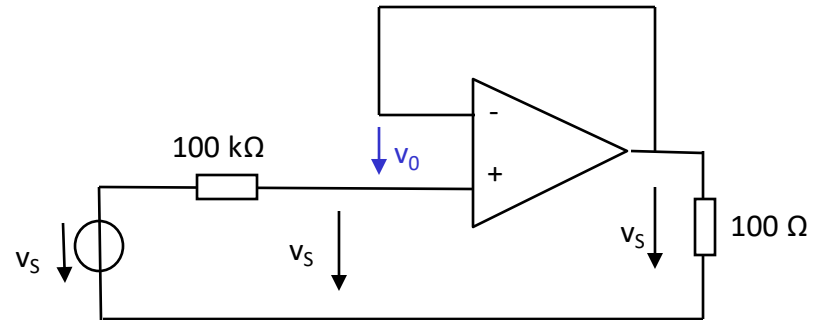
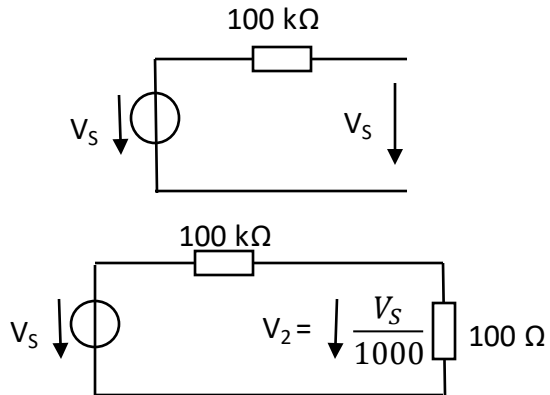
- 1 gain positif > 1
- 2 $Z_{in} \rightarrow \text{infini}$:
Ce point est un avantage vis-à-vis de l'ampli. inverseur
- 3 cas particulier très important : $R_1 \rightarrow \infty \quad R_2 = 0$

le "suiveur de tension" ou "voltage follower"



dans ce cas, $A_v = 1$.

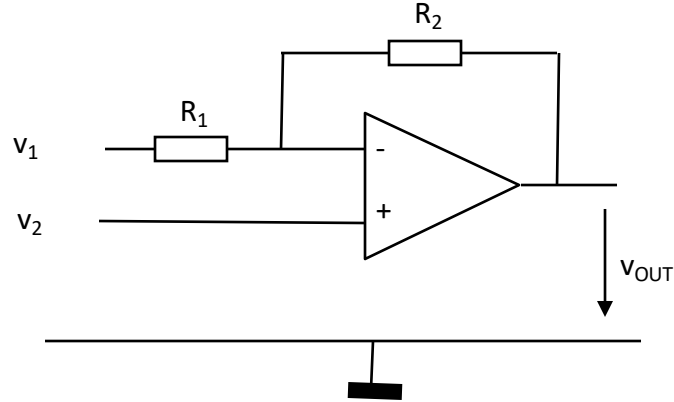
Exemple



Cas général

Les 2 entrées de l'ampli. sont utilisées simultanément.
Le principe de superposition est applicable, puisqu'on est en régime linéaire.

Résultats de l'ampli inverseur et non-inverseur

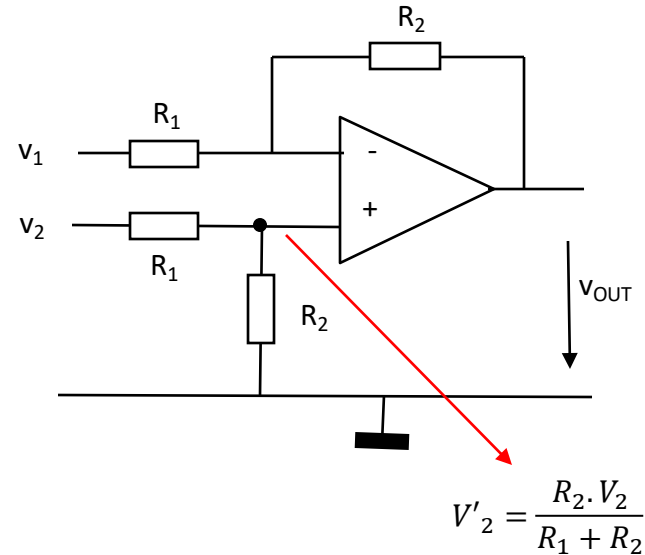
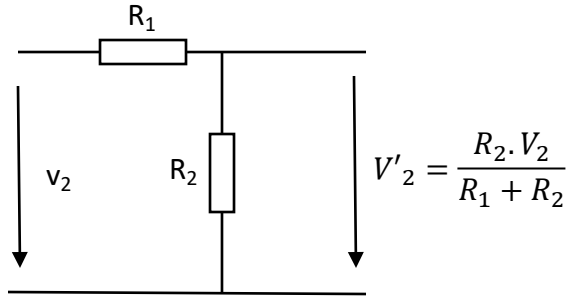


$$V_{OUT} = V_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Application : l'amplificateur différentiel

On souhaite obtenir une relation du type $v_{out} = A_D (v_2 - v_1)$

Le gain $V_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ doit être multiplié par $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ pour trouver le facteur $\frac{R_2}{R_1}$ (idem $V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$)



$$V_{OUT} = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

et Impédance d'entrée différentielle $Z_{in} = 2 R_1$

Amplificateur différentiel - variante à deux A.O. avec impédance d'entrée infinie

Prix à payer : un 2^e A.O est nécessaire

