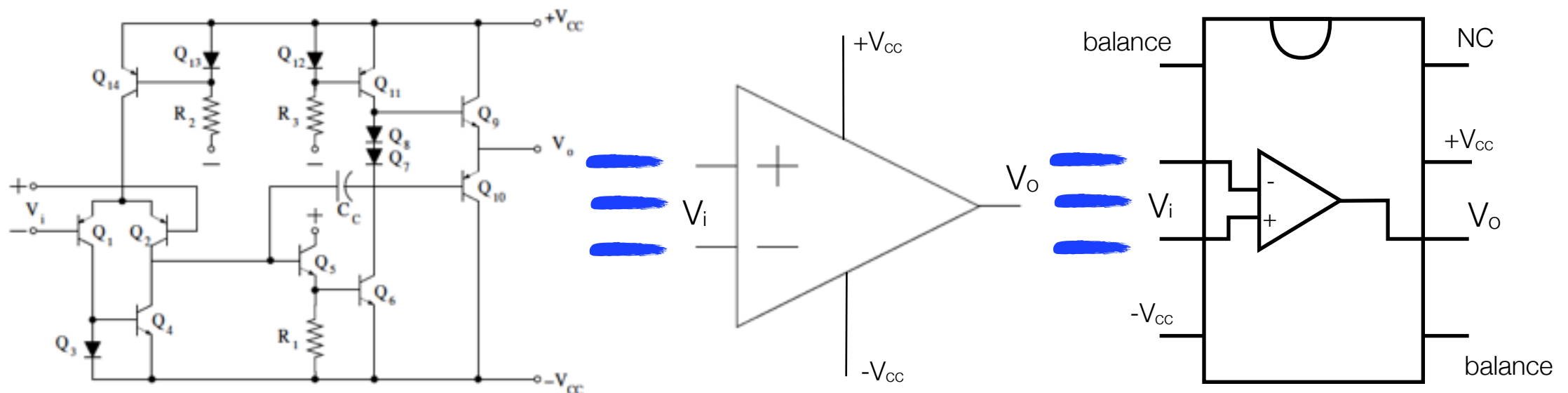


TP4: Les Amplificateurs Opérationnels

Sergio Gonzalez Sevilla
Antonello Miucci

Les amplificateurs opérationnels (OpAmp)

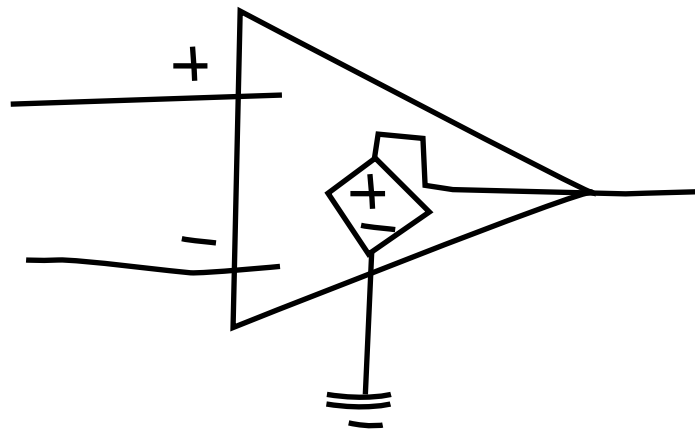
- Les amplificateurs opérationnels sont des circuits intégrés conçus initialement pour la résolution analogique de problèmes numériques.
- Que pouvons-nous faire avec les amplificateurs opérationnels ?
 - Additionner des signaux, différencier les signaux, créer un “buffer” des signaux, etc.



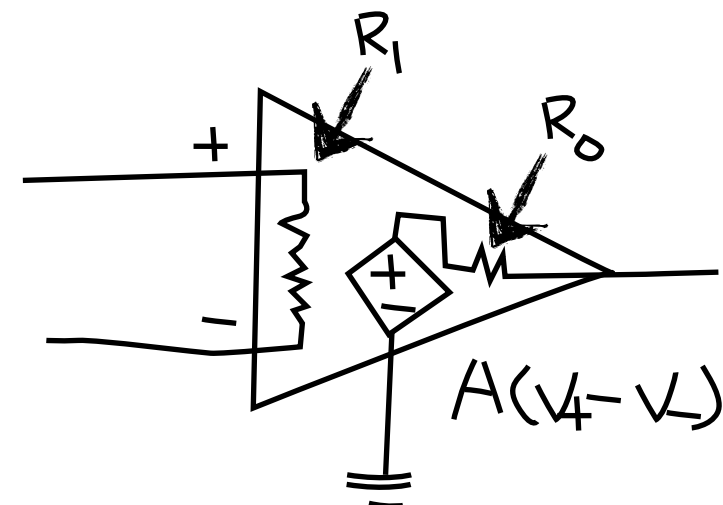
Le OpAmp : idéal vs réel

Amplificateur idéal	Amplificateur réel
• Impedance d'entrée infinie, $Z_{in} = \infty$ • Impedance de sortie zero, $Z_{out} = 0$ • Gain infini, $A = \infty$ • Bande passante (bandwidth) infinie	• Impedance d'entrée élevée : $Z_{in} \sim 10 \text{ M}\Omega$ • Impedance de sortie petite : $Z_{out} \sim 0$ • Gain élevé : $A = 10^5$ • Bande passante limitée

Model idéal



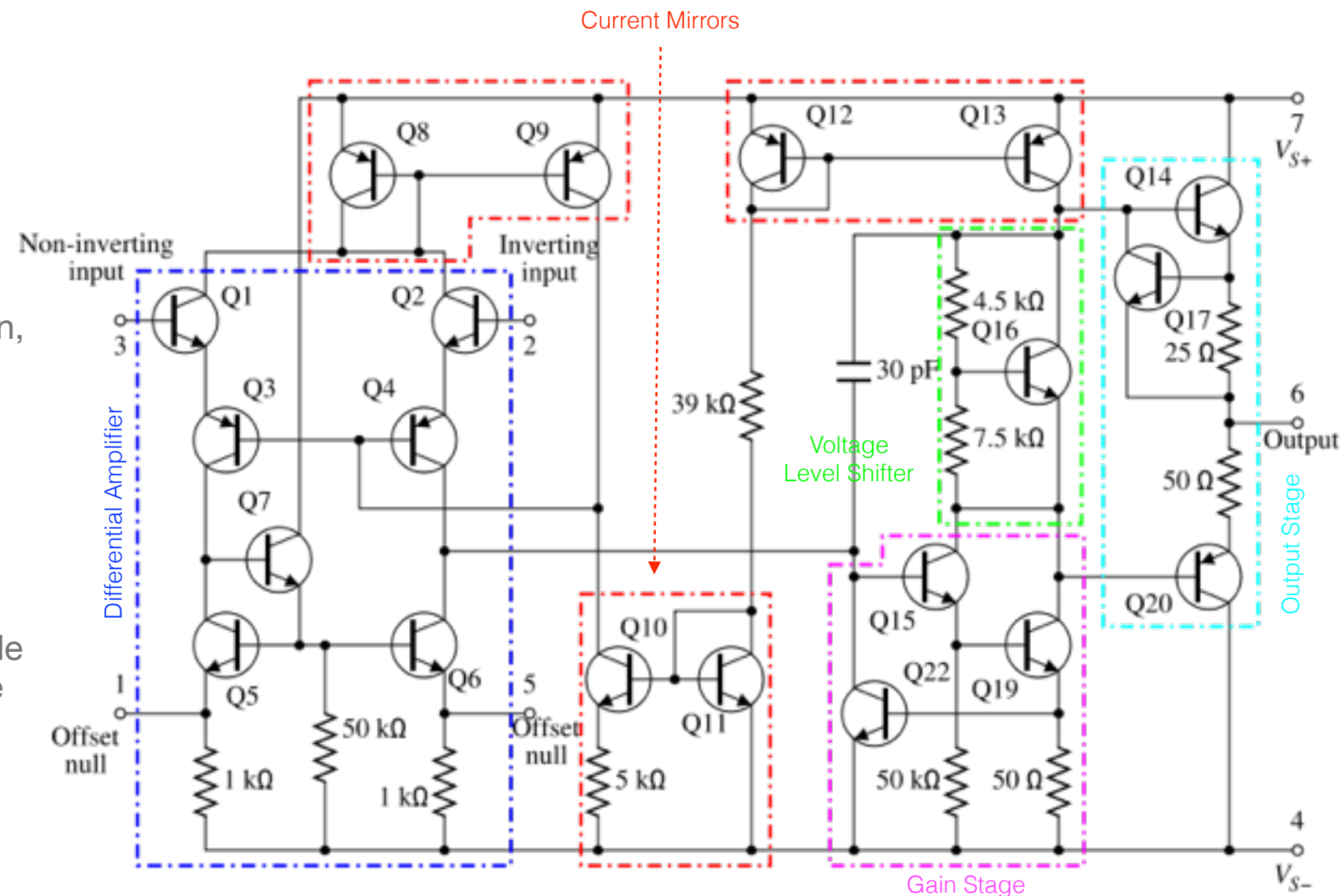
“Real” model



Le gain dépend de la fréquence

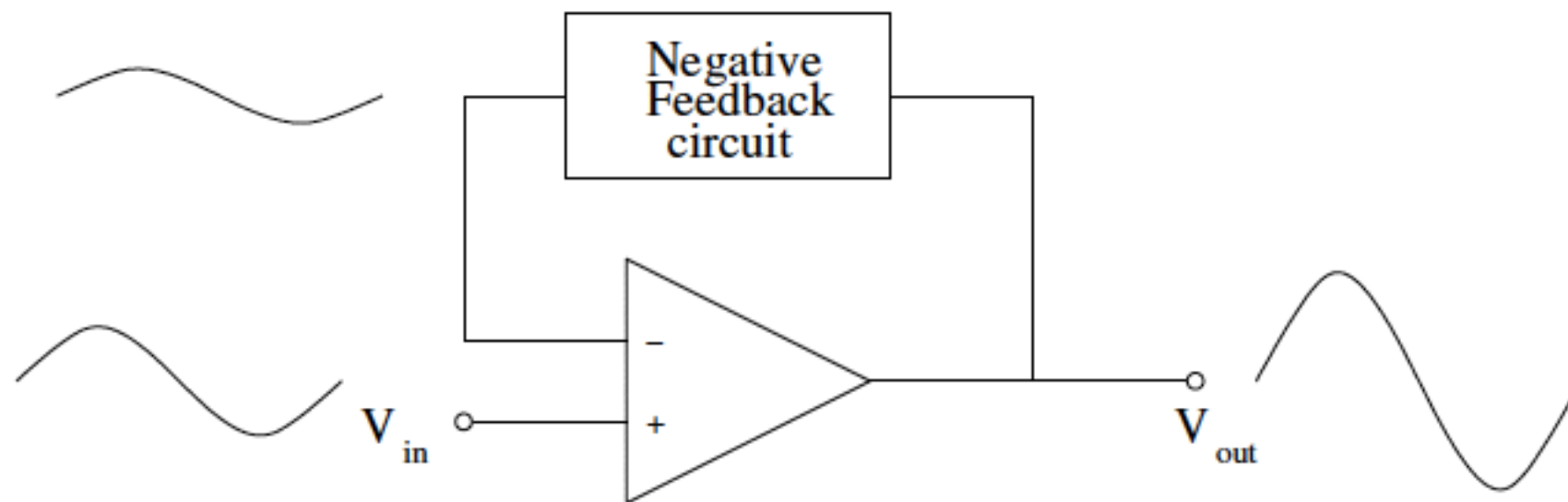
Le OpAmp: design

- Un exemple d'un amplificateur opérationnel à transistor bipolaire est le circuit intégré 741 conçu en 1968
- Cela consiste à:
 - L'amplificateur différentiel: fournit une amplification différentielle élevée (gain), avec le rejet d'un signal de mode commun, à faible noise, haute impédance d'entrée.
 - Gain stage: fournit un gain élevé pour la tension
 - Des amplificateurs de sortie: fournit un gain élevé de courant (faible impédance de sortie), en même temps que le courant de sortie de limitation, et la sortie contre les courts-circuits.
- En outre, il contient actuelle circuit de polarisation de miroir et un condensateur gain de stabilisation (30 pF).

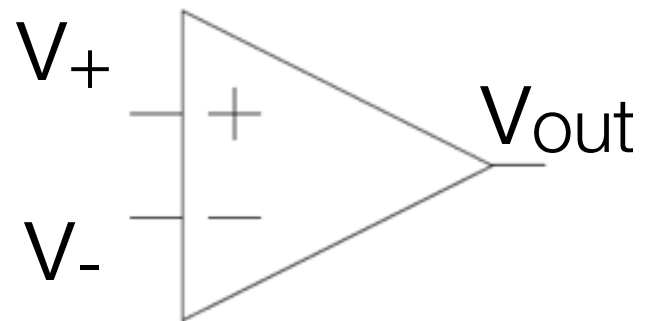


Retroaction (“Feedback”)

- Les OpAmp sont typiquement utilisés avec un circuit de rétroaction positif ou négatif (entrée + ou - de l’OpAmp)

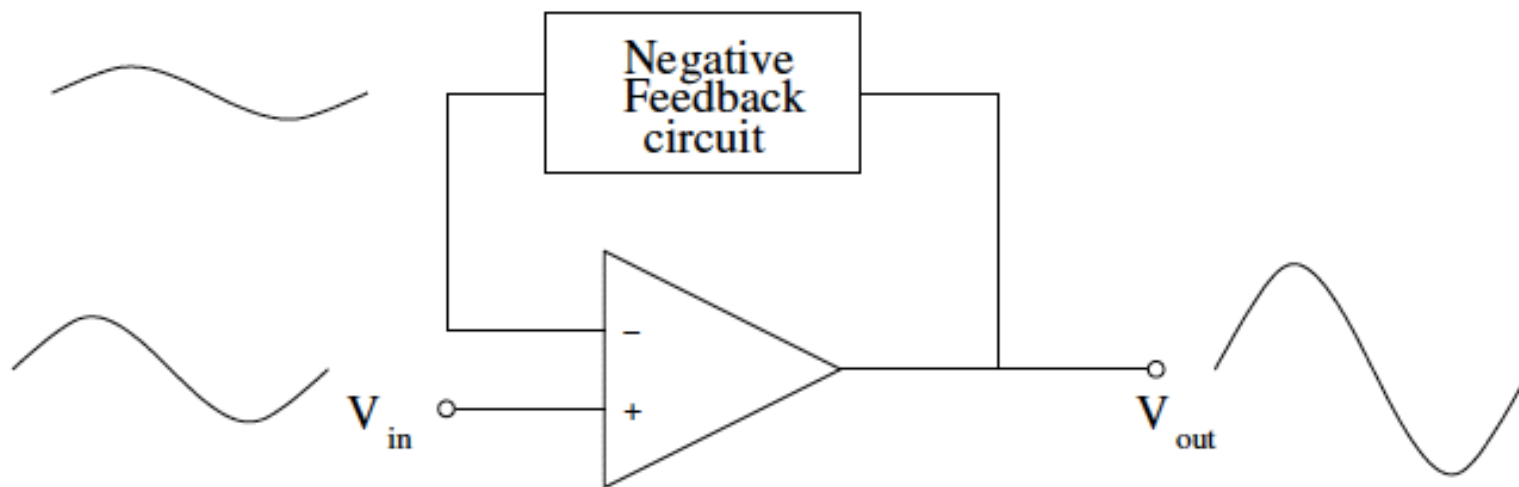


Gain en tension



$$v_{out} = A(v_+ - v_-)$$
$$A(j\omega) = \underbrace{A_0}_{\rightarrow 10^5} \frac{1}{1 + j\omega/\omega_c}$$

- Si la gain est trop élevé, le système est instable et très sensible au bruit électronique. Il faut faire une rétroaction.



$$A_{C.L} = \frac{A}{1 + \beta A} \simeq \frac{1}{\beta}$$

$$\beta A \gg 1$$

Le gain est indépendant de la fréquence

OpAmp : “Golden Rules” (lois d’or)

I : Les courants d’entrée sont négligeables :

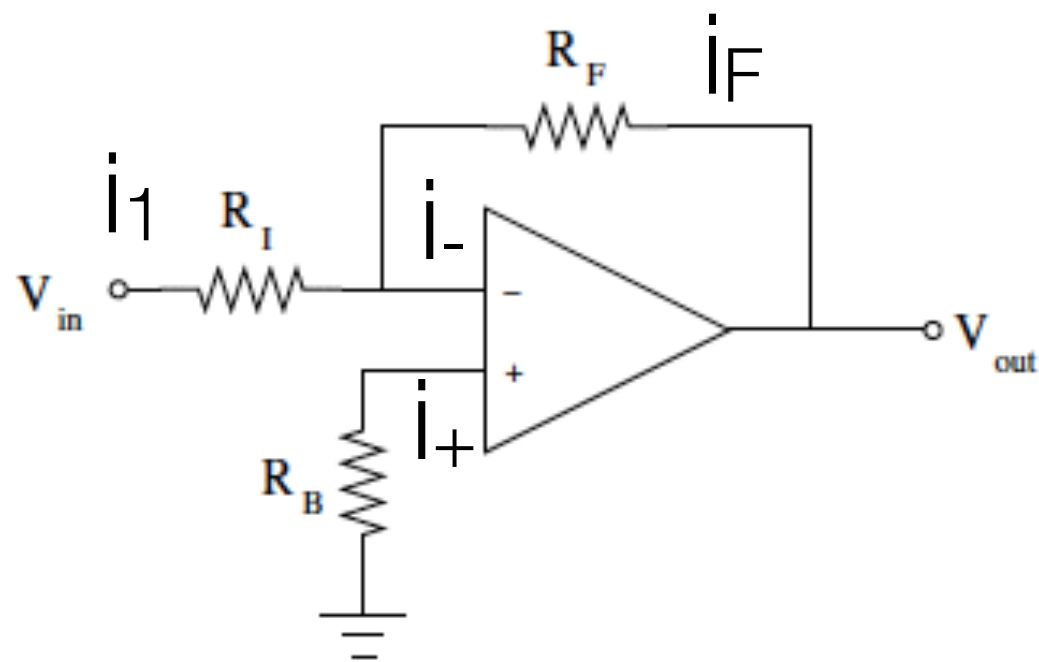
$$I_+ = I_- = 0 \text{ (car } Z_{IN} = \infty)$$

II : La différence de tension entre les terminales d’entrée est négligeable:

$$V_+ = V_- \text{ (car } Z_{IN} = \infty)$$

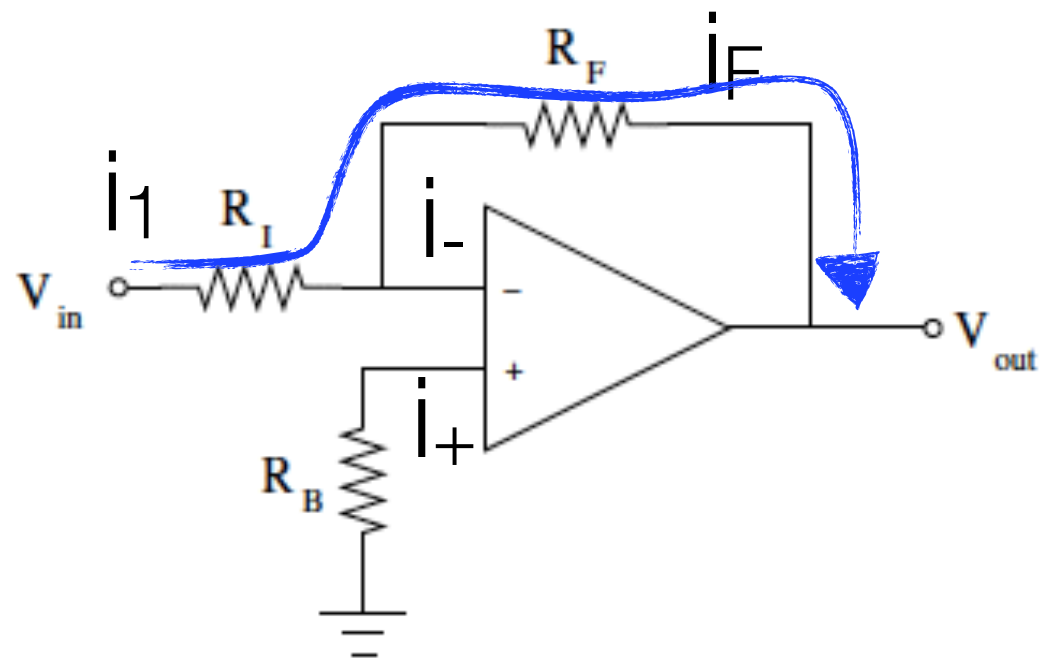
III : La sortie peut “tirer” presque autant de courant que il faut (car $Z_{OUT} \sim 0$)

Exemple: OpAmp inverseur



- **Loi I:** $i_- = i_+ = 0$

Exemple: OpAmp inverseur

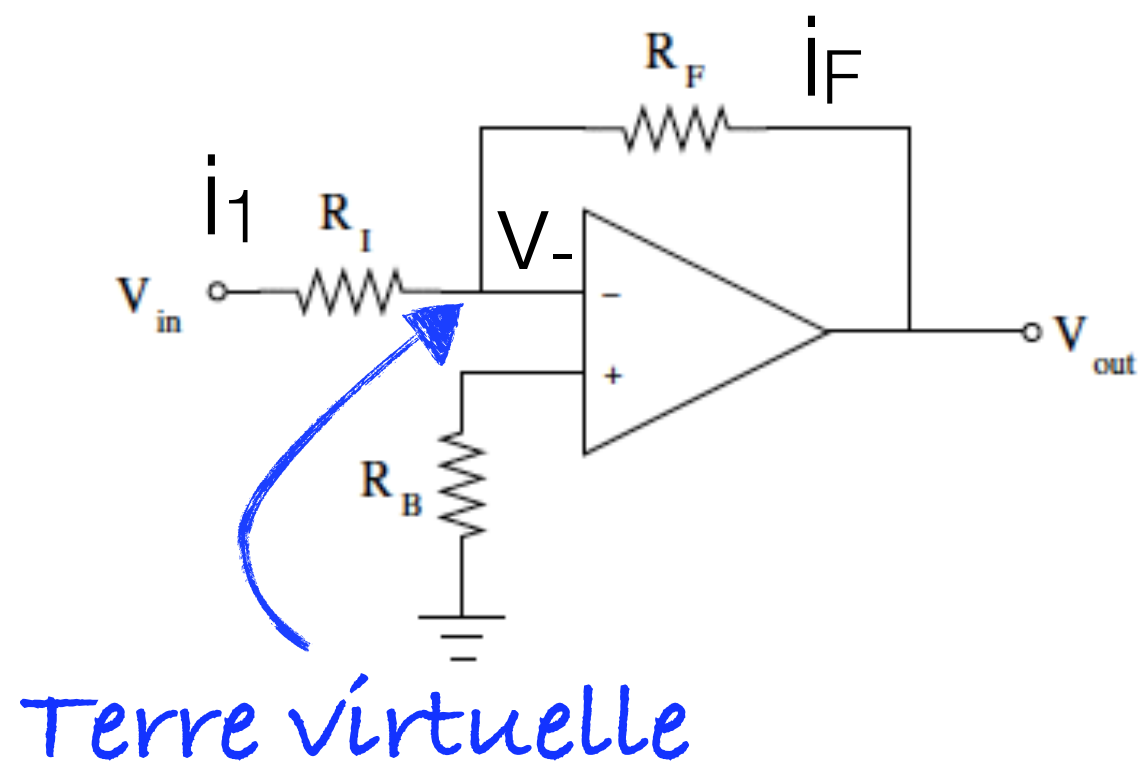


• **Loi I:** $i_- = i_+ = 0$

$$i_+ = 0 \rightarrow i_{R_B} = 0$$

$$i_- = 0 \rightarrow i_{R_I} = i_{R_F}$$

Exemple: OpAmp inverseur



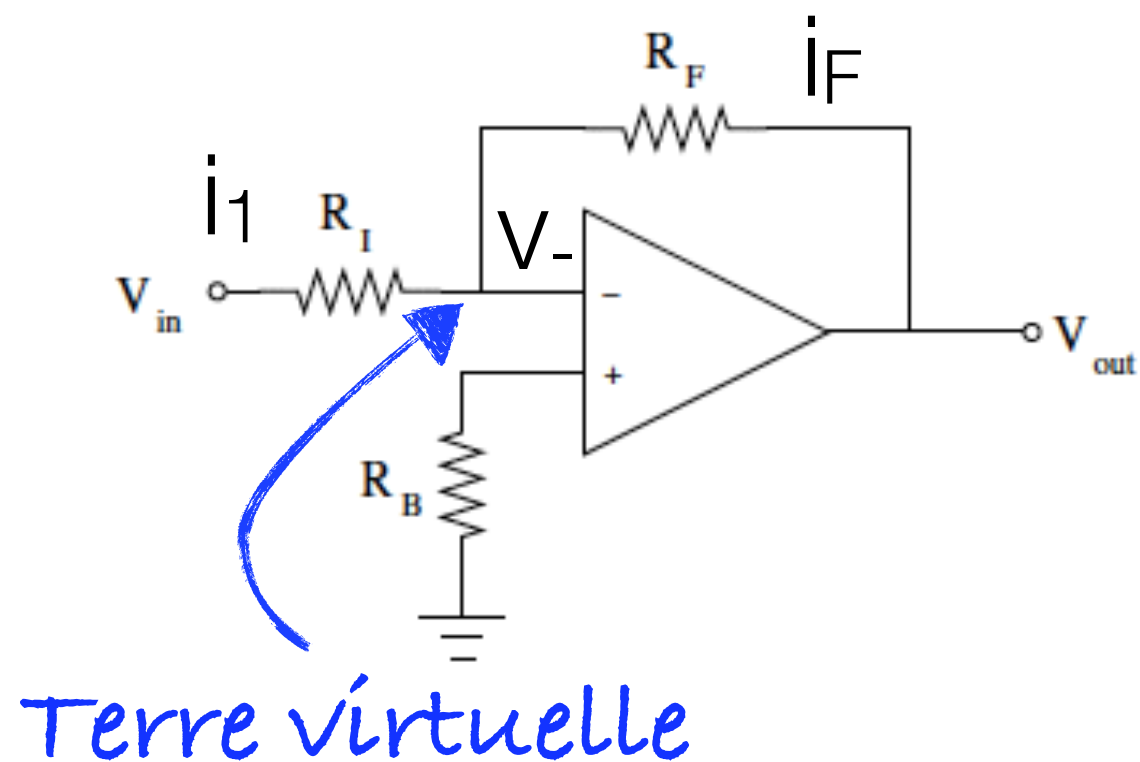
- **Loi I** ($I_- = I_+ = 0$)

- $I_{RB}=0 \rightarrow V_+ = 0$

- **Loi II** ($V_- = V_+$)

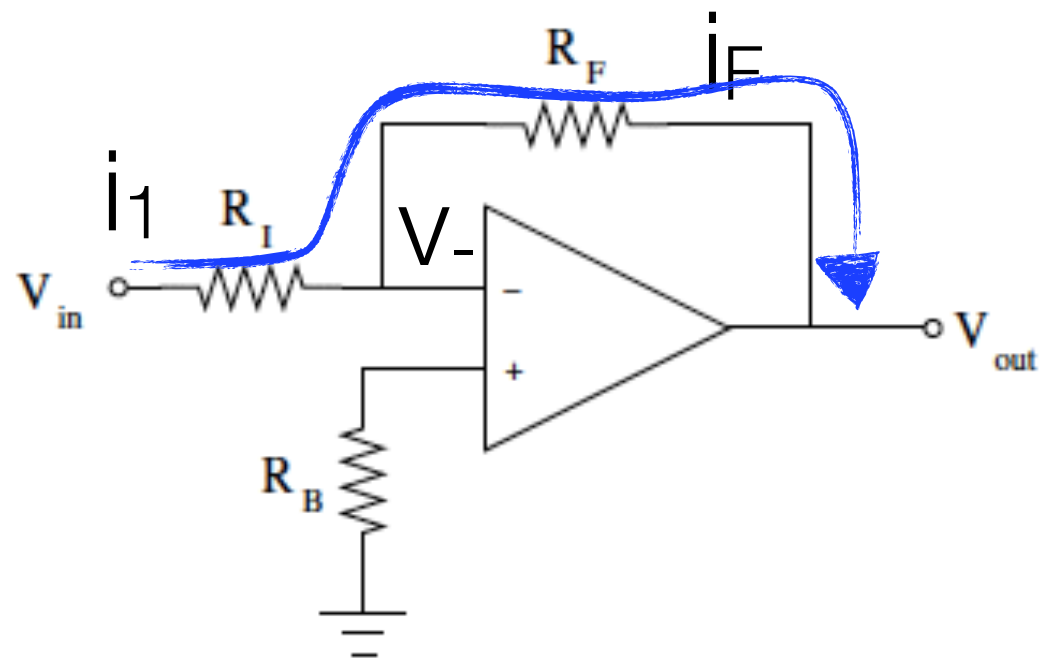
- $V_- = 0$ ("terre virtuelle")

Exemple: OpAmp inverseur



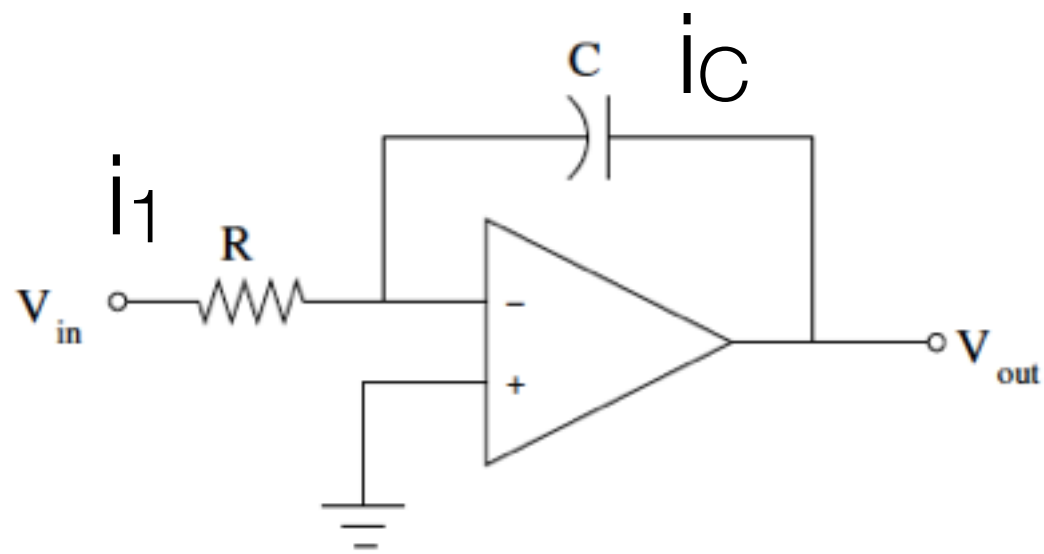
- $V_- = 0 \rightarrow I_1 = V_{in}/R_1$
- $I_1 = I_2$
- $I_2 = V_{out} / R_F$
- $V_{out} = - (R_F/R_1)V_{in}$

Exemple: OpAmp inverseur



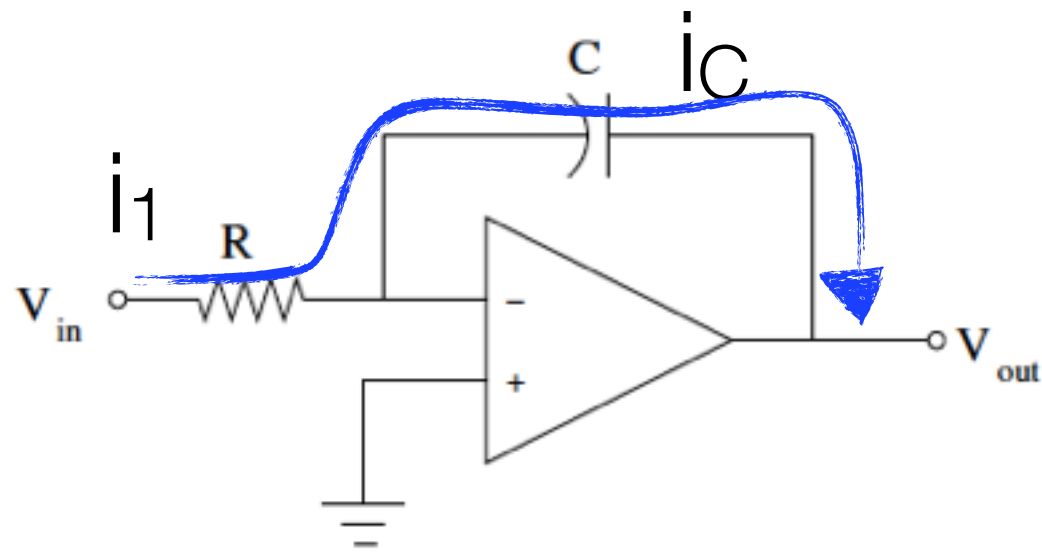
- **Loi I:** $I_- = I_+ = 0$
- $I_1 = I_F \rightarrow (V_{in} - V_-)/R_1 = (V_- - V_{out})/R_F$
- $V_{in}/R_1 = -V_{out}/R_F$
(car $V_- = 0$)

Exemple: intégrateur



- **Règle I:** $I_- = I_+ = 0$

Exemple: intégrateur

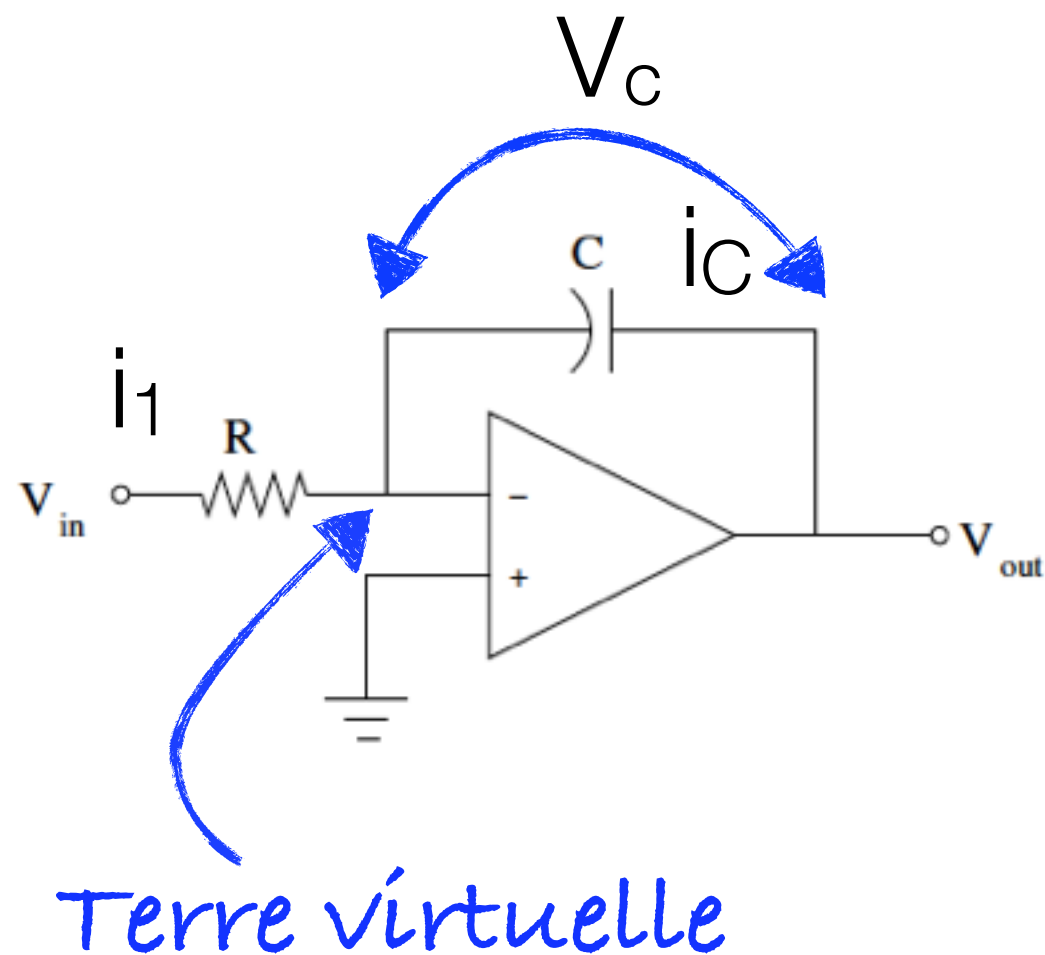


- **Règle I:** $I_- = I_+ = 0$

$$I_1 = I_C \rightarrow$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = \frac{1}{C} i_c(t) \rightarrow V_c(t) - V_c(0) = \frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt$$

Exemple: intégrateur



- **Règle I:** $I_- = I_+ = 0$

$$I_1 = I_C \rightarrow$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = \frac{1}{C} i_c(t) \rightarrow V_c(t) - V_c(0) = \frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt$$

- **Règle II:** $V_- = V_+$ and $V_+ = 0$

$$V_{out} = -V_c$$

$$V_{out}(t) - V_{out}(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt$$

BACKUP

Current Mirrors

- ideal inverting current amplifier that reverses the current direction as well or it is a current-controlled current source (CCCS). The current mirror is used to provide bias currents and active loads to circuits. It can also be used to model a more realistic current source (since ideal current sources don't exist).

