



# Amplification :

# Amplification de tension

Olivier Bou Matar, Yannick Dusch, Cécile Ghouila Houri, Marc Goueygou, Philippe Pernod, Bogdan Piwakowski, Cathy Sion, Abdelkrim Talbi, Nicolas Tiercelin

## Électronique



北航中法工程师学院  
Centrale Pékin



# Plan du cours

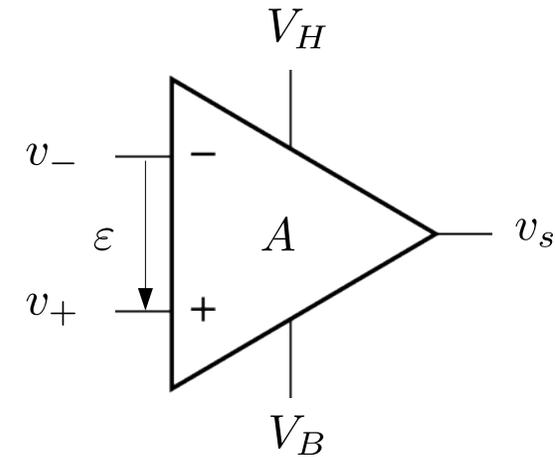
1) Généralités

**2) Amplification de tension (amplificateur opérationnel)**

3) Amplification de puissance

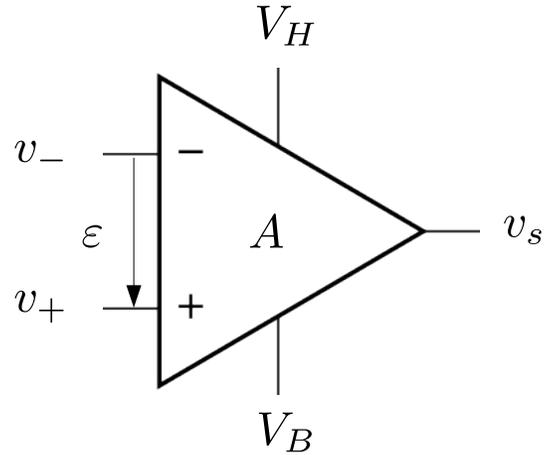
# Amplificateur opérationnel

$V_H$	$V_B$	Alimentations hautes et basses (symétriques ou non)
$v_-$		Entrée inverseuse
$v_+$		Entrée non inverseuse
$A$		Gain en boucle ouverte
$\varepsilon$		Tension d'entrée différentielle
$v_s$		Tension de sortie

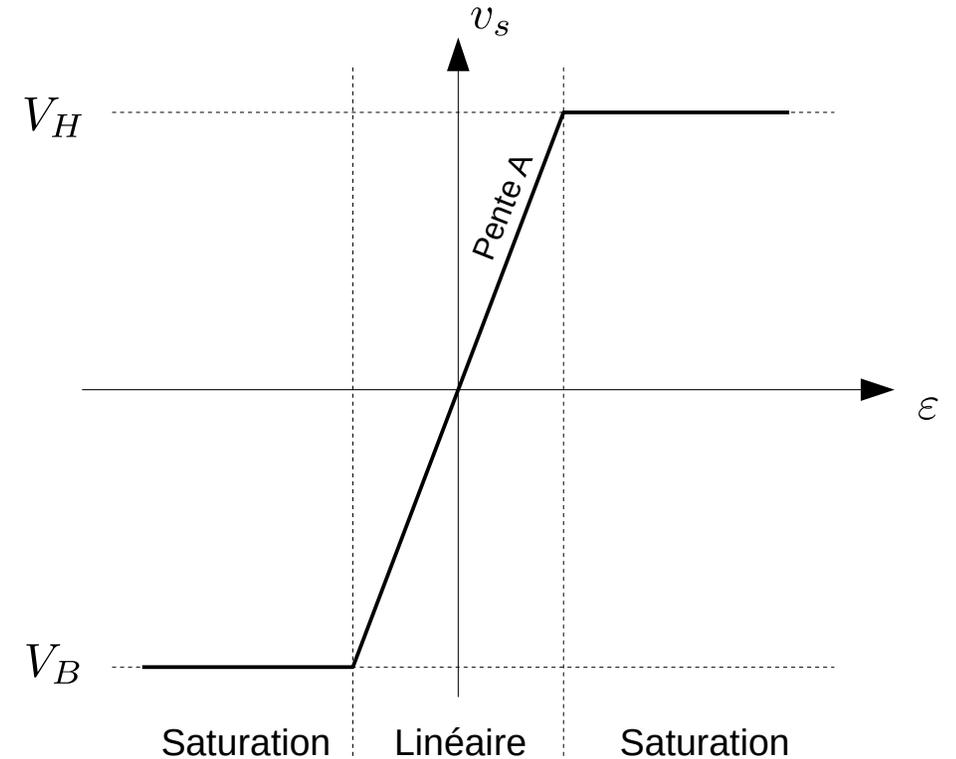


# Amplificateur opérationnel idéal

## Amplificateur opérationnel idéal :



- Gain purement différentiel
- $A$  infini
- Impédance d'entrée infinie  $\rightarrow i_+ = i_- = 0$
- Impédance de sortie nulle  $\rightarrow V_s$  est indépendant de  $i_s$
- Bande passante infinie



# Amplificateur opérationnel idéal/réel

## Amplificateur opérationnel idéal

$$R_e = +\infty$$

$$R_s = 0$$

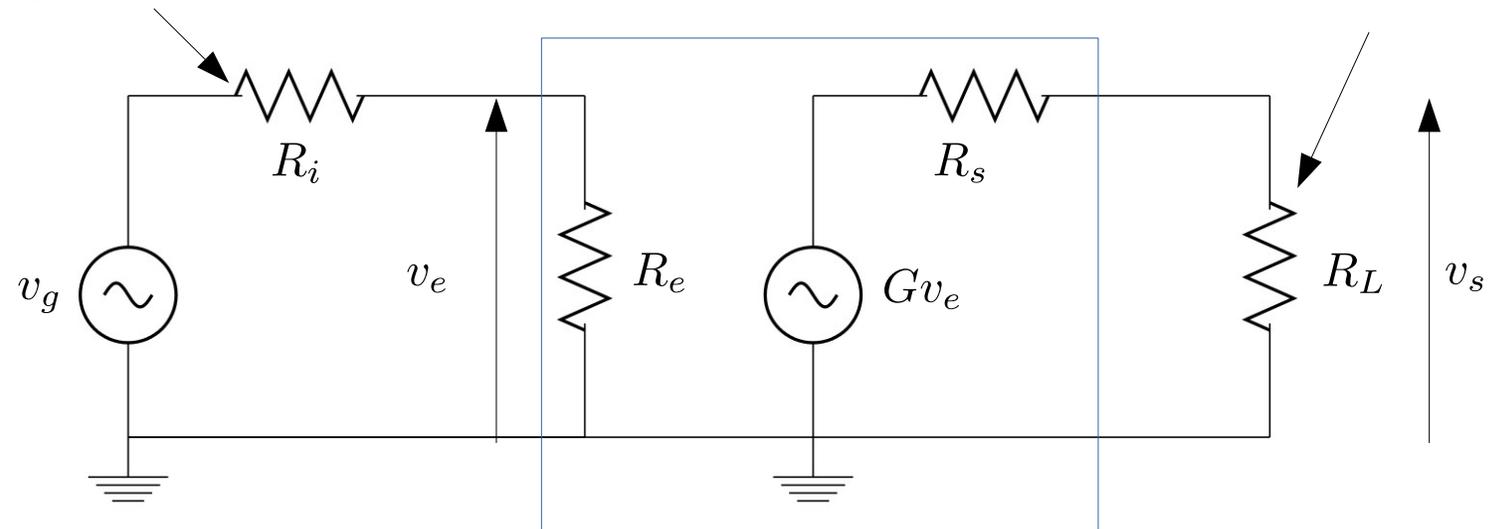
## Amplificateur opérationnel réel

$$R_e > 10R_i$$

$$R_s < \frac{R_L}{10}$$

Résistance interne du générateur

Résistance de charge



# Contre-réaction

## Problèmes :

- $A \gg 1$  : même de petites tensions d'entrée peuvent saturer l'amplificateur !
- $A$  peut varier fortement d'un amplificateur à l'autre !

## Solution :

Prélever une partie de la tension de sortie et l'ôter de la tension d'entrée dans le but de maintenir une différence proche de zéro (contre-réaction négative) et travailler dans le domaine linéaire

### Contre-réaction positive :

Le signal est réinjecté en phase avec le signal d'entrée  
→ Circuits non linéaires (comparateurs)

### Contre-réaction négative :

Le signal est réinjecté en opposition de phase avec le signal d'entrée  
→ Circuits linéaires

**Il faut d'abord vérifier le type de contre-réaction !**

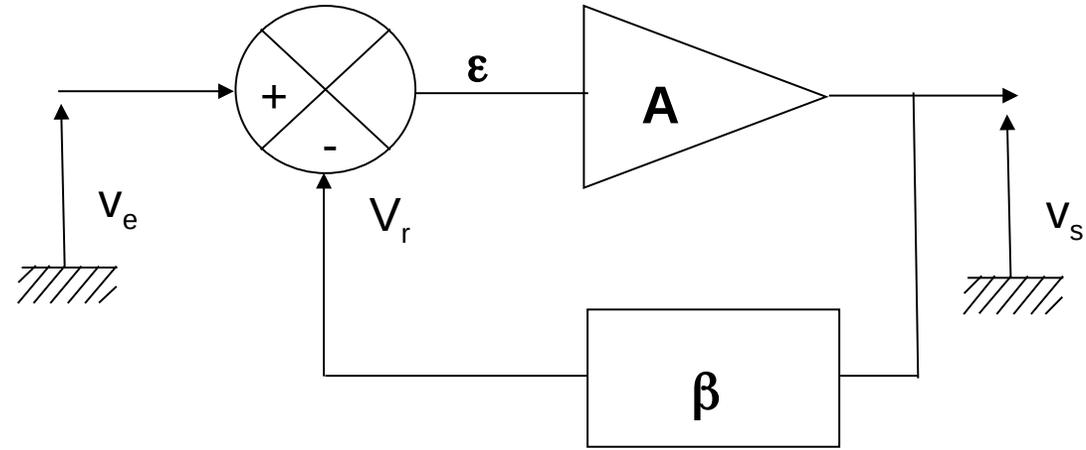
## Avantages de la contre-réaction (1/2)

$$v_s = A(v_+ - v_-) = A\varepsilon$$

$$v_+ = v_e$$

$$v_- = v_r$$

$$v_r = \beta v_s$$



$$\frac{v_s}{v_e} = \frac{A}{1 + \beta A} \approx \frac{1}{\beta}$$

Avec une contre-réaction négative, le gain ne dépend plus de  $A$ , mais seulement du circuit de la boucle de retour !

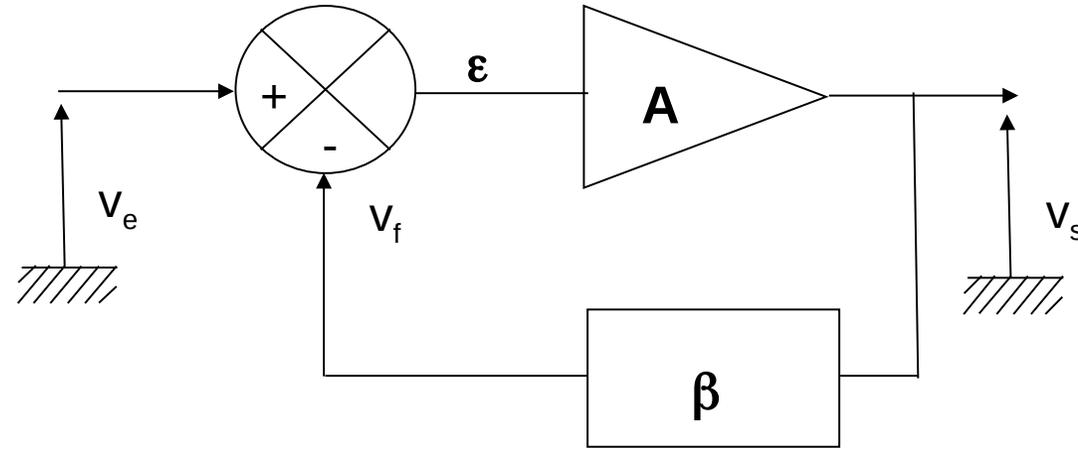
## Avantages de la contre-réaction (2/2)

$$v_s = A(v_+ - v_-) = A\varepsilon$$

$$v_+ = v_e$$

$$v_- = v_r$$

$$v_r = \beta v_s$$

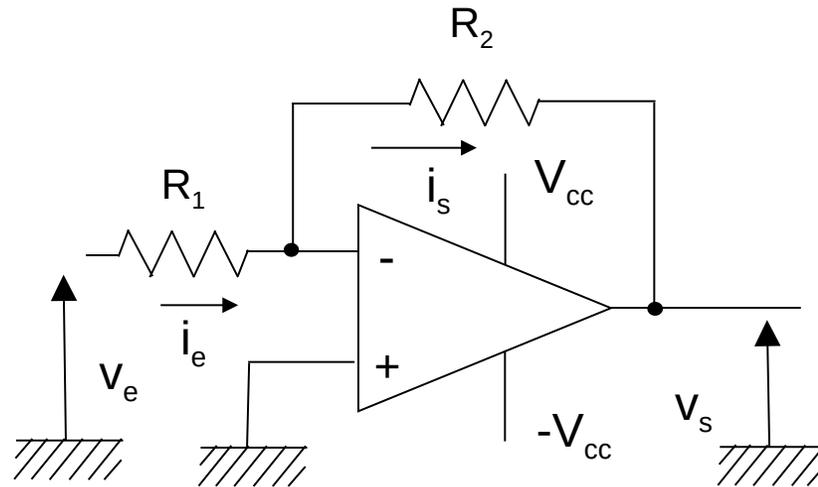


$$Z'_e = (1 + \beta A)Z_e > Z_e \quad Z'_s = \frac{Z_s}{1 + \beta A} < Z_s$$

- **L'impédance d'entrée est plus élevée** que sans contre-réaction
- **L'impédance de sortie est plus faible** que sans contre-réaction

# Montages à base d'A.O.

**Exemple** : Amplificateur inverseur



$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

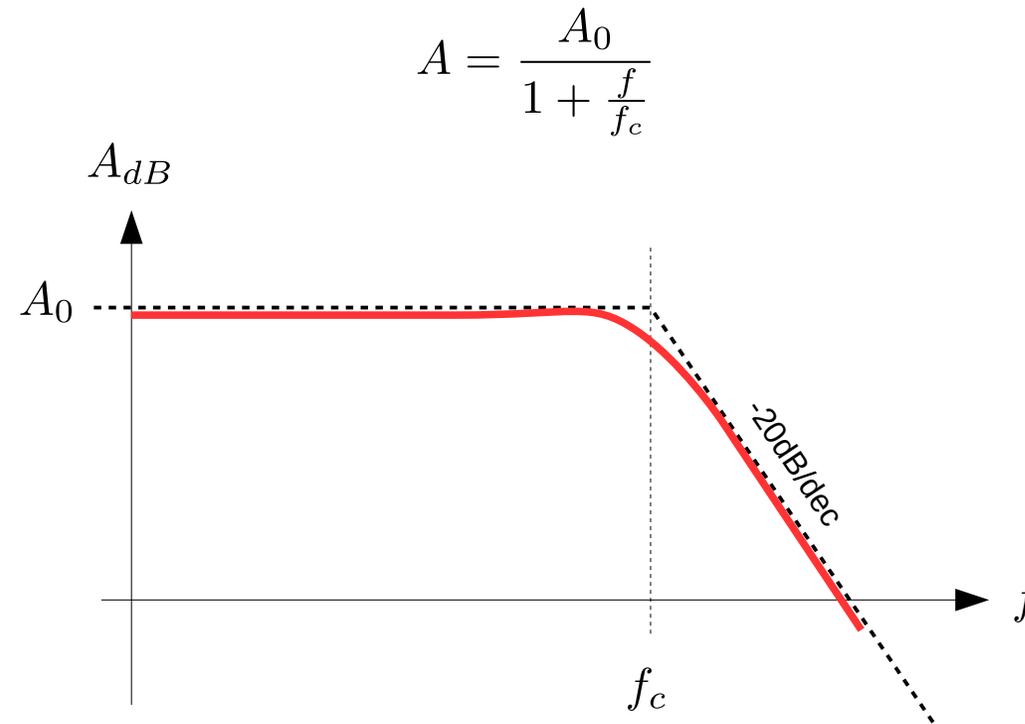
# Montages à base d'A.O.

## Quelques montages à connaître :

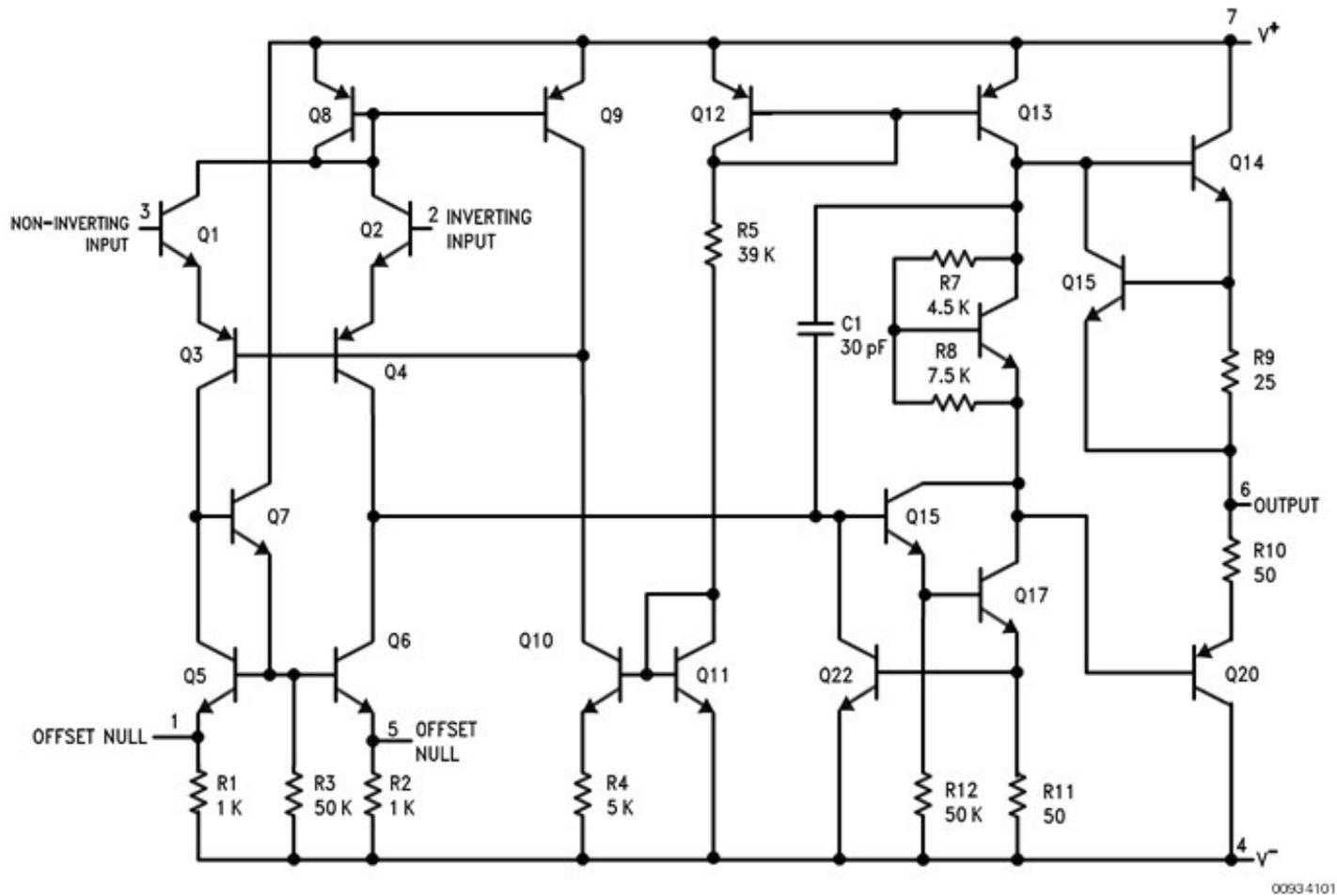
- Amplificateur inverseur
- Amplificateur non inverseur
  - Suiveur
- Amplificateur différentiel
  - Intégrateur
  - Dérivateur
- Opérateur logarithmique
- Opérateur exponentiel

# Produit gain-bande

Les amplificateurs opérationnels comportent de capacités pour la stabilité :  
Ils se comportent comme des **filtres passe-bas** !



# Produit gain-bande



# Produit gain-bande

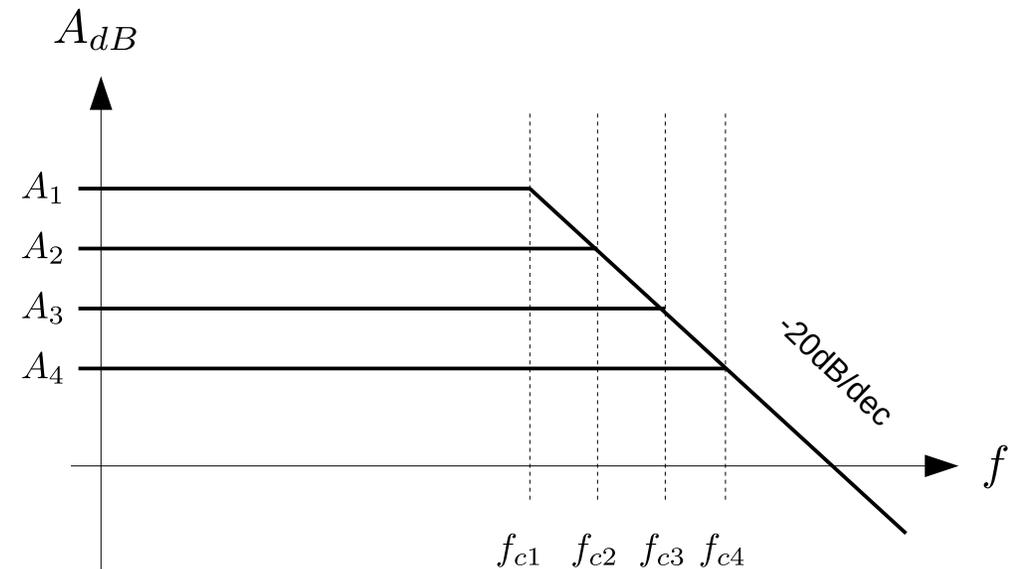
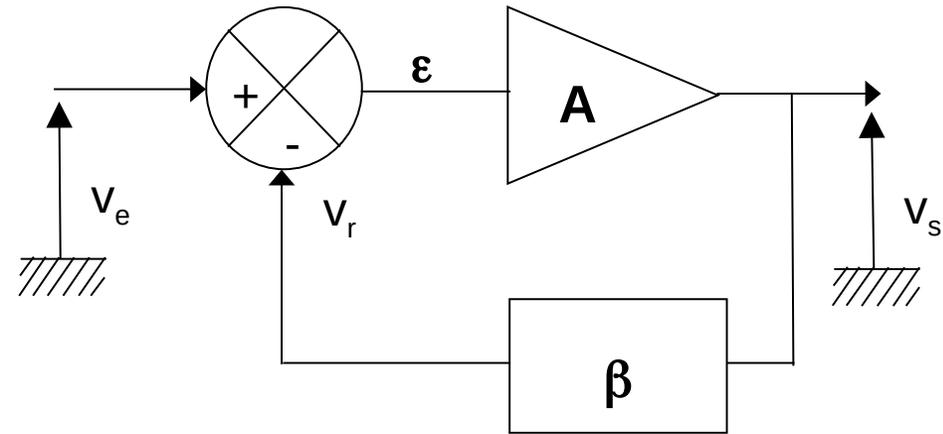
En boucle fermée :

$$\frac{v_s}{v_e} = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{A'_0}{1 + j \frac{f}{f'_c}}$$

$$A'_0 = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} \quad f'_c = f_c(1 + \beta A_0)$$

Le produit gain-bande reste constant :

$$A_0 f_c = A'_0 f'_c$$

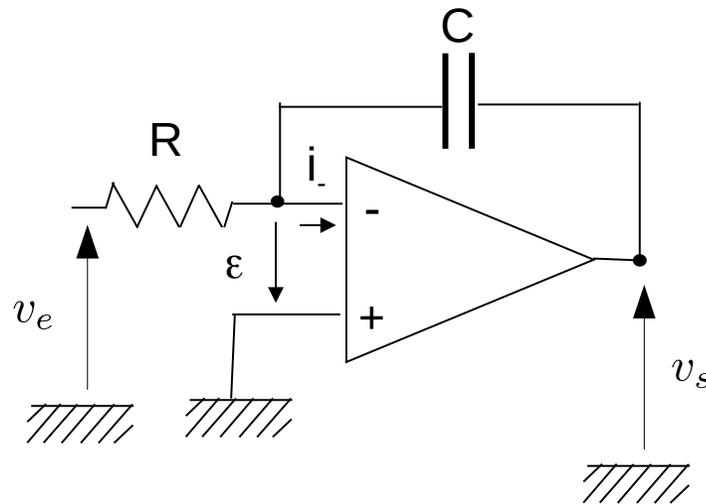
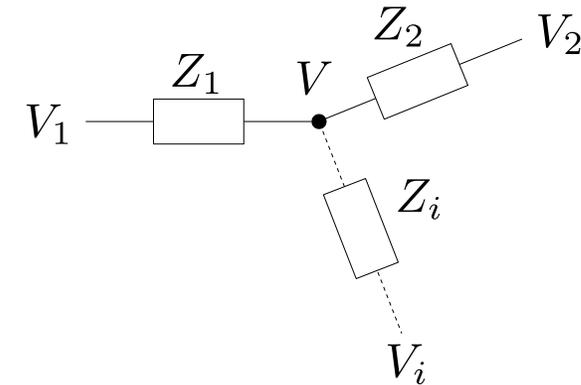


# Calcul de la fonction de transfert

**Exemple** : Intégrateur actif

Théorème de Millman

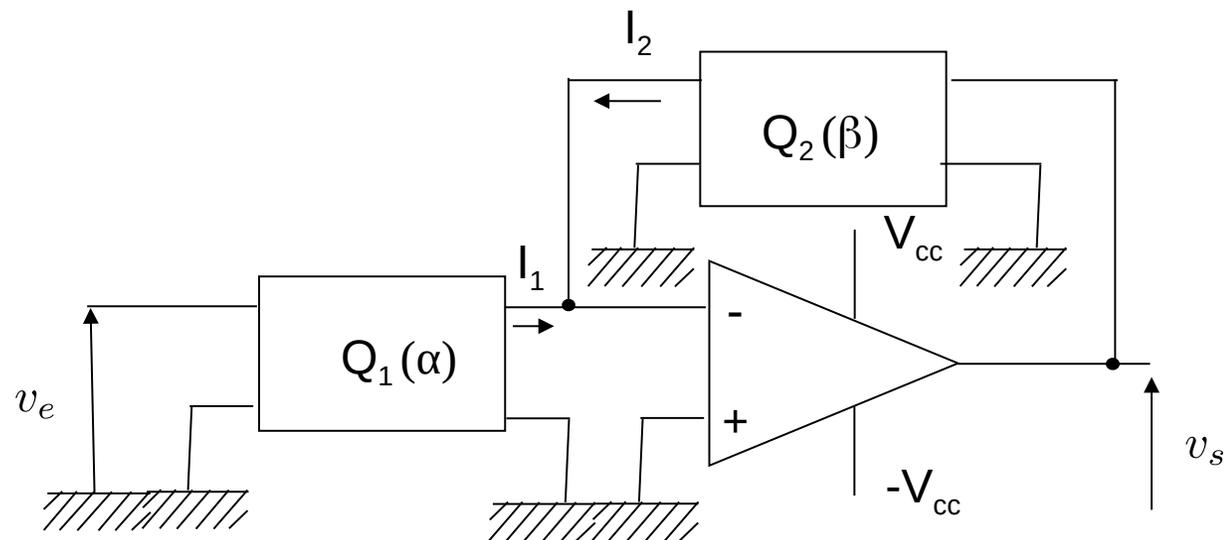
$$V = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{V_i}{Z_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{Z_i}}$$



$$v_- = v_+ = 0 = \frac{\frac{v_e}{R} + jC\omega v_s}{\frac{1}{R} + jC\omega}$$

$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{1}{jC\omega}$$

# Synthèse de fonction



$$i_1 = \alpha(p)v_e(p)$$

$$i_2 = \beta(p)v_s(p)$$

$$A_v = -\frac{\alpha(p)}{\beta(p)}$$

Admittances

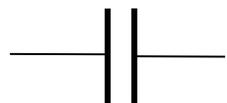
# Synthèse de fonction

**Circuit**



**$\alpha(p)$**

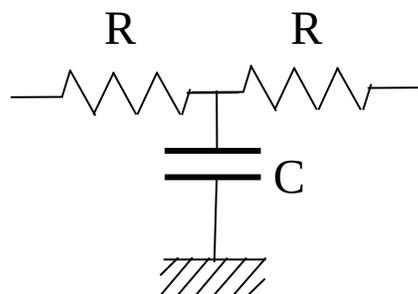
$$\frac{1}{R}$$



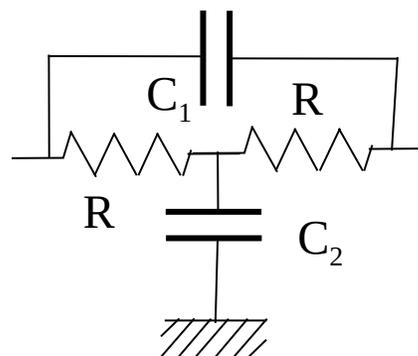
$$pC$$



$$\frac{1}{pL}$$



$$\frac{1}{2R \left( 1 + p \frac{RC}{2} \right)}$$

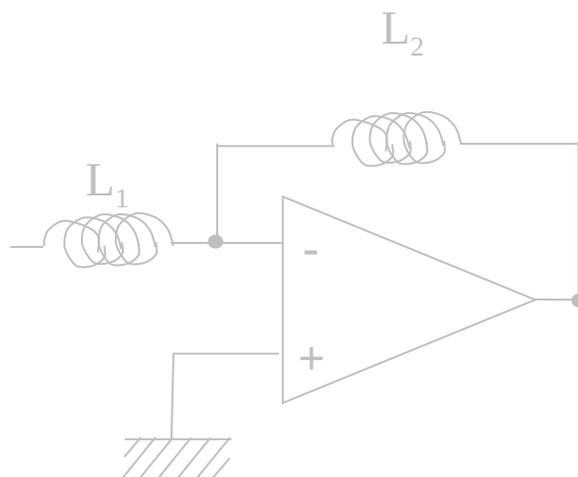
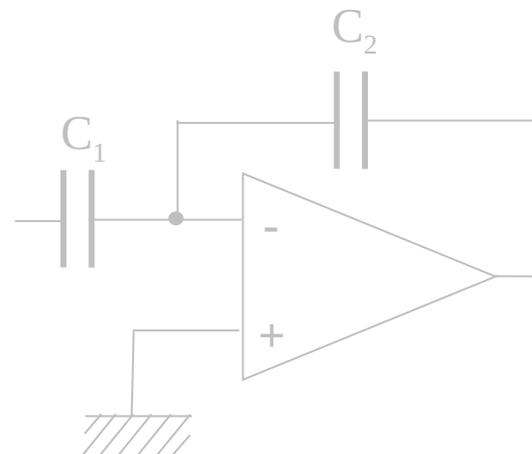
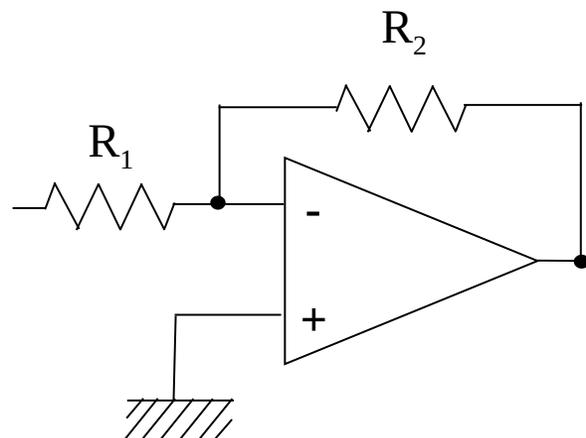


$$\frac{1 + RpC_1(2 + RPC_2)}{2R \left( 1 + p \frac{RC_2}{2} \right)}$$

# Synthèse de fonction

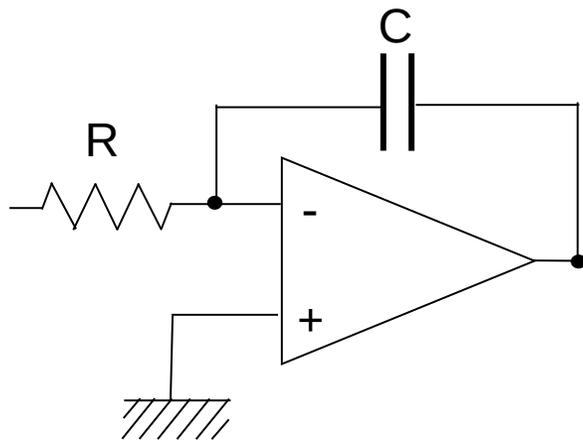
**Exemple** : Amplificateur inverseur

$\alpha(p)$  et  $\beta(p)$  doivent être du même ordre en  $p$

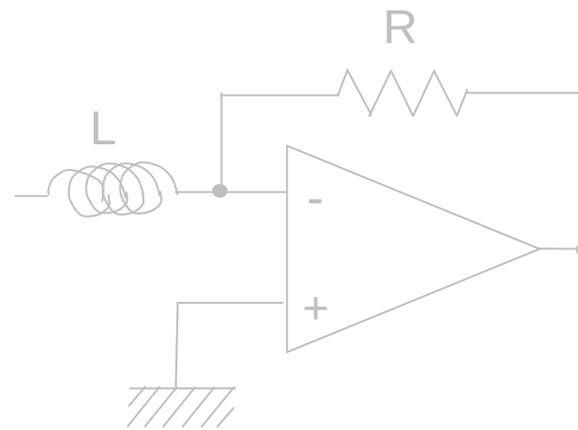


# Synthèse de fonction

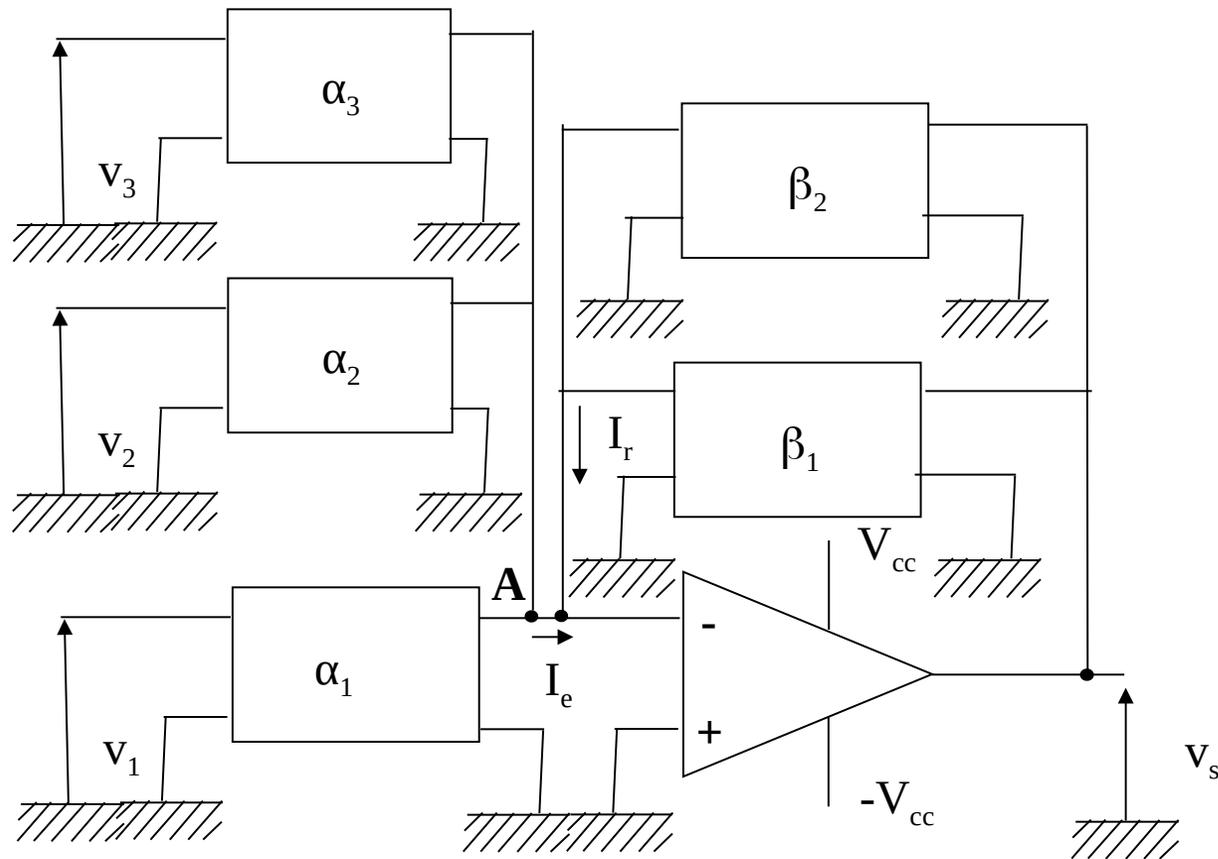
**Exemple** : Intégrateur



On veut : 
$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{A}{p} = -\frac{\alpha(p)}{\beta(p)}$$



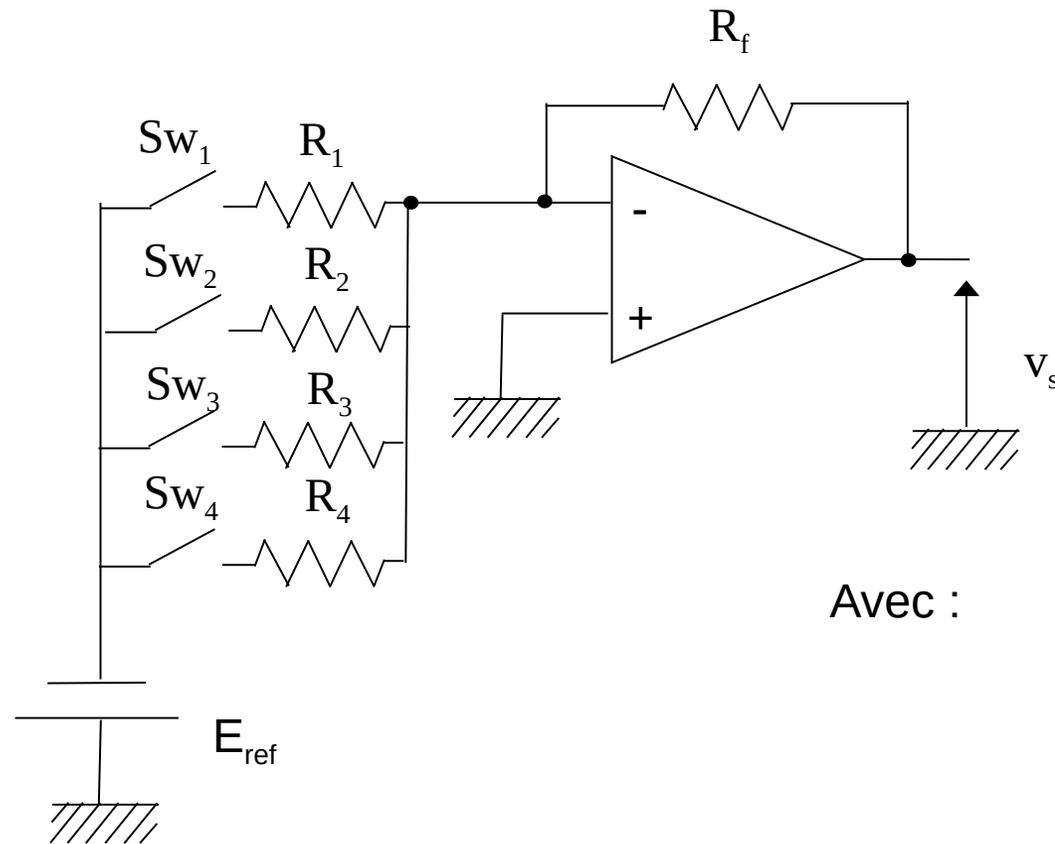
# Synthèse de fonction : Généralisation



$$v_{out} = -\frac{\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \alpha_3 v_3 + \dots}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots}$$

# Synthèse de fonction : Généralisation

**Application** : Convertisseur numérique analogique



$$v_s = \left( Sw_1 \frac{R_f}{R_1} + Sw_2 \frac{R_f}{R_2} + Sw_3 \frac{R_f}{R_3} + \dots \right) E_{ref}$$

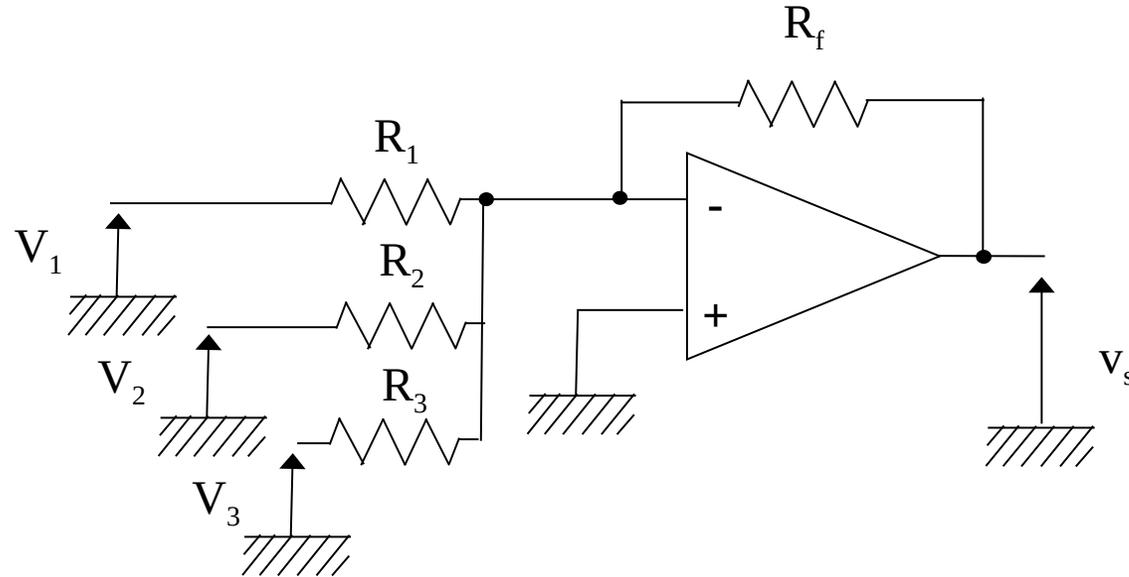
$$\text{Avec : } Sw_i = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{Avec : } \begin{aligned} R_1 &= 2 R_2 \\ R_2 &= 2 R_3 \\ R_3 &= 2 R_4 \end{aligned}$$

On obtient un convertisseur numérique analogique à résistances

# Synthèse de fonction : Généralisation

Si les  $V_i$  sont différents, on obtient :



$$v_s = - \left( V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + \dots \right)$$



AUDACE • EXIGENCE • RESPECT