

# Électronique

## Approche système, quadripôles et introduction aux amplificateurs opérationnels

Andres Arciniegas

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville



- 1 Schémas blocs
- 2 Quadripôles
- 3 Introduction aux amplificateurs opérationnels

# Schémas blocs

Système Electronique = ensemble complexe de fonctions

⇒ impossibilité d'étudier le schéma complet d'une traite

Système Electronique = ensemble complexe de fonctions

⇒ impossibilité d'étudier le schéma complet d'une traite

## Solution

- Diviser le système en « **blocs** » simples.
- Étudier chaque bloc indépendamment.
- Étudier l'assemblage des blocs.

Système Electronique = ensemble complexe de fonctions

⇒ impossibilité d'étudier le schéma complet d'une traite

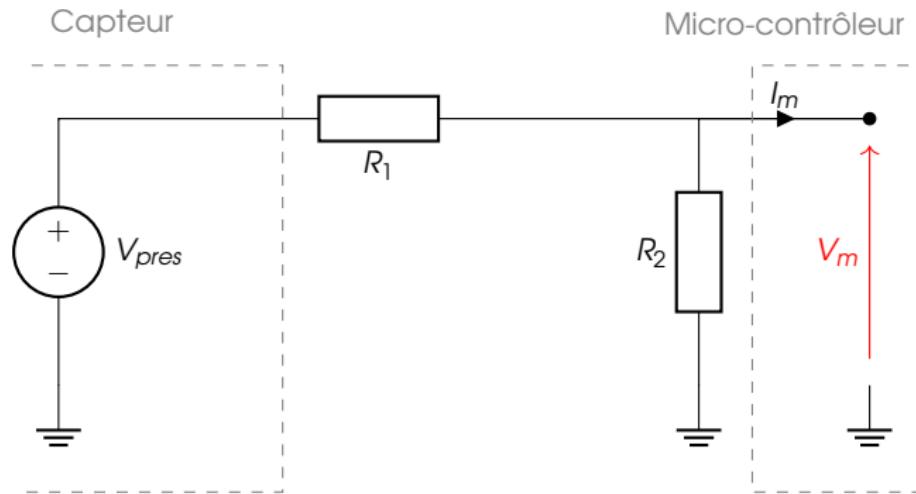
## Solution

- Diviser le système en « **blocs** » simples.
- Étudier chaque bloc indépendamment.
- Étudier l'assemblage des blocs.

C'est cette démarche que nous allons adopter par la suite.

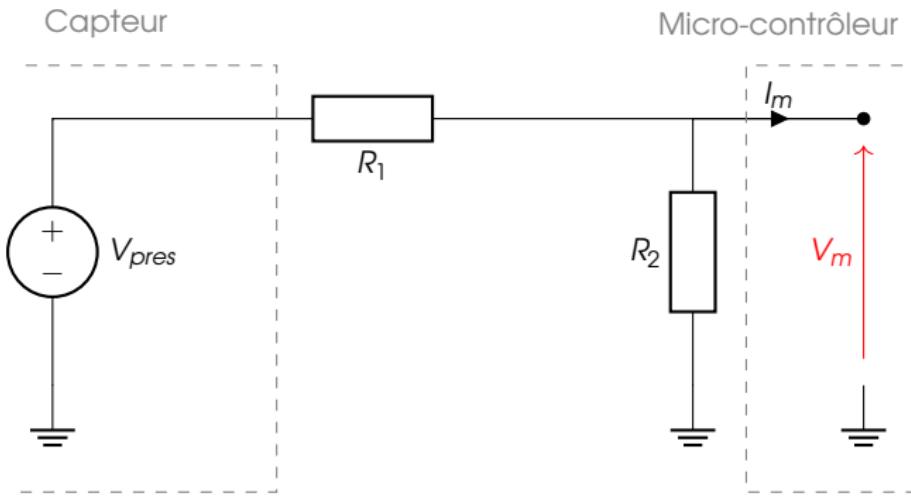
## Exemple 1 : Dimensionnement d'un pont diviseur

- Concerne l'étude d'un bloc simple
- Fait l'interface entre un *capteur* et un *micro-contrôleur*



## Exemple 1 : Dimensionnement d'un pont diviseur

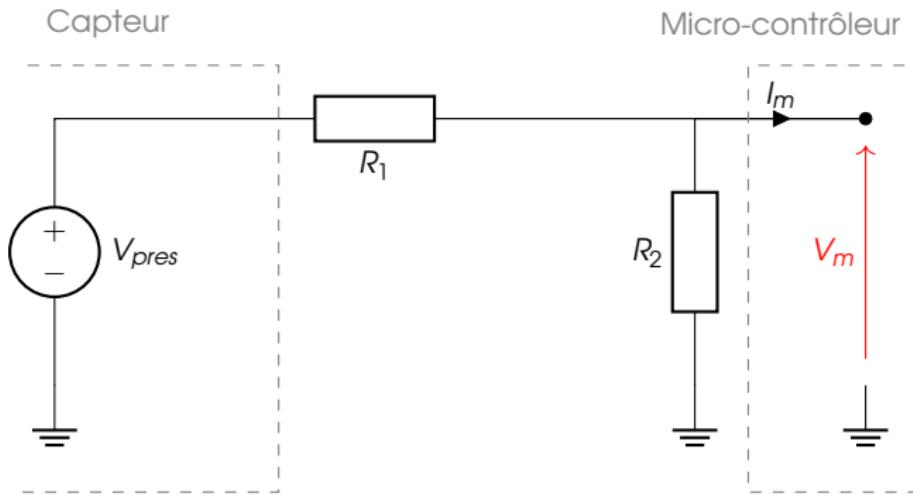
- Concerne l'étude d'un bloc simple
- Fait l'interface entre un *capteur* et un *micro-contrôleur*



Si  $I_m \approx 0$  A, nous pouvons exprimer  $V_m = f(V_{pres})$  :

## Exemple 1 : Dimensionnement d'un pont diviseur

- Concerne l'étude d'un bloc simple
- Fait l'interface entre un *capteur* et un *micro-contrôleur*

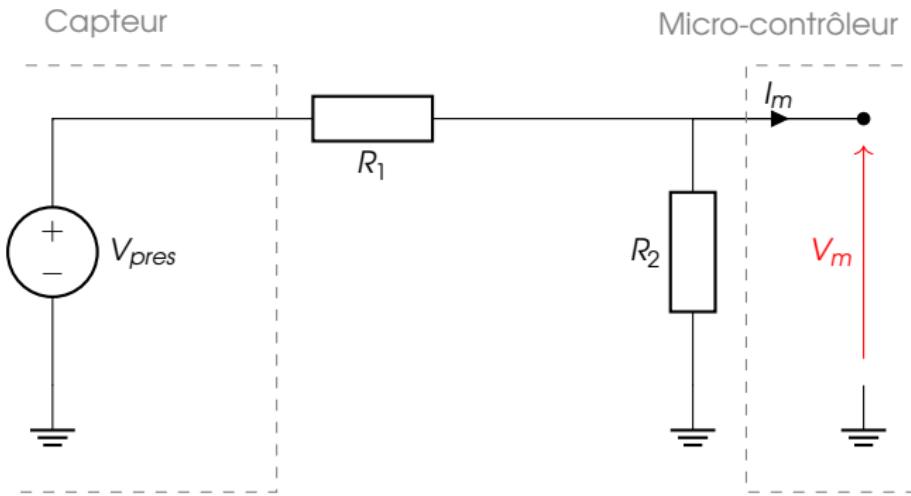


Si  $I_m \approx 0$  A, nous pouvons exprimer  $V_m = f(V_{pres})$  :

$$V_m = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{pres} \quad (1)$$

## Exemple 1 : Dimensionnement d'un pont diviseur

- Concerne l'étude d'un bloc simple
- Fait l'interface entre un *capteur* et un *micro-contrôleur*



- le bloc (diviseur de tension) relie une *entrée* à une *sortie*,
- nous pouvons déduire de l'étude du schéma le lien entre l'*entrée* et la *sortie*.

## Exemple 2 : Commande de l'inclinaison d'un quadrioptère

Le même raisonnement peut être mené sur des systèmes plus complexes

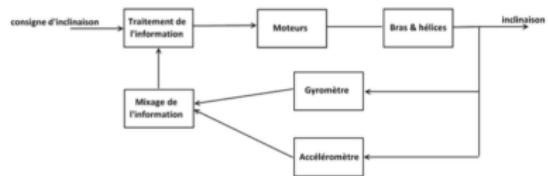


## Exemple 2 : Commande de l'inclinaison d'un quadrioptère

Le même raisonnement peut être mené sur des systèmes plus complexes



schéma de principe :

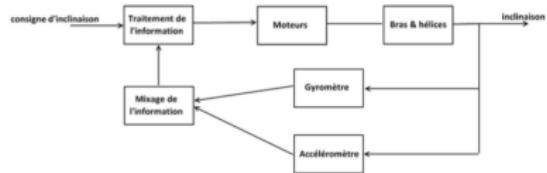


## Exemple 2 : Commande de l'inclinaison d'un quadrioptère

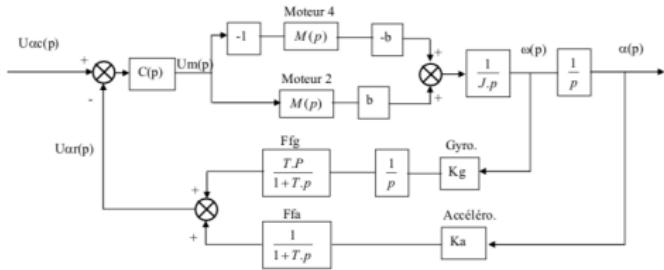
Le même raisonnement peut être mené sur des systèmes plus complexes



schéma de principe :



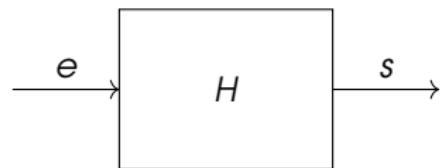
## schéma bloc :



## Permet des premiers calculs !

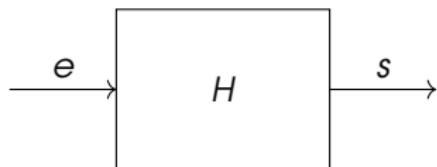
## Bloc : définition (1/3)

Bloc = boite noire (peu importe le schéma interne)



## Bloc : définition (1/3)

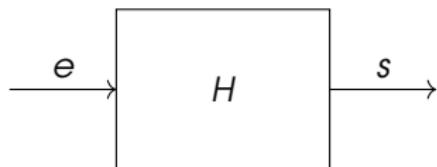
Bloc = boite noire (peu importe le schéma interne)



- $e$  est le signal d'entrée (tension, courant... : quantité physique)
- $s$  est le signal de sortie (tension, courant... : quantité physique)

## Bloc : définition (2/3)

Bloc = boite noire (peu importe le schéma interne)

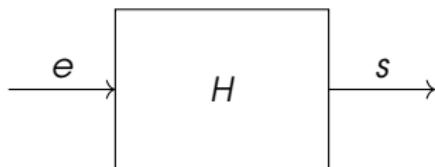


On parle du bloc  $H$ , où  $H$  est définie mathématiquement par :

$$H = \frac{s}{e}$$

## Bloc : définition (2/3)

Bloc = boite noire (peu importe le schéma interne)



On parle du bloc  $H$ , où  $H$  est définie mathématiquement par :

$$H = \frac{s}{e}$$

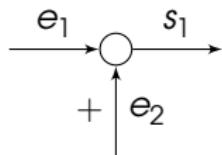
Rmq 1 :  $H$  peut avoir une unité,

Rmq 2 :  $H$  est la caractéristique de **transfert** de l'entrée vers la sortie, on parle de **fonction de transfert**

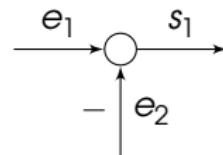
Rmq 3 : si  $H$  est un nombre réel on parle également de **Gain** du bloc !

## Bloc : définition (3/3)

On définit également deux blocs pour l'addition et la soustraction, avec plusieurs entrées et une seule sortie :

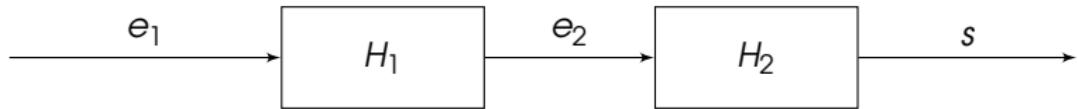


$$s_1 = e_1 + e_2$$



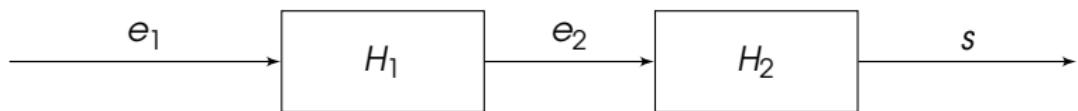
$$s_1 = e_1 - e_2$$

Mise en cascade (attention :  $\neq$  mise en série)



La fonction de transfert/Gain équivalent(e)  $H'$  est :

Mise en cascade (attention :  $\neq$  mise en série)

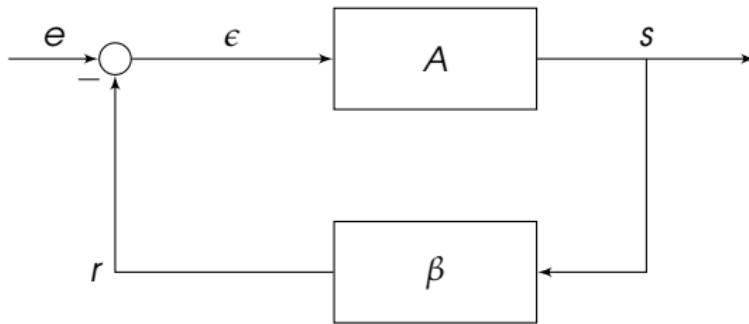


La fonction de transfert/Gain équivalent(e)  $H'$  est :

$$H' = H_1 \cdot H_2$$

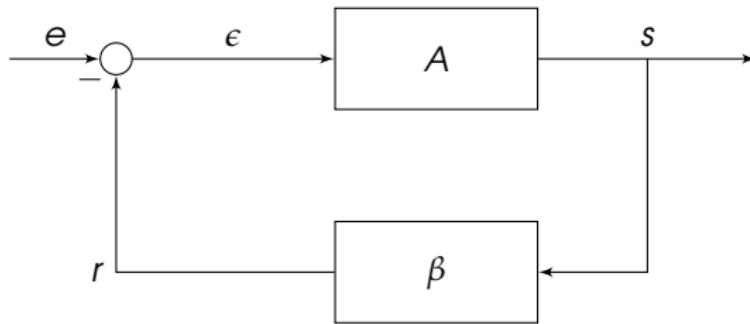
## Opérations sur les blocs (2/2)

Contre-réaction (attention :  $\neq$  mise en parallèle)



La fonction de transfert/Gain équivalent(e)  $H'$  est :

Contre-réaction (attention :  $\neq$  mise en parallèle)

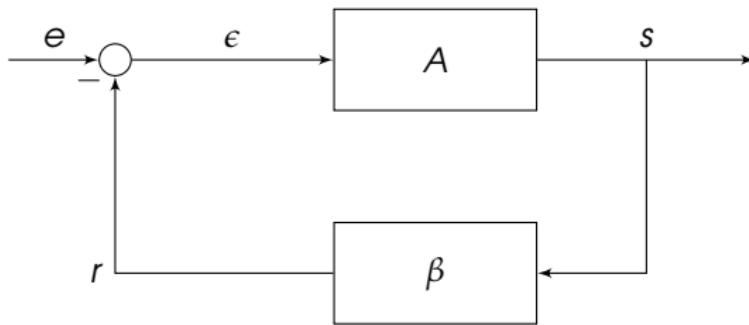


La fonction de transfert/Gain équivalent(e)  $H'$  est :

$$H' = \frac{A}{1 + \beta \cdot A}$$

## Opérations sur les blocs (2/2)

Contre-réaction (attention :  $\neq$  mise en parallèle)



La fonction de transfert/Gain équivalent(e)  $H'$  est :

$$H' = \frac{A}{1 + \beta \cdot A}$$

Cette configuration est très importante en électronique, notamment pour les montages à Amplificateurs Opérationnels

# Quadripôles

## Schémas bloc

- Permettent une vue synthétique d'un système (sans vue « composant »),

## Schémas bloc

- Permettent une vue synthétique d'un système (sans vue « composant »),
- mais : ne sont pas spécifiques à l'électricité,

## Schémas bloc

- Permettent une vue synthétique d'un système (sans vue « composant »),
- mais : ne sont pas spécifiques à l'électricité,
- en particulier : en électronique, une **flèche** (entrée/sortie) = **paire de fils**

## Schémas bloc

- Permettent une vue synthétique d'un système (sans vue « composant »),
- mais : ne sont pas spécifiques à l'électricité,
- en particulier : en électronique, une **flèche** (entrée/sortie) = **paire de fils**

## Solution

Utilisation de quadripôles qui permettent :

- une vue synthétique d'un système de manière similaire aux blocs,

## Schémas bloc

- Permettent une vue synthétique d'un système (sans vue « composant »),
- mais : ne sont pas spécifiques à l'électricité,
- en particulier : en électronique, une **flèche** (entrée/sortie) = **paire de fils**

## Solution

Utilisation de quadripôles qui permettent :

- une vue synthétique d'un système de manière similaire aux blocs,
- de prendre en compte les grandeurs électriques (courant/tension),

## Schémas bloc

- Permettent une vue synthétique d'un système (sans vue « composant »),
- mais : ne sont pas spécifiques à l'électricité,
- en particulier : en électronique, une **flèche** (entrée/sortie) = **paire de fils**

## Solution

Utilisation de quadripôles qui permettent :

- une vue synthétique d'un système de manière similaire aux blocs,
- de prendre en compte les grandeurs électriques (courant/tension),
- d'inclure les lois électriques (Ohm, Kirchhoff...)

## Définitions : symbole

Représentation sous forme d'une boîte noire avec deux paires de fils :

- un couple tension/courant d'entrée  $V_1, I_1$
- un couple tension/courant de sortie  $V_2, I_2$



## Définitions : symbole

Représentation sous forme d'une boîte noire avec deux paires de fils :

- un couple tension/courant d'entrée  $V_1, I_1$
- un couple tension/courant de sortie  $V_2, I_2$



### Attention !

- contrairement aux blocs, pas de sens entrée/sortie,

## Définitions : symbole

Représentation sous forme d'une boîte noire avec deux paires de fils :

- un couple tension/courant d'entrée  $V_1, I_1$
- un couple tension/courant de sortie  $V_2, I_2$



### Attention !

- contrairement aux blocs, pas de sens entrée/sortie,
- **Convention quadripôle** : tous les courants sont rentrants,

## Définitions : symbole

Représentation sous forme d'une boîte noire avec deux paires de fils :

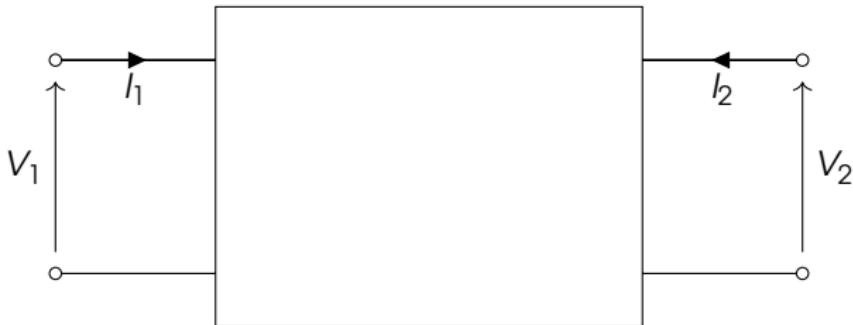
- un couple tension/courant d'entrée  $V_1, I_1$
- un couple tension/courant de sortie  $V_2, I_2$



### Attention !

- contrairement aux blocs, pas de sens entrée/sortie,
- **Convention quadripôle** : tous les courants sont rentrants,
- il y a quatre quantités, définir le fonctionnement du quadripôle nécessite de définir  $4 - 1 = 3$  propriétés.

## Définitions : Gain en tension à vide



Caractéristique de transfert :

On définit le gain en tension **à vide** par :

$$A_0 = \left. \frac{V_2}{V_1} \right|_{I_2=0}$$

attention : pour le calcul ou la mesure, on doit impérativement débrancher la charge en sortie.

## Définitions : Résistance d'entrée



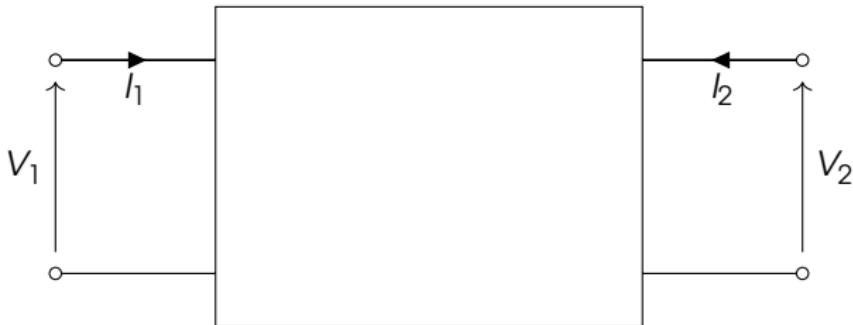
### Caractéristique d'entrée :

On définit la résistance d'entrée par la loi d'Ohm en entrée :

$$R_e = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

attention : pour le calcul ou la mesure, on doit impérativement débrancher la charge en sortie.

## Définitions : Résistance de sortie



### Caractéristique de sortie :

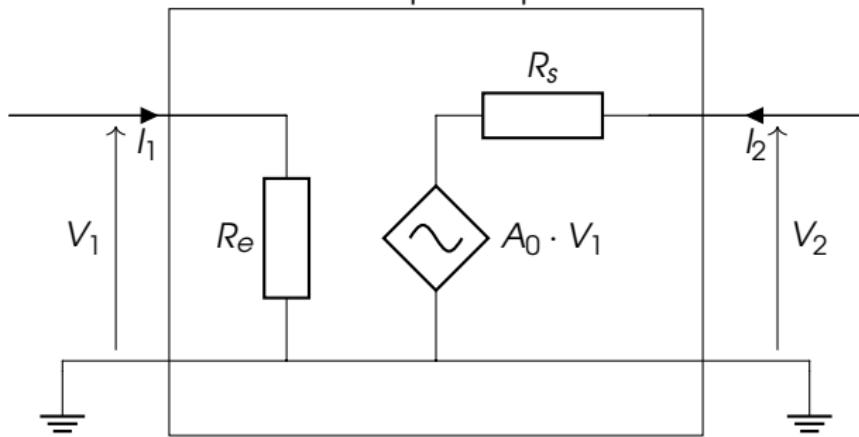
On définit la résistance de sortie par la loi d'Ohm en sortie :

$$R_s = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

attention : pour le calcul ou la mesure, on doit impérativement annuler l'excitation en entrée.

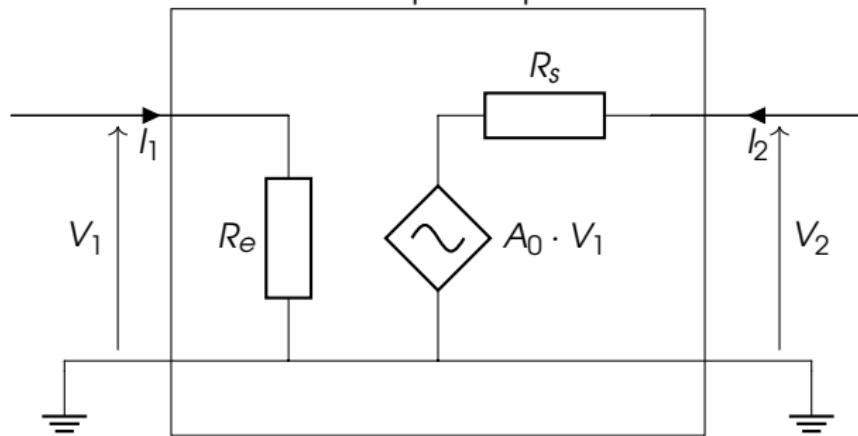
# Quadripôle en tension

modèle complet équivalent :



# Quadripôle en tension

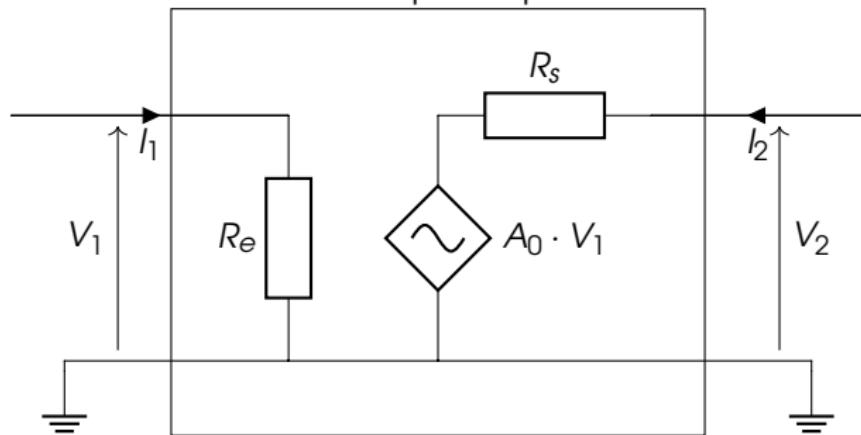
modèle complet équivalent :



- **entrée** : simple résistance,
- **sortie** : générateur non idéal de tension (générateur de Thévenin).

# Quadripôle en tension

modèle complet équivalent :

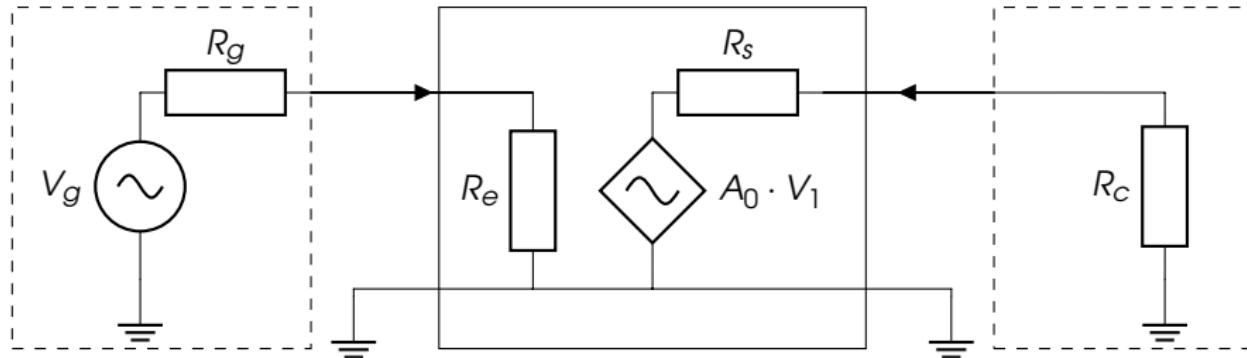


- **entrée** : simple résistance,
- **sortie** : générateur non idéal de tension (générateur de Thévenin).

**Question** : que ce passe t'il si l'on met un générateur non idéal en entrée et une charge en sortie ?

# Quadripôle en tension avec charge 1/3

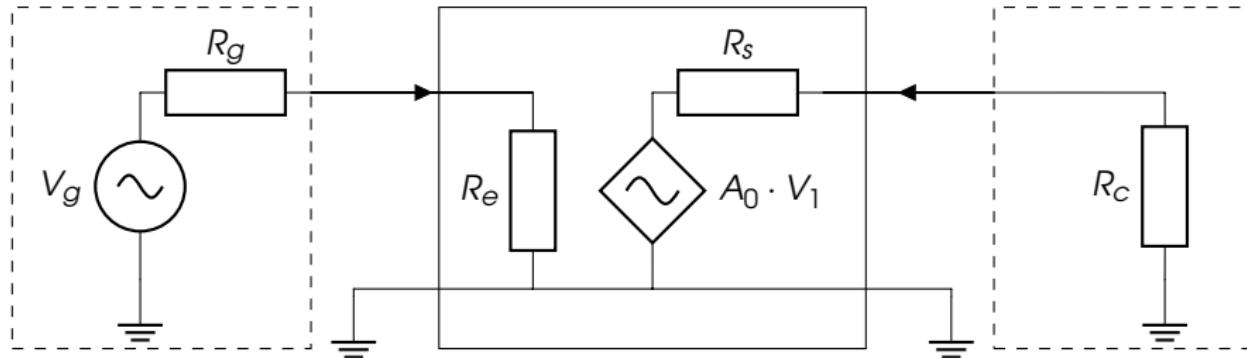
quadr. précédent



Mise en cascade

# Quadripôle en tension avec charge 1/3

quadr. précédent



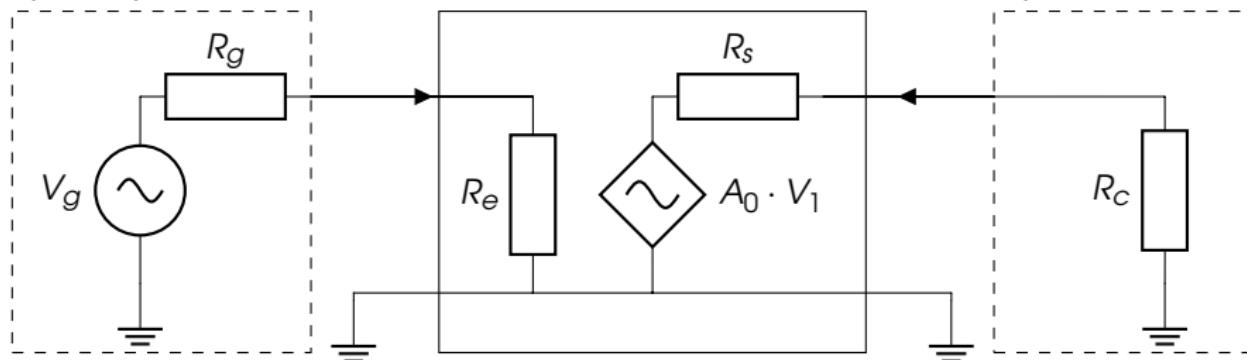
quadr. suivant

## Mise en cascade

- en entrée et sortie : quadripôles de même type,

# Quadripôle en tension avec charge 1/3

quadr. précédent

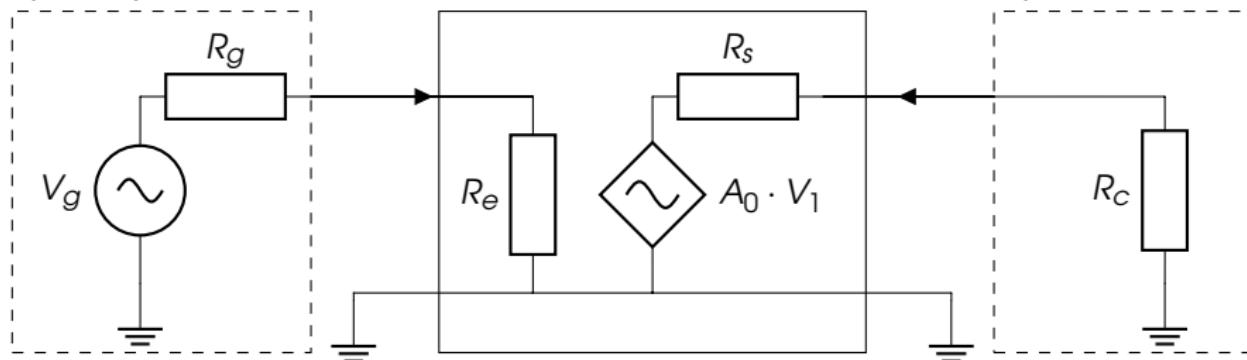


## Mise en cascade

- en entrée et sortie : quadripôles de même type,
- à priori, on s'attend à avoir sur la charge  $R_C$  la tension d'entrée  $V_g$  multipliée par le gain  $A_0$

# Quadripôle en tension avec charge 1/3

quadr. précédent



quadr. suivant

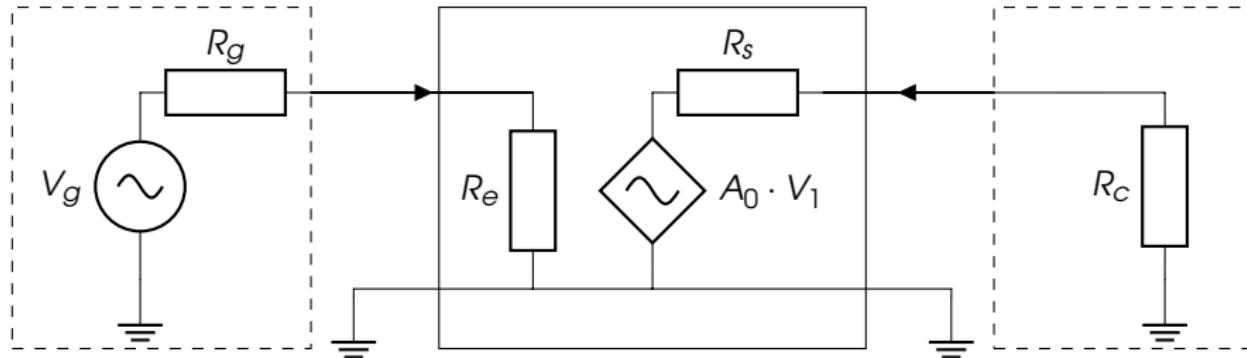
## Mise en cascade

- en entrée et sortie : quadripôles de même type,
- à priori, on s'attend à avoir sur la charge  $R_C$  la tension d'entrée  $V_g$  multipliée par le gain  $A_0$

**ATTENTION : vrai sous certaines conditions uniquement !**

# Quadripôle en tension avec charge 2/3

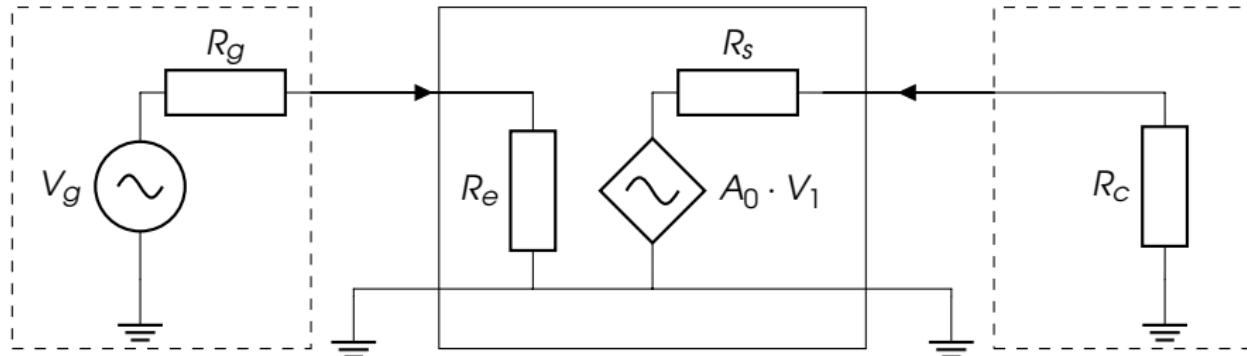
quadr. précédent



Condition en entrée

# Quadripôle en tension avec charge 2/3

quadr. précédent



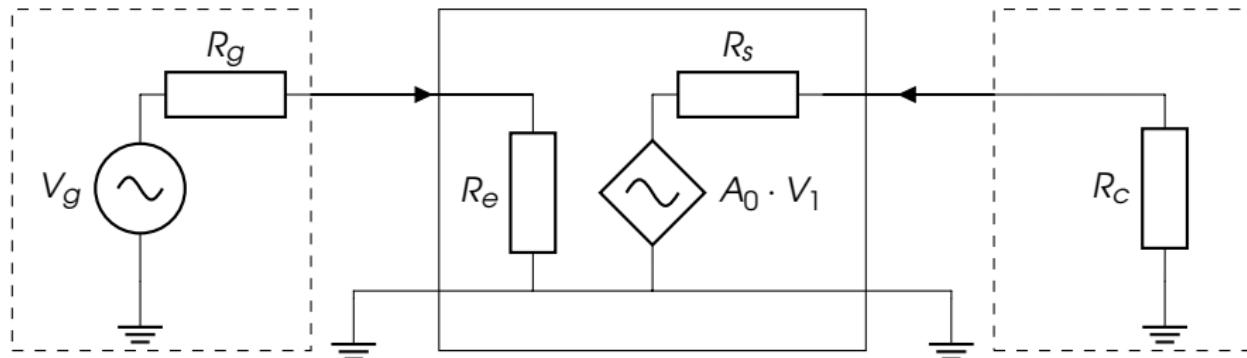
quadr. suivant

Condition en entrée

$$V_1 = \frac{R_e}{R_e + R_g} V_g$$

# Quadripôle en tension avec charge 2/3

quadr. précédent



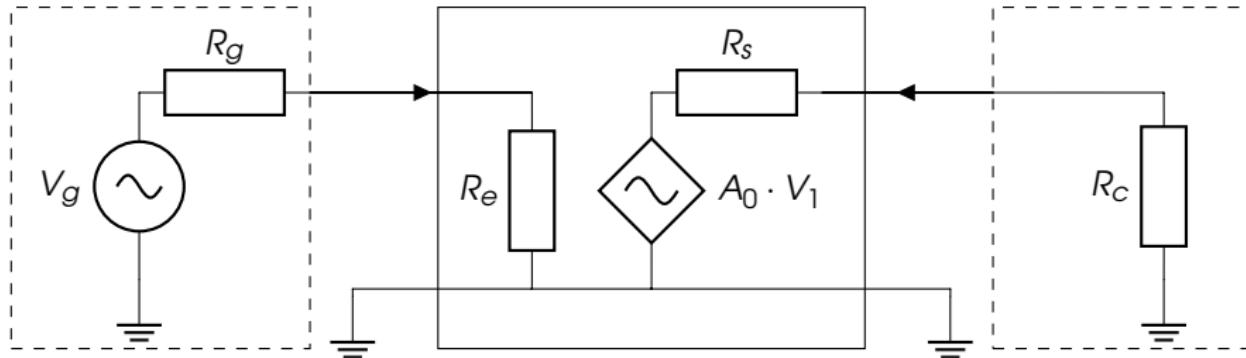
Condition en entrée

$$V_1 = \frac{R_e}{R_e + R_g} V_g$$

On a tout intérêt à avoir  $R_e \gg R_g$ , ou dans l'idéal  $R_e \rightarrow +\infty$  (ainsi  $V_1 = V_g$ )

# Quadripôle en tension avec charge 3/3

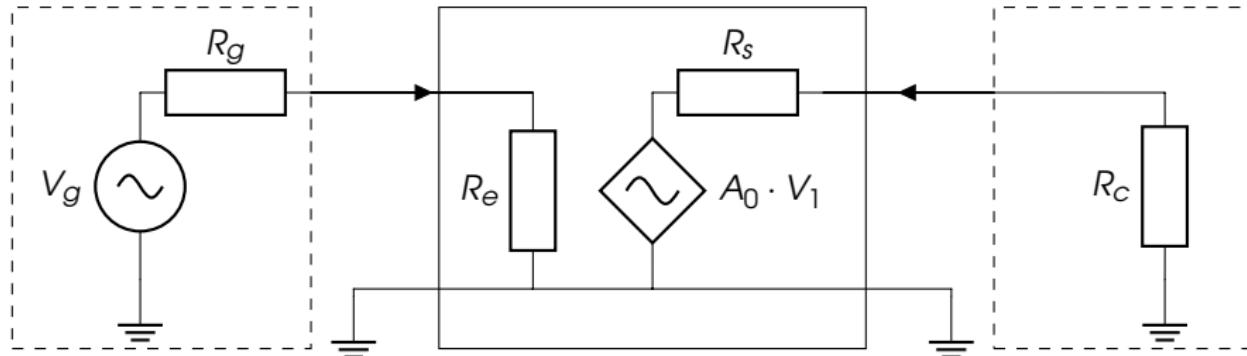
quadr. précédent



Condition en sortie

# Quadripôle en tension avec charge 3/3

quadr. précédent

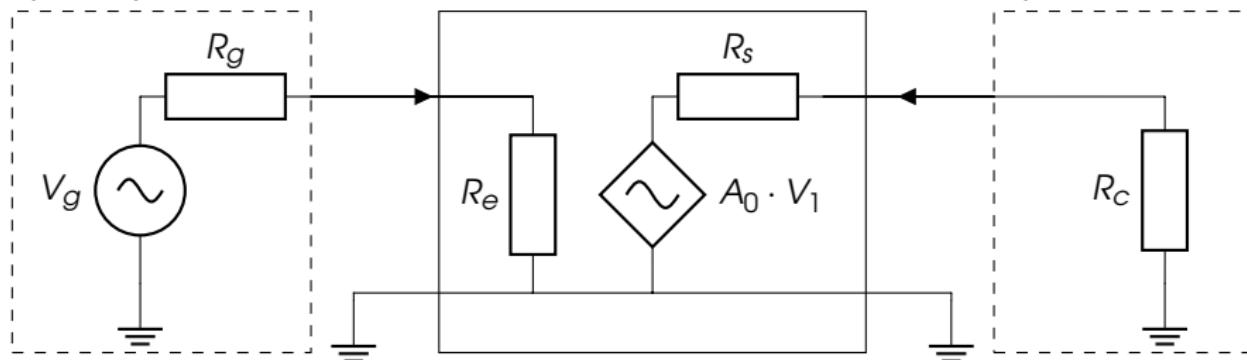


Condition en sortie

$$V_2 = \frac{R_c}{R_c + R_s} A_0 V_1$$

# Quadripôle en tension avec charge 3/3

quadr. précédent



Condition en sortie

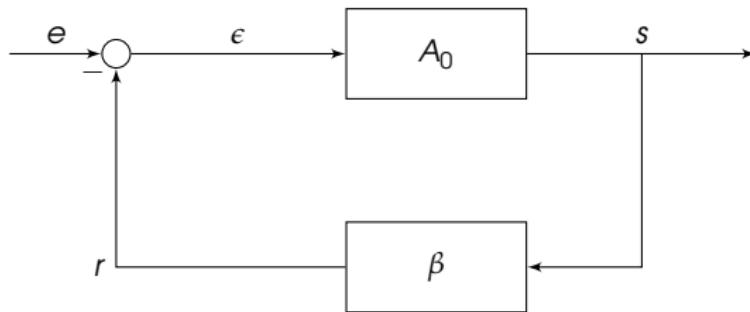
$$V_2 = \frac{R_C}{R_C + R_s} A_0 V_1$$

On a tout intérêt à avoir  $R_s \ll R_C$ , ou dans l'idéal  $R_s \rightarrow 0$  (ainsi  $V_2 = A_0 V_1$ )

## Introduction aux amplificateurs opérationnels

## Rappel : contre-réaction

Nous avons vu avec le schéma bloc la configuration suivante en **contre-réaction** :

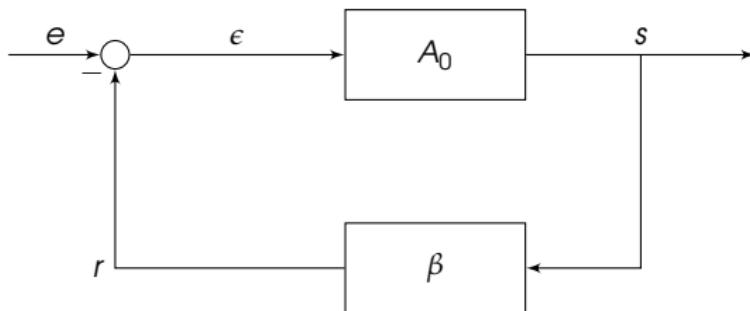


### Rappel

Dans ce cas, la fonction de transfert est :

## Rappel : contre-réaction

Nous avons vu avec le schéma bloc la configuration suivante en **contre-réaction** :



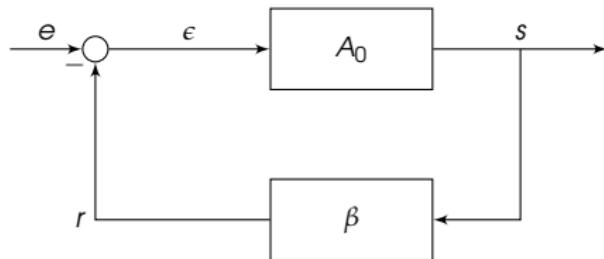
### Rappel

Dans ce cas, la fonction de transfert est :

$$H = \frac{s}{e} = \frac{A_0}{1 + \beta A_0}$$

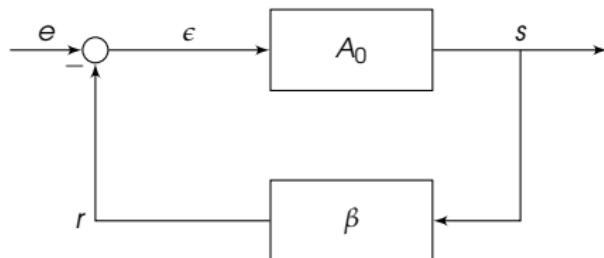
## Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



# Un cas un peu particulier...

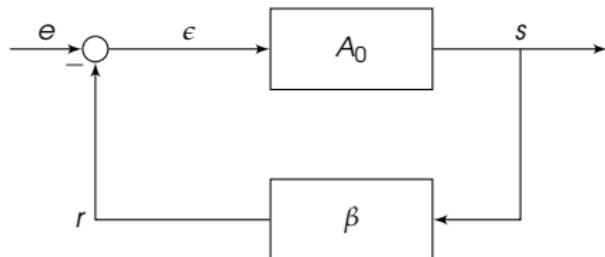
Que se passe-t'il maintenant si :



- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)

# Un cas un peu particulier...

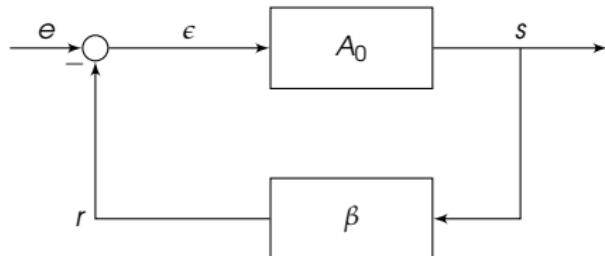
Que se passe-t'il maintenant si :



- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

# Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



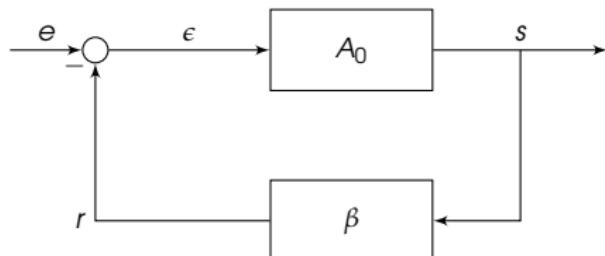
- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

## Solution

$$\lim_{A_0 \rightarrow +\infty} H =$$

## Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



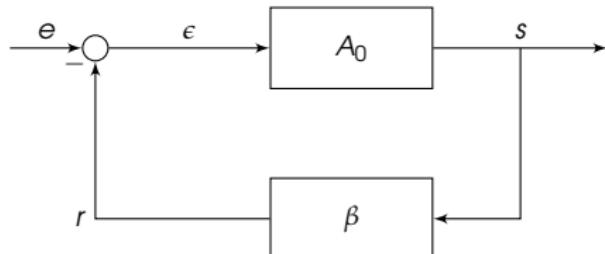
- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

### Solution

$$\lim_{A_0 \rightarrow +\infty} H = \lim_{A_0 \rightarrow +\infty} \frac{A_0}{1 + \beta A_0} =$$

## Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



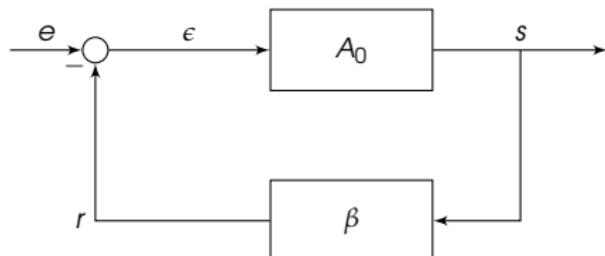
- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

### Solution

$$\lim_{A_0 \rightarrow +\infty} H = \lim_{A_0 \rightarrow +\infty} \frac{A_0}{1 + \beta A_0} = \lim_{A_0 \rightarrow +\infty} \frac{1}{\frac{1}{A_0} + \beta} =$$

## Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

### Solution

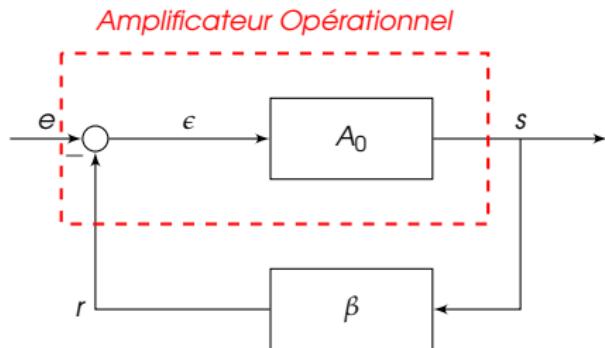
$$\lim_{A_0 \rightarrow +\infty} H = \lim_{A_0 \rightarrow +\infty} \frac{A_0}{1 + \beta A_0} = \lim_{A_0 \rightarrow +\infty} \frac{1}{\frac{1}{A_0} + \beta} = \frac{1}{\beta}$$

$$\text{et } \frac{1}{\beta} > 1$$

nous venons de créer un schéma qui est un amplificateur de gain contrôlé  $1/\beta$

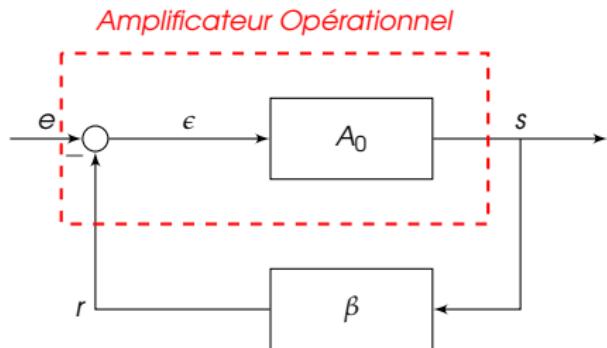
... ou plutôt régulier

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



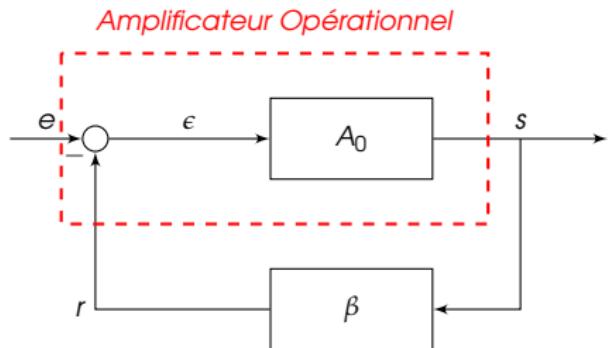
... ou plutôt régulier

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

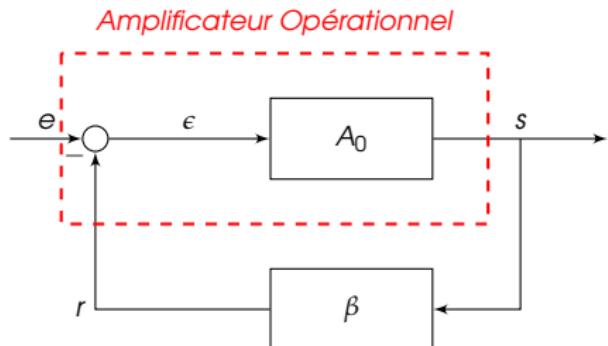
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,

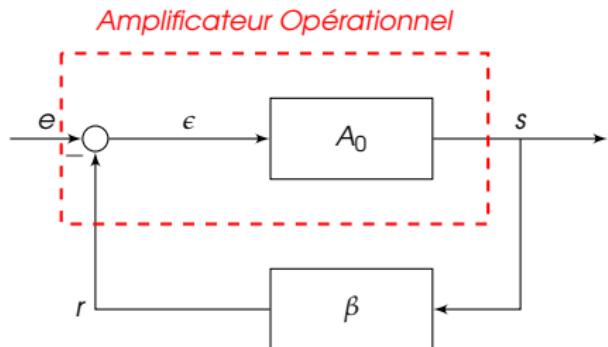
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,

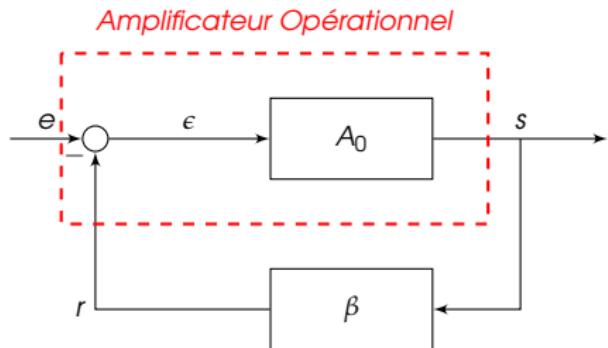
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,
- un gain à vide  $A_0$  énorme (quasi-infini)

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :

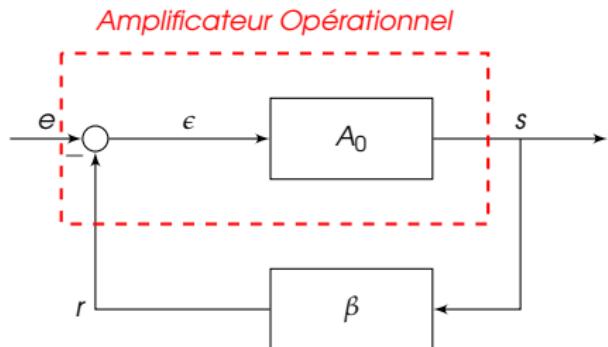


On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,
- un gain à vide  $A_0$  énorme (quasi-infini)
- une paire de fils : tension de sortie

... ou plutôt régulier

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



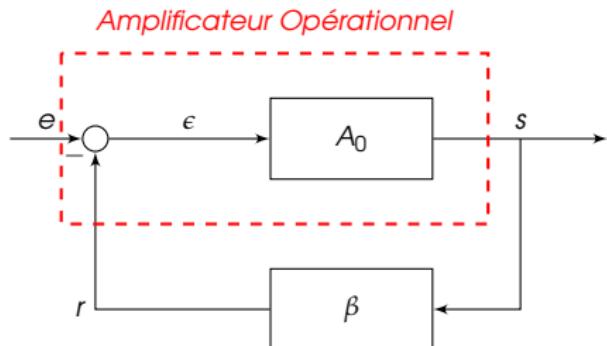
On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,
- un gain à vide  $A_0$  énorme (quasi-infini)
- une paire de fils : tension de sortie

Attention

... ou plutôt régulier

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

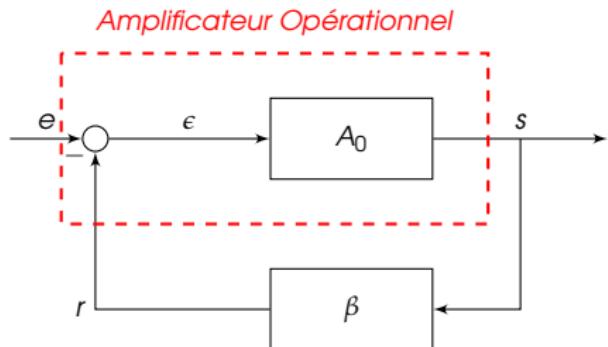
- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,
- un gain à vide  $A_0$  énorme (quasi-infini)
- une paire de fils : tension de sortie

## Attention

- on parlera d'un composant électronique : plus de flèche mais des fils,

... ou plutôt régulier

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

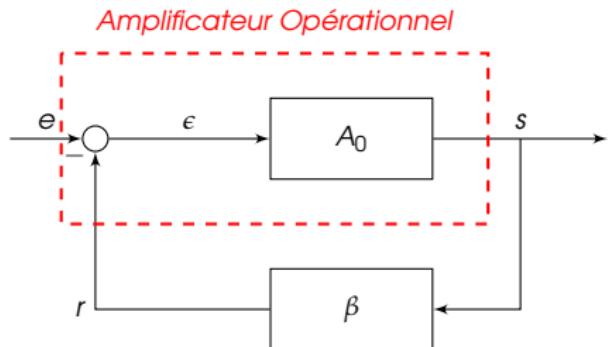
- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,
- un gain à vide  $A_0$  énorme (quasi-infini)
- une paire de fils : tension de sortie

## Attention

- on parlera d'un composant électronique : plus de flèche mais des fils,
- restent à définir les propriétés manquantes : **résistances d'entrée et sortie**.

... ou plutôt régulier

L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



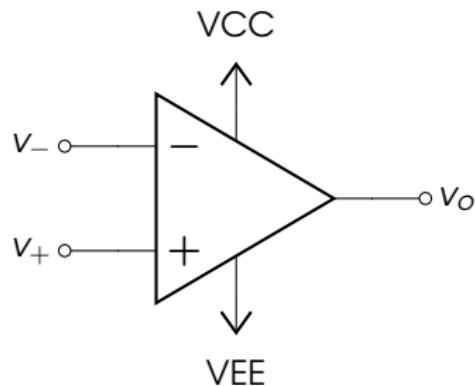
On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,
- un fil : une entrée non-inverseuse,
- un gain à vide  $A_0$  énorme (quasi-infini)
- une paire de fils : tension de sortie

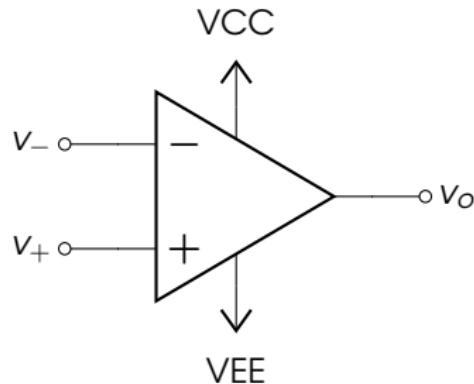
## Attention

- on parlera d'un composant électronique : plus de flèche mais des fils,
- restent à définir les propriétés manquantes : **résistances d'entrée et sortie**.
- TOUT CELA N'EST VALABLE QUI SI LE SCHÉMA INCLUT UNE CONTRE-RÉACTION !

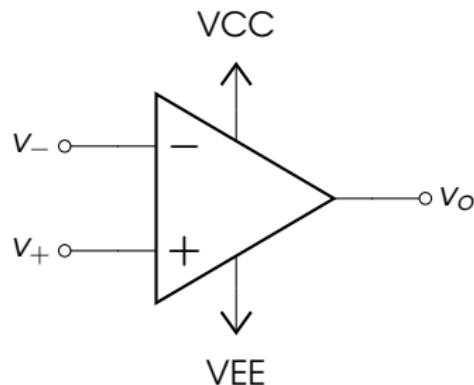
## AOP, symbole et broches



## AOP, symbole et broches



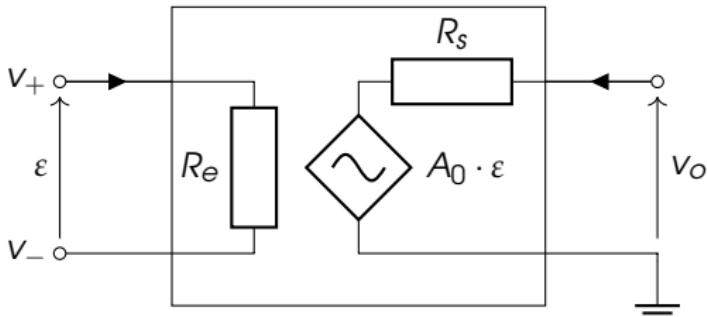
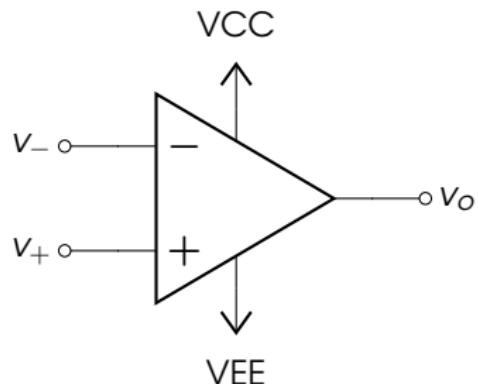
- $v_-$  entrée inverseuse,
- $v_+$  entrée non-inverseuse,
- $v_O$  sortie, référencée à la masse



- $v_-$  entrée inverseuse,
- $v_+$  entrée non-inverseuse,
- $v_o$  sortie, référencée à la masse
- $VCC$  et  $VEE$  les tensions d'alimentation (symétrique ou non)

leur représentation n'est pas obligatoire mais en pratique :

$$VCC > v_o > VEE$$



- $v_-$  entrée inverseuse,
- $v_+$  entrée non-inverseuse,
- $v_o$  sortie, référencée à la masse
- $VCC$  et  $VEE$  les tensions d'alimentation (symétrique ou non)

leur représentation n'est pas obligatoire mais en pratique :

$$VCC > v_o > VEE$$

## Exemple tiré de la documentation du LM741:

### 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS  |   | MIN      | TYP      | MAX | UNIT                 |
|---------------------------------------|--|---|----------|----------|-----|----------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ |          | 1        | 5   | mV                   |
|                                       |  |   |          | 6        |     | mV                   |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20 \text{ V}$                                |   |          | $\pm 15$ |     | mV                   |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$        |   |          | 20       | 200 | nA                   |
|                                       |  |   |          | 85       | 500 |                      |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$        |   |          | 80       | 500 | nA                   |
|                                       |  |   |          |          | 1.5 | $\mu\text{A}$        |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20 \text{ V}$                                |   | 0.3      | 2        |     | $\text{M}\Omega$     |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$                                    |   | $\pm 12$ | $\pm 13$ |     | V                    |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}$ , $V_O = \pm 10 \text{ V}$ , $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50       | 200      |     | $\text{V}/\text{mV}$ |
|                                       |  |   |          | 25       |     |                      |

Exemple tiré de la documentation du *LM741*:6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS  |   | MIN      | TYP      | MAX | UNIT                 |
|---------------------------------------|--|---|----------|----------|-----|----------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ |          | 1        | 5   | $\text{mV}$          |
|                                       |  |   |          | 6        |     | $\text{mV}$          |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20 \text{ V}$                                |   |          | $\pm 15$ |     | $\text{mV}$          |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$        |   | 20       | 200      |     | $\text{nA}$          |
|                                       |  |   | 85       | 500      |     |                      |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$        |   | 80       | 500      |     | $\text{nA}$          |
|                                       |  |   |          | 1.5      |     | $\mu\text{A}$        |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20 \text{ V}$                                |   | 0.3      | 2        |     | $\text{M}\Omega$     |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$                                    |   | $\pm 12$ | $\pm 13$ |     | $\text{V}$           |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}$ , $V_O = \pm 10 \text{ V}$ , $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50       | 200      |     | $\text{V}/\text{mV}$ |
|                                       |  |   | 25       |          |     |                      |

$$A_0 = 200 \text{ V/mV} = \frac{200}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$$

Exemple tiré de la documentation du *LM741*:

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP | MAX | UNIT          |
|---------------------------------------|---|-----|-----|-----|---------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |     | 1   | 5   | $\text{mV}$   |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | 6   |     | $\text{mV}$   |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   | 20  | 200 |     | $\text{nA}$   |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   | 85  | 500 |     | $\text{nA}$   |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  | 80  | 500 |     | $\text{nA}$   |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   | 1.5 |     |     | $\mu\text{A}$ |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50  | 200 | 25  | $\text{V/mV}$ |

$$A_0 = 200 \text{ V/mV} = \frac{200}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$$

Quelle conséquence en entrée ?

Exemple tiré de la documentation du LM741:

6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP      | MAX      | UNIT                 |
|---------------------------------------|---|-----|----------|----------|----------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |     | 1        | 5        | mV                   |
|                                       |   |     |          | 6        | mV                   |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | $\pm 15$ |          | mV                   |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 20       | 200      | nA                   |
|                                       |   |     | 85       | 500      | nA                   |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 80       | 500      | nA                   |
|                                       |   |     |          | 1.5      | $\mu\text{A}$        |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  | 0.3 | 2        |          | $\text{M}\Omega$     |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | $\pm 12$ | $\pm 13$ | V                    |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50  | 200      |          | $\text{V}/\text{mV}$ |
|                                       |   |     |          | 25       |                      |

$$A_0 = 200 \text{ V/mV} = \frac{200}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$$

**Quelle conséquence en entrée ?**si l'alimentation est à 15 V,  $v_O < 15 \text{ V}$  :

Exemple tiré de la documentation du LM741:

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP      | MAX      | UNIT                 |
|---------------------------------------|---|-----|----------|----------|----------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |     | 1        | 5        | $\text{mV}$          |
|                                       |   |     |          | 6        | $\text{mV}$          |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | $\pm 15$ |          | $\text{mV}$          |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 20       | 200      | $\text{nA}$          |
|                                       |   |     | 85       | 500      | $\text{nA}$          |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 80       | 500      | $\text{nA}$          |
|                                       |   |     |          | 1.5      | $\mu\text{A}$        |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  | 0.3 | 2        |          | $\text{M}\Omega$     |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | $\pm 12$ | $\pm 13$ | $\text{V}$           |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50  | 200      |          | $\text{V}/\text{mV}$ |
|                                       |   |     |          | 25       |                      |

$$A_0 = 200 \text{ V/mV} = \frac{200}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$$

Quelle conséquence en entrée ?

si l'alimentation est à 15 V,  $v_o < 15 \text{ V}$  :

$$\Rightarrow V_+ - V_- < \frac{V_o}{A_0} < \frac{15}{2 \cdot 10^5} = 75 \mu\text{V}$$

Exemple tiré de la documentation du LM741:

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP      | MAX      | UNIT                 |
|---------------------------------------|---|-----|----------|----------|----------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |     | 1        | 5        | mV                   |
|                                       |   |     |          | 6        | mV                   |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | $\pm 15$ |          | mV                   |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 20       | 200      | nA                   |
|                                       |   |     | 85       | 500      | nA                   |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 80       | 500      | nA                   |
|                                       |   |     |          | 1.5      | $\mu\text{A}$        |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  | 0.3 | 2        |          | $\text{M}\Omega$     |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | $\pm 12$ | $\pm 13$ | V                    |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50  | 200      |          | $\text{V}/\text{mV}$ |
|                                       |   |     |          | 25       |                      |

$$A_0 = 200 \text{ V/mV} = \frac{200}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$$

Quelle conséquence en entrée ?

si l'alimentation est à 15 V,  $v_O < 15 \text{ V}$  :

$$\Rightarrow v_+ - v_- < \frac{v_O}{A_0} < \frac{15}{2 \cdot 10^5} = 75 \mu\text{V}$$

soit  $\varepsilon = v_+ - v_- \approx 0 \text{ V}$

Exemple tiré de la documentation du *LM741*:

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS  |   | MIN      | TYP      | MAX | UNIT       |
|---------------------------------------|--|---|----------|----------|-----|------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$  | $T_A = 25^\circ\text{C}$  |          | 1        | 5   | mV         |
|                                       |  | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$                             |          | 6        |     | mV         |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$                             |   |          | $\pm 15$ |     | mV         |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |   | 20       | 200      |     | nA         |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |   | 80       | 500      |     | nA         |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$                             |   | 0.3      | 2        |     | M $\Omega$ |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$                              |   | $\pm 12$ | $\pm 13$ |     | V          |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$ | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ | 50       | 200      |     | V/mV       |
|                                       |  |   | 25       |          |     |            |

$$A_0 = 200 \text{ V/mV} = \frac{200}{10^{-3}} = 2 \cdot 10^5$$

Quelle conséquence en entrée ?

si l'alimentation est à 15 V,  $v_O < 15 \text{ V}$ :

$$\Rightarrow v_+ - v_- < \frac{v_O}{A_0} < \frac{15}{2 \cdot 10^5} = 75 \text{ } \mu\text{V}$$

soit  $\varepsilon = v_+ - v_- \approx 0 \text{ V}$

Hypothèse 1

En pratique, si l'AOP est contre-réactionné, on pose :

$$v_+ = v_-$$

**Rappel :** Dans un quadripôle en tension, la résistance d'entrée idéale est infinie.

**Rappel :** Dans un quadripôle en tension, la résistance d'entrée idéale est infinie.

Exemple tiré de la documentation du *LM741*:

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP      | MAX      | UNIT             |
|---------------------------------------|---|-----|----------|----------|------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |     | 1        | 5        | mV               |
|                                       |   |     |          | 6        | mV               |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | $\pm 15$ |          | mV               |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 20       | 200      | nA               |
|                                       |   |     | 85       | 500      |                  |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 80       | 500      | nA               |
|                                       |   |     |          | 1.5      | $\mu\text{A}$    |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | 0.3      | 2        | $\text{M}\Omega$ |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | $\pm 12$ | $\pm 13$ | V                |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ |     | 50       | 200      |                  |
|                                       |   |     |          | 25       | V/mV             |

**Rappel :** Dans un quadripôle en tension, la résistance d'entrée idéale est infinie.

Exemple tiré de la documentation du *LM741*:

## 6.5 Electrical Characteristics, LM741<sup>(1)</sup>

| PARAMETER                             | TEST CONDITIONS   | MIN | TYP      | MAX      | UNIT             |
|---------------------------------------|---|-----|----------|----------|------------------|
| Input offset voltage                  | $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$  |     | 1        | 5        | mV               |
|                                       |   |     |          | 6        | mV               |
| Input offset voltage adjustment range | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | $\pm 15$ |          | mV               |
| Input offset current                  | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 20       | 200      | nA               |
|                                       |   |     | 85       | 500      |                  |
| Input bias current                    | $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | 80       | 500      | nA               |
|                                       |   |     |          | 1.5      | $\mu\text{A}$    |
| Input resistance                      | $T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$  |     | 0.3      | 2        | $\text{M}\Omega$ |
| Input voltage range                   | $T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$   |     | $\pm 12$ | $\pm 13$ | V                |
| Large signal voltage gain             | $V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{A\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{A\text{MAX}}$ |     | 50       | 200      |                  |
|                                       |   |     |          | 25       | V/mV             |

## Hypothèse 2

Dans un AOP, on considère la résistance d'entrée comme infinie. On pose :

$$i_+ = i_- = 0$$

**Rappel** : Dans un quadripôle en tension, la résistance de sortie idéale est nulle.

**Rappel** : Dans un quadripôle en tension, la résistance de sortie idéale est nulle.

## Hypothèse 3

Dans un AOP, on considère la résistance de sortie comme nulle, la sortie est un générateur de tension idéal.

Dans la plupart des cas, on cherche à calculer la sortie en fonction de l'entrée (gain ou fonction de transfert).

Dans la plupart des cas, on cherche à calculer la sortie en fonction de l'entrée (gain ou fonction de transfert).

### Méthode

Dans la plupart des cas, on cherche à calculer la sortie en fonction de l'entrée (gain ou fonction de transfert).

## Méthode

- dans un premier temps : on vérifie **TOUJOURS** que le circuit comporte une **contre-réaction** (lien électrique entre la sortie et l'entrée inverseuse)

Dans la plupart des cas, on cherche à calculer la sortie en fonction de l'entrée (gain ou fonction de transfert).

## Méthode

- dans un premier temps : on vérifie **TOUJOURS** que le circuit comporte une **contre-réaction** (lien électrique entre la sortie et l'entrée inverseuse)
- **si et uniquement si** c'est le cas, on peut poser l'équation  $v_+ = v_-$

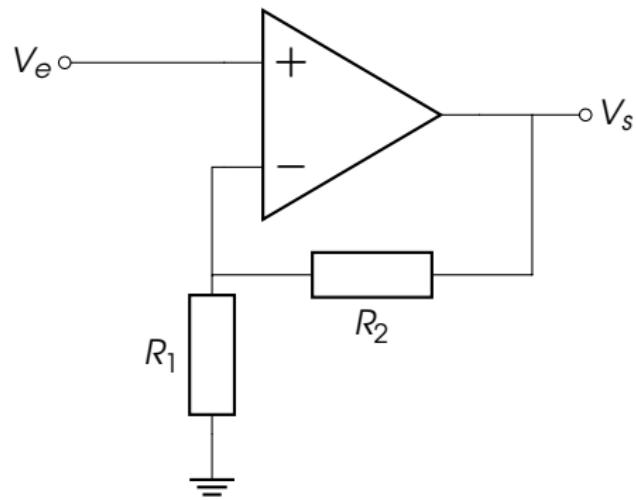
Dans la plupart des cas, on cherche à calculer la sortie en fonction de l'entrée (gain ou fonction de transfert).

## Méthode

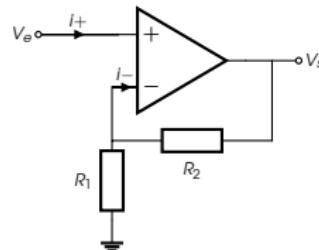
- dans un premier temps : on vérifie **TOUJOURS** que le circuit comporte une **contre-réaction** (lien électrique entre la sortie et l'entrée inverseuse)
- **si et uniquement si** c'est le cas, on peut poser l'équation  $v_+ = v_-$
- en utilisant  $i_+ = 0$  et  $i_- = 0$  on peut généralement calculer  $v_+$  et  $v_-$  en fonction des autres tensions du circuit,
- la suite est normalement plus évidente...

# Un premier exemple

Objectif : calculer le gain du montage suivant

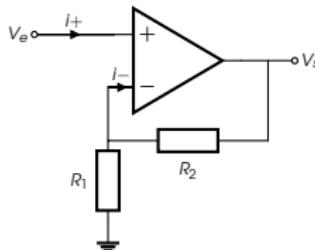


## Un premier exemple - pas à pas



- y a-t'il une contre-réaction ? :

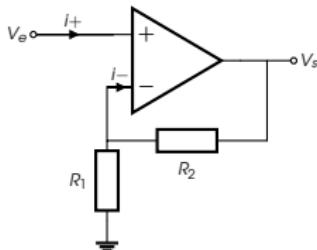
## Un premier exemple - pas à pas



- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

$$V_+ = V_-$$

## Un premier exemple - pas à pas

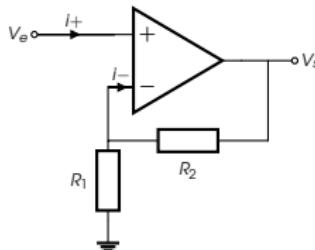


- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

$$V_+ = V_-$$

- $i_- = 0$ ,

## Un premier exemple - pas à pas



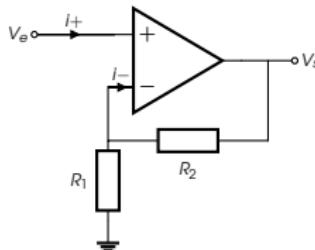
- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

$$V_+ = V_-$$

- $i_- = 0$ , on peut donc relier  $V_-$  à  $V_s$  en utilisant un diviseur de tension :

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

## Un premier exemple - pas à pas



- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

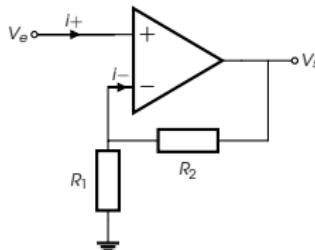
$$v_+ = v_-$$

- $i_- = 0$ , on peut donc relier  $v_-$  à  $V_s$  en utilisant un diviseur de tension :

$$v_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

- de manière plus évidente :  $v_+ = V_e$

## Un premier exemple - pas à pas



- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

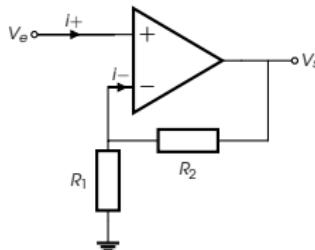
$$V_+ = V_-$$

- $i_- = 0$ , on peut donc relier  $V_-$  à  $V_s$  en utilisant un diviseur de tension :

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

- de manière plus évidente :  $V_+ = V_e$
- or nous avons déjà écrit  $V_+ = V_-$ , donc  $V_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$

## Un premier exemple - pas à pas



- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

$$v_+ = v_-$$

- $i_- = 0$ , on peut donc relier  $v_-$  à  $V_s$  en utilisant un diviseur de tension :

$$v_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

- de manière plus évidente :  $v_+ = V_e$
- or nous avons déjà écrit  $v_+ = v_-$ , donc  $V_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$

$$\Rightarrow \frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$