

# 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

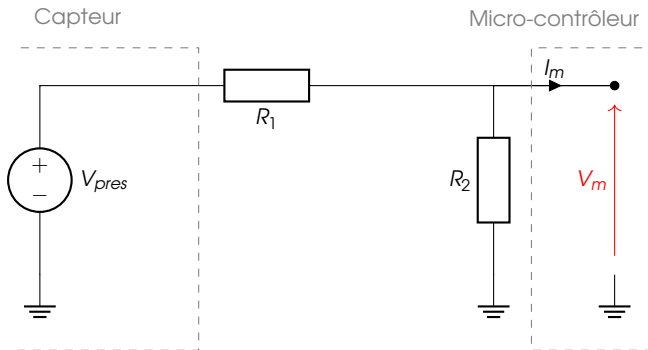
## Solution

- 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.

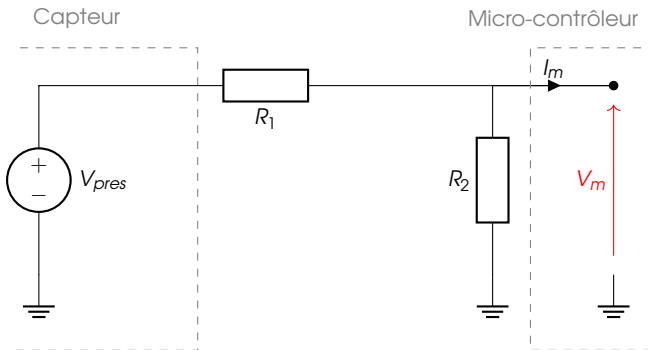
# Exemple 1 : Dimensionnement d'un pont diviseur

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



## Exemple 1 : Dimensionnement d'un pont diviseur

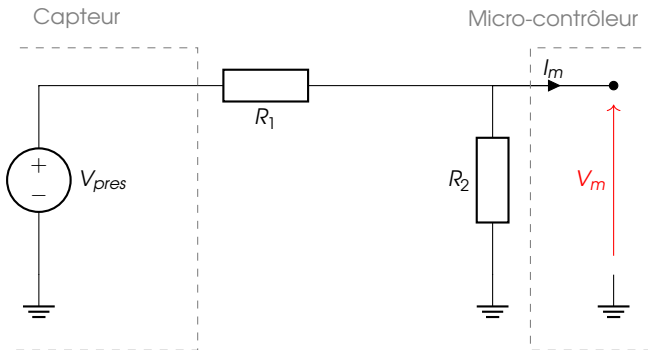
- Concerne l'étude d'un bloc simple
- Fait l'interface entre un *capteur* et un *micro-contrôleur*



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*

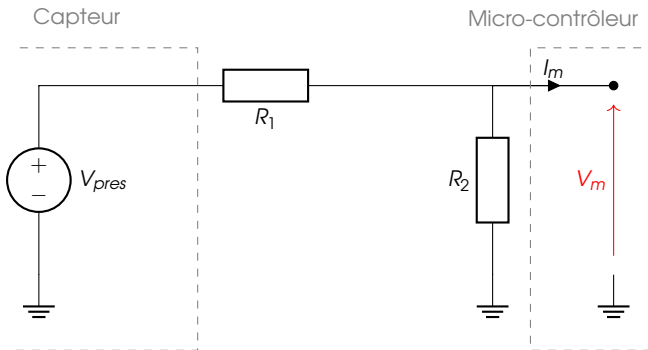


Si  $I_m \approx 0$  A, nous pouvons exprimer  $V_m = f(V_{pres})$  :

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

# 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 quadricoptère

Le même raisonnement peut être mené sur des systèmes plus complexes

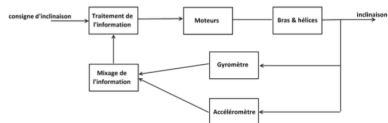


## Exemple 2 : Commande de l'inclinaison d'un quadricoptère

Le même raisonnement peut être mené sur des systèmes plus complexes



schéma de principe :



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

Le même raisonnement peut être mené sur des systèmes plus complexes



schéma de principe :

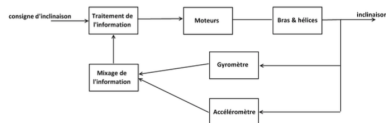
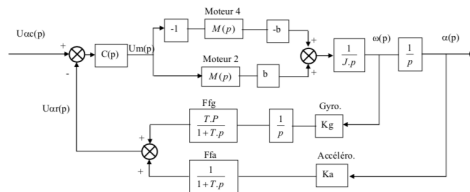


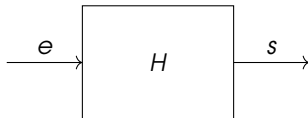
schéma bloc :



**Permet des premiers calculs !**

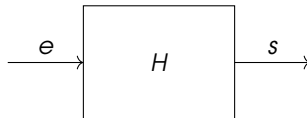
## Bloc : définition (1/3)

Bloc = boîte noire (peu importe le schéma interne)



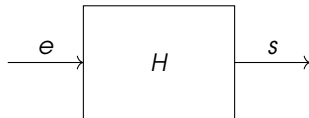
## Bloc : définition (1/3)

Bloc = boîte 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)

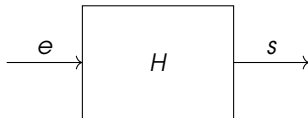
Bloc = boîte noire (peu importe le schéma interne)



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

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

Bloc = boîte noire (peu importe le schéma interne)



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

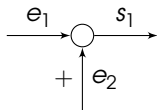
$$H = \frac{s}{e}$$

Rmq 1 :  $H$  peut avoir une unité,

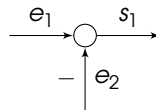
Rmq 2 :  $H$  est la caractéristique de **transfert** de l'entrée vers la sortie, on parle de **fonction de transfert**

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

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

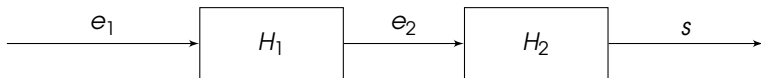


$$s_1 = e_1 + e_2$$



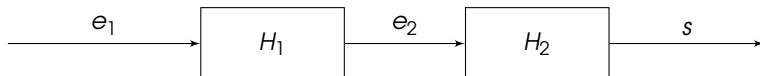
$$s_1 = e_1 - e_2$$

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



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

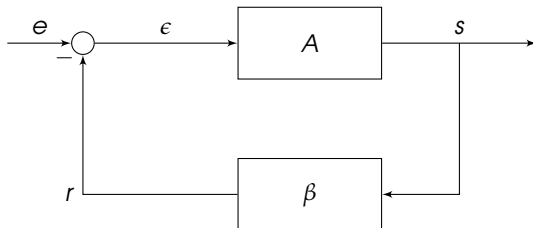
Mise en cascade (attention :  $\neq$  mise en série)



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

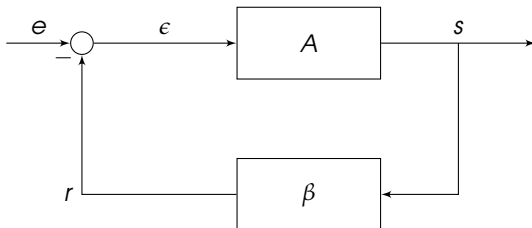
$$H' = H_1 \cdot H_2$$

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



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

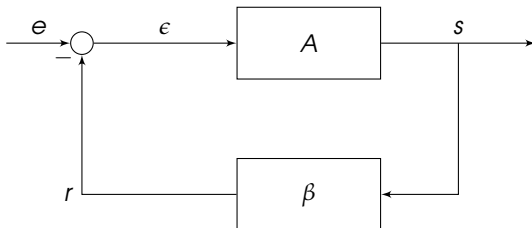
Contre-réaction (attention :  $\neq$  mise en parallèle)



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

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

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**

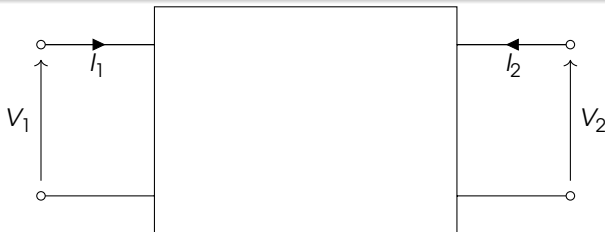
## Solution

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...)

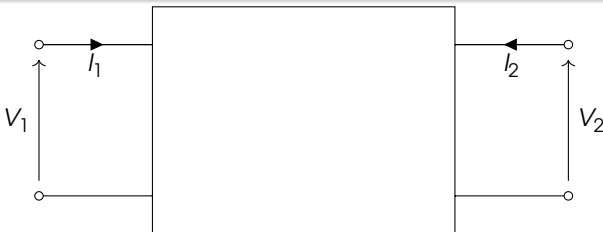
Représentation sous forme d'une boîte noire avec deux paires de fils :

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



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  $V_2, I_2$

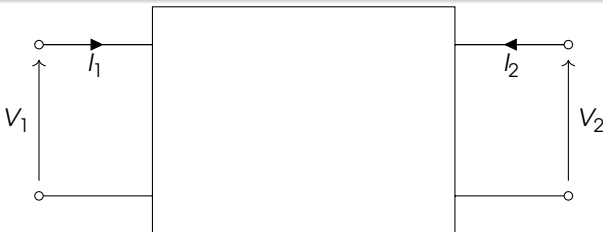


## Attention !

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

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  $V_2, I_2$

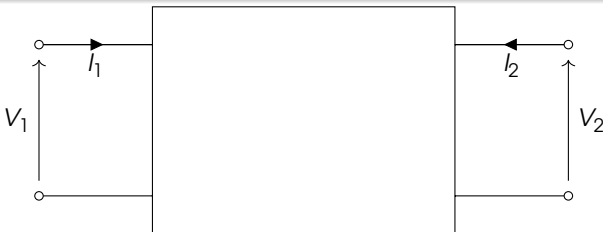


## Attention !

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

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

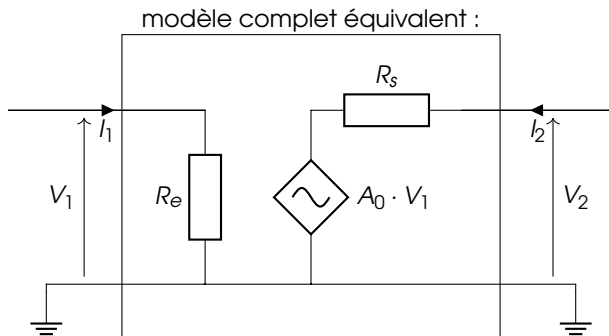


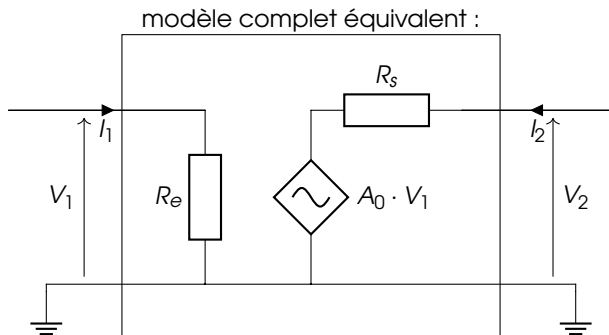
### Caractéristique de sortie :

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

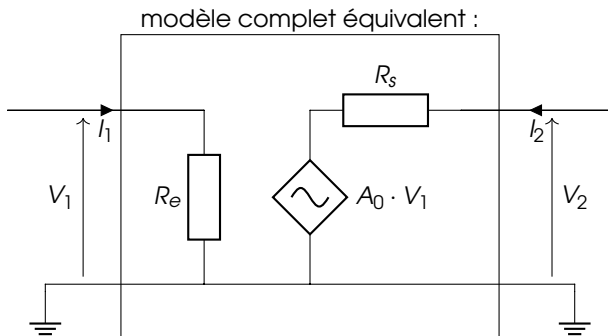
$$R_s = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

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





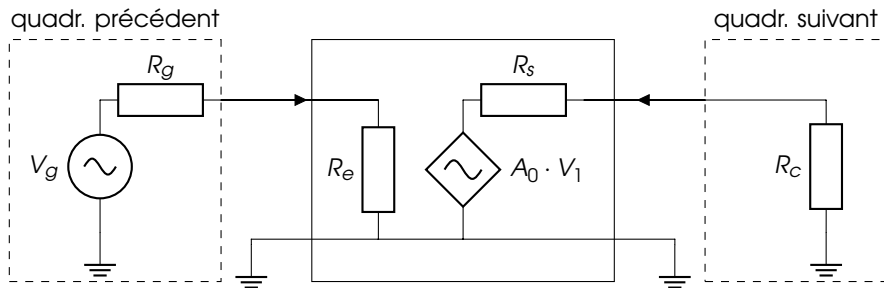
- **entrée** : simple résistance,
- **sortie** : générateur non idéal de tension (générateur de Thévenin).



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

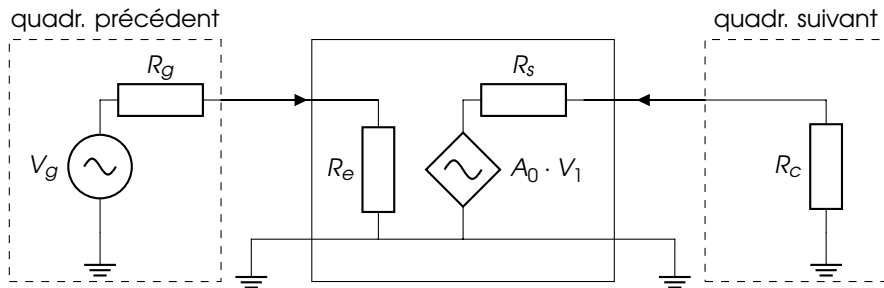
**Question** : que se passe-t-il si l'on met un générateur non idéal en entrée et une charge en sortie ?

# Quadripôle en tension avec charge 1/3



## Mise en cascade

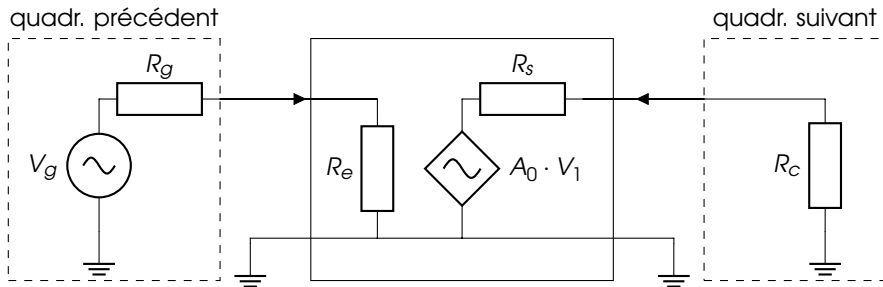
# Quadripôle en tension avec charge 1/3



## Mise en cascade

- en entrée et sortie : quadripôles de même type,

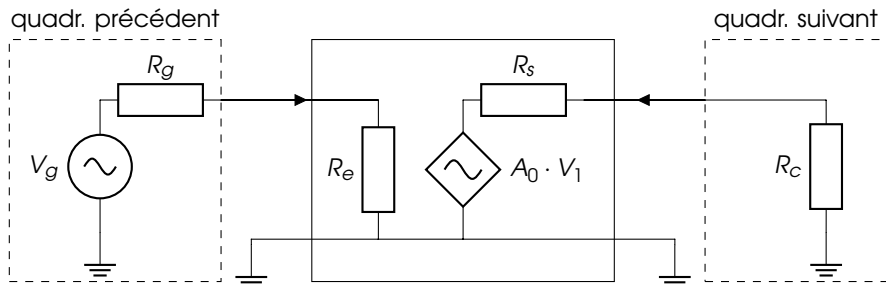
# Quadripôle en tension avec charge 1/3



## 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

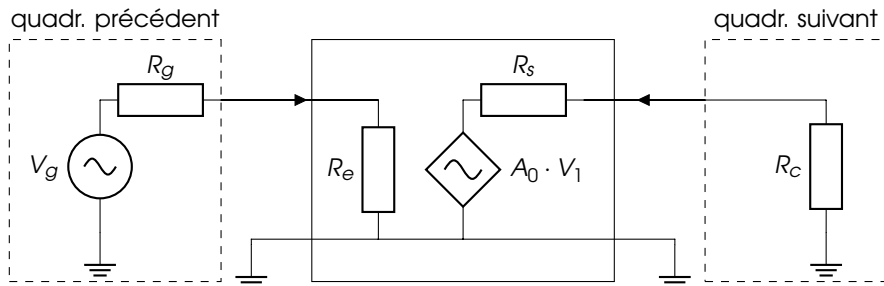


## Mise en cascade

- 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  $A_0$

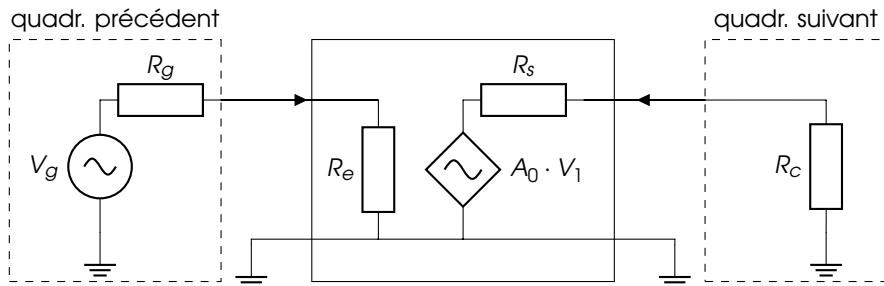
**ATTENTION : vrai sous certaines conditions uniquement !**

## Quadripôle en tension avec charge 2/3



### Condition en entrée

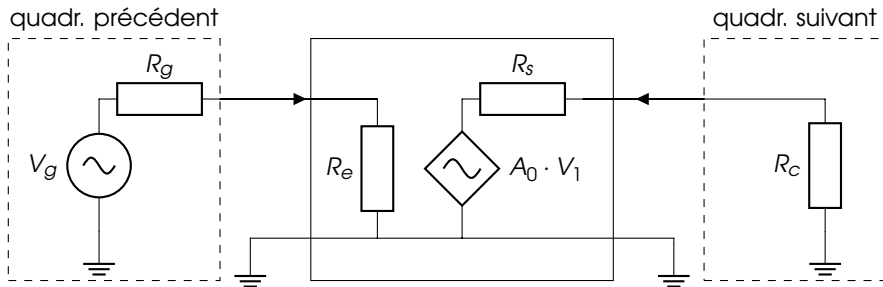
## Quadripôle en tension avec charge 2/3



### Condition en entrée

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

## Quadripôle en tension avec charge 2/3

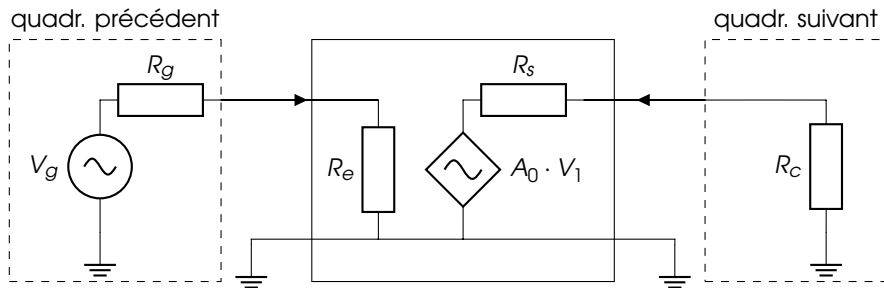


### Condition en entrée

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

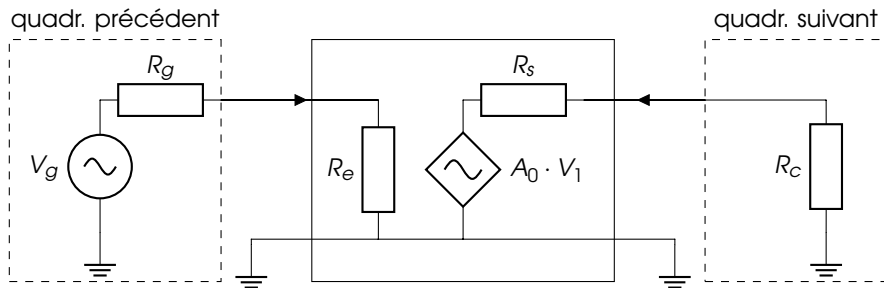
On a tout intérêt à avoir  $R_e \gg R_g$ , ou dans l'idéal  $R_e \rightarrow +\infty$  (ainsi  $V_1 = V_g$ )

## Quadripôle en tension avec charge 3/3



Condition en sortie

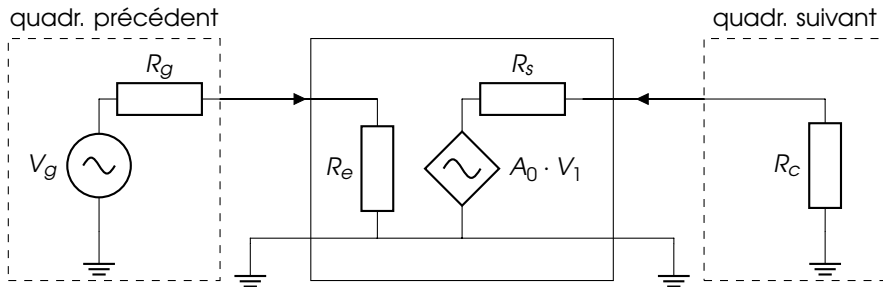
## Quadripôle en tension avec charge 3/3



### Condition en sortie

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

## Quadripôle en tension avec charge 3/3



### Condition en sortie

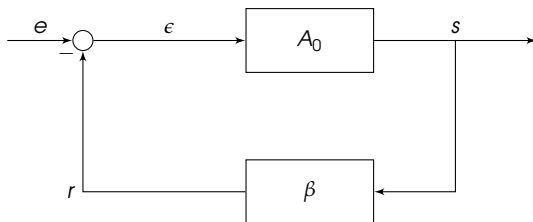
$$V_2 = \frac{R_C}{R_C + R_s} A_0 V_1$$

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** :

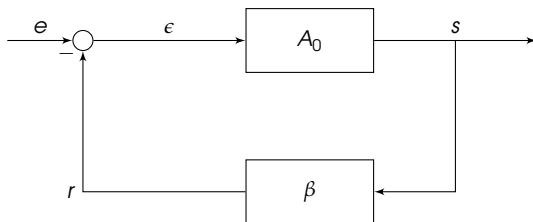


### Rappel

Dans ce cas, la fonction de transfert est :

## Rappel : contre-réaction

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



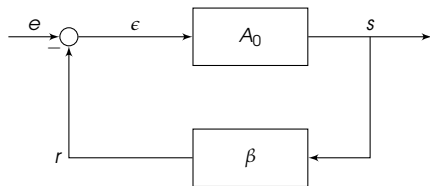
### Rappel

Dans ce cas, la fonction de transfert est :

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

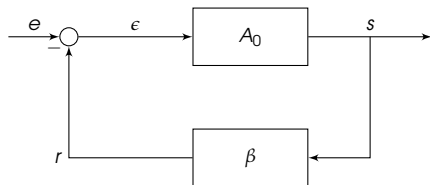
## Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



## Un cas un peu particulier...

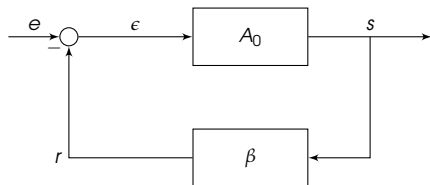
Que se passe-t'il maintenant si :



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

## Un cas un peu particulier...

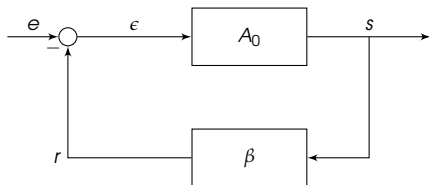
Que se passe-t'il maintenant si :



- $\beta$  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 :



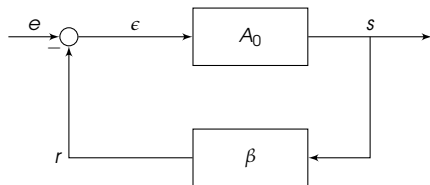
- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

### Solution

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

## Un cas un peu particulier...

Que se passe-t'il maintenant si :



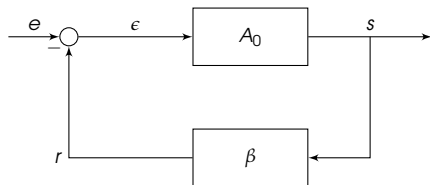
- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

### 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 :



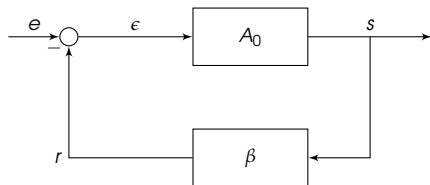
- $\beta$  est un diviseur de tension ( $\Rightarrow \beta < 1$ , facile à réaliser avec deux résistances)
- et  $A_0$  est un gain énorme (peu importe sa valeur exacte), pour les calculs  $A_0 \rightarrow +\infty$

### 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  $A_0 \rightarrow +\infty$

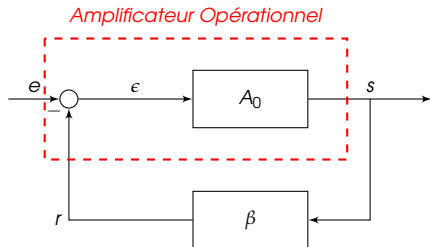
### Solution

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

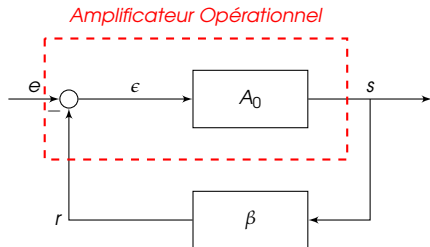
$$\text{et } \frac{1}{\beta} > 1$$

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

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

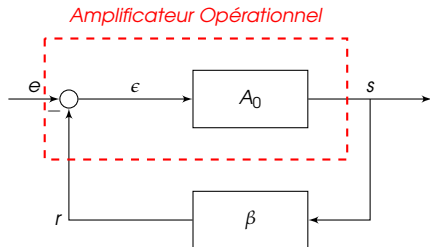


L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

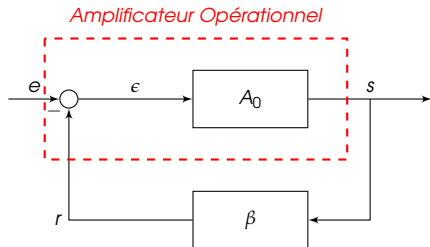
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

- un fil : une entrée inverseuse,

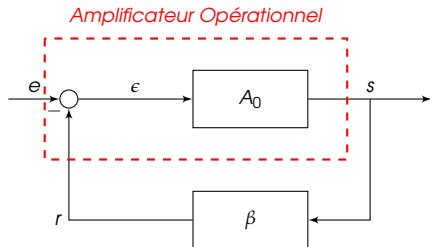
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



On peut définir un quadripôle en tension avec :

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

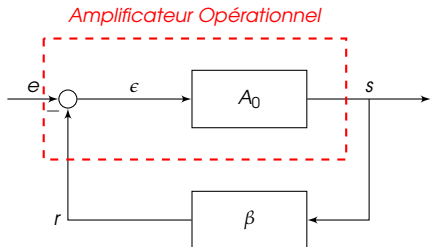
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



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)

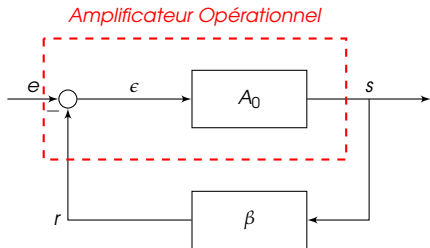
L'idée derrière l'Amplificateur opérationnel est exactement là :



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

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

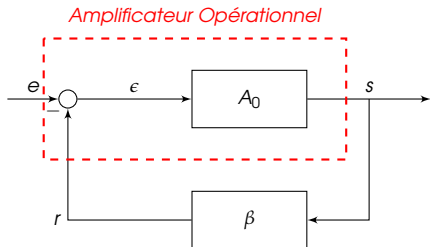


On peut définir un quadripôle en tension avec :

- 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

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



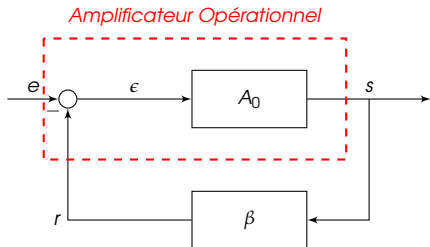
On peut définir un quadripôle en tension avec :

- 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,

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



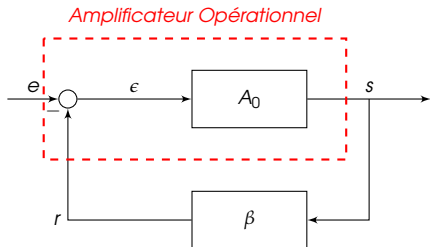
On peut définir un quadripôle en tension avec :

- 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.**

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

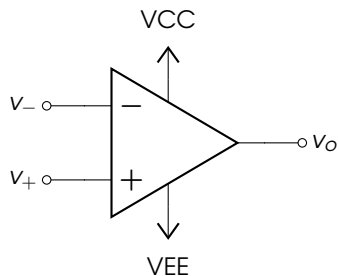


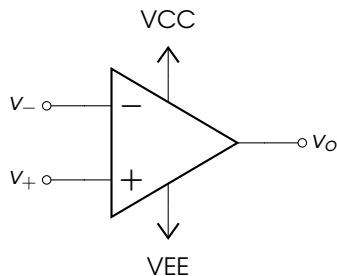
On peut définir un quadripôle en tension avec :

- 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

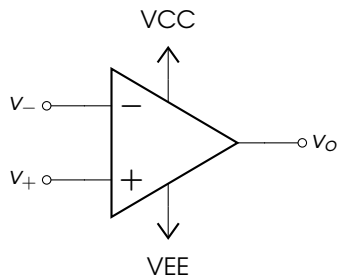
## Attention

- 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 QUE SI LE SCHÉMA INCLUT UNE CONTRE-RÉACTION !





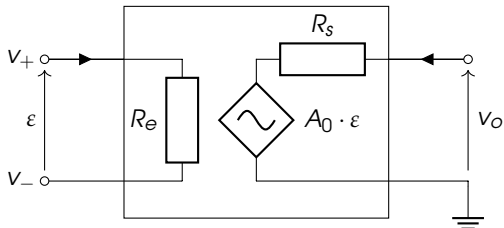
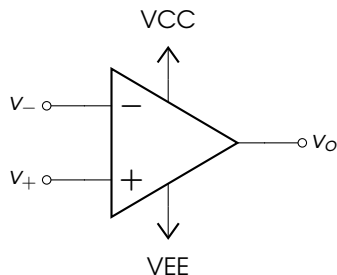
- $v_-$  entrée inverseuse,
- $v_+$  entrée non-inverseuse,
- $v_o$  sortie, référencée à la masse



- $v_-$  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
- $V_{CC}$  et  $V_{EE}$  les tensions d'alimentation (symétrique ou non)

leur représentation n'est pas obligatoire mais en pratique :

$$V_{CC} > v_o > V_{EE}$$

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
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	25			

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

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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	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
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	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  $\varepsilon = v_+ - v_- \approx 0 \text{ V}$

**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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200		V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	25			

**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	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1	5	mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			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	$T_A = 25^\circ\text{C}$			20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$			80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$				1.5	$\mu\text{A}$
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		0.3	2		M $\Omega$
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		50	200	V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		25		

## 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

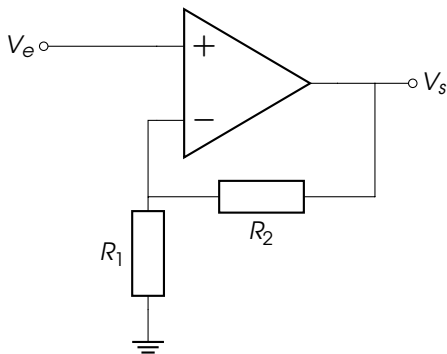
- dans un premier temps : on vérifie **TOUJOURS** que le circuit comporte une **contre-réaction** (lien électrique entre la sortie et l'entrée inverseuse)
- **si et uniquement si** c'est le cas, on peut poser l'équation  $v_+ = v_-$

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

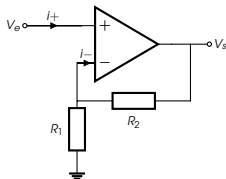
## Méthode

- 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...

Objectif : calculer le gain du montage suivant

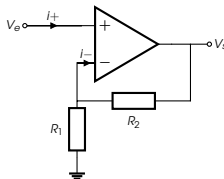


# Un premier exemple - pas à pas



- y a-t'il une contre-réaction ? :

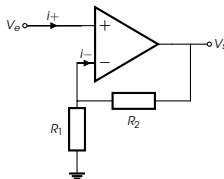
# Un premier exemple - pas à pas



- 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

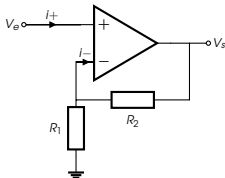


- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

$$V_+ = V_-$$

- $i_- = 0$ ,

## Un premier exemple - pas à pas



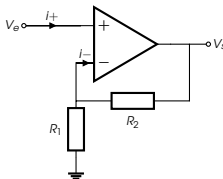
- y a-t'il une contre-réaction ? : oui ( $R_2$  et  $R_1$ ), donc l'AOP est en régime linéaire et :

$$V_+ = V_-$$

- $i_- = 0$ , 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 :

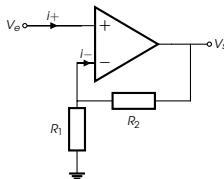
$$V_+ = V_-$$

- $i_- = 0$ , 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 :

$$V_+ = V_-$$

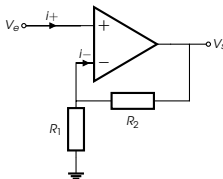
- $i_- = 0$ , on peut donc relier  $v_-$  à  $V_s$  en utilisant un diviseur de tension :

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

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

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