

**CHAPITRE I : LES QUADRIPOLES**

**CHAPITRE II : DIODE ET APPLICATIONS**

**CHAPITRE III : TRANSISTOR BIPOLAIRE**

**Polarisation – amplification**

**CHAPITRE IV : TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP**

**Polarisation – amplification**

**CHAPITRE V : LA CONTRE REACTION**

**CHAPITRE VI : AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL**

**CHAPITRE VII : AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL**

**CHAPITRE VIII : OSCILLATEURS SINUSOIDAUX**

**CHAPITRE IX : FILTRES ANALOGIQUES**

**CHAPITRE X : DIODE ET TRANSISTOR EN COMMUTATION**

# **CHAPITRE I :**

# **LES QUADRIPOLES**

# I/ Définition

Un quadripôle est un système à quatre bornes (deux à l'entrée et deux à la sortie) dans lequel des courants électriques peuvent circuler.

On s'intéresse exclusivement aux quadripôles linéaires, classe de multipôles la plus souvent rencontrée. Les valeurs des éléments qui le composent sont constantes (éléments passifs, sources autonomes, coefficients des sources commandées) c'est-à-dire indépendantes des tensions ou courants qui leur sont appliqués. (Pas de saturation)

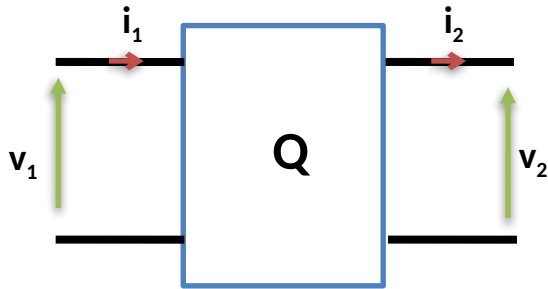
On distingue deux types de quadripôles :

- **Quadripôle passif** : Il ne comporte pas de source d'énergie, il ne contient que des composants passifs (Ex: R, L, C ...).
- **Quadripôle actif** : En plus des composants passifs il contient des éléments source d'énergie.

Une convention de signe est nécessaire pour normaliser les calculs indépendamment des sens des tensions et courants.

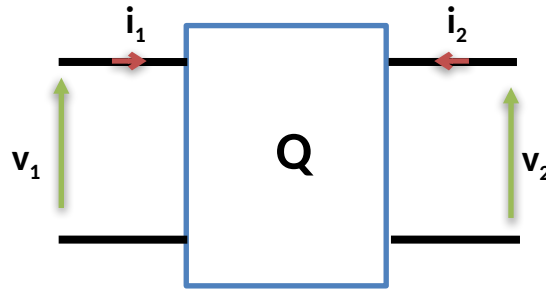
## Trois conventions de signe sont rencontrées :

### Convention Transmetteur



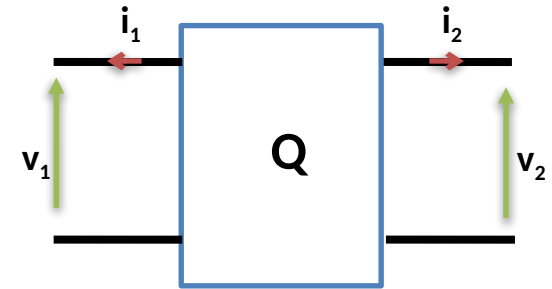
Le quadripôle  
transmet de  
l'énergie

### Convention Récepteur



L'énergie est  
rentrante

### Convention Générateur



L'énergie est  
sortante

On utilisera la convention (**récepteur**). C'est la convention la plus généralement rencontrée.

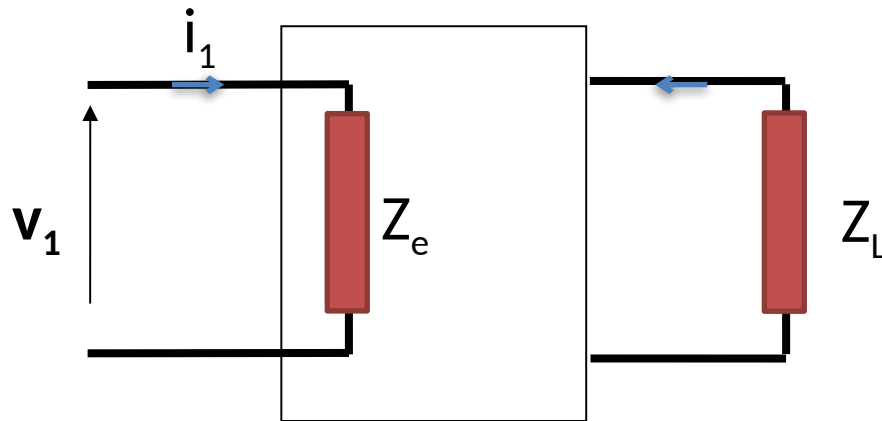
## II/ Grandeurs caractéristiques

### II-1/ Impédances d'entrée et de sortie

#### II-1-a/ Impédance d'entrée $Z_e$

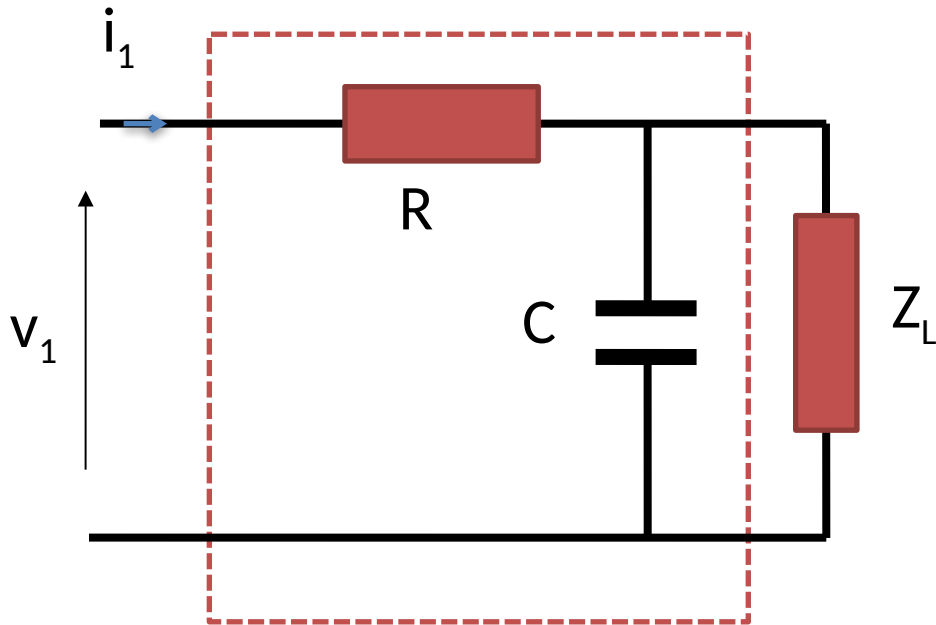
C'est l'impédance équivalente à l'entrée du quadripôle, lorsqu'il débite sur une charge  $Z_L$ .

$$Z_e = \frac{V_1}{i_1}$$



## Exemple: Circuit RC

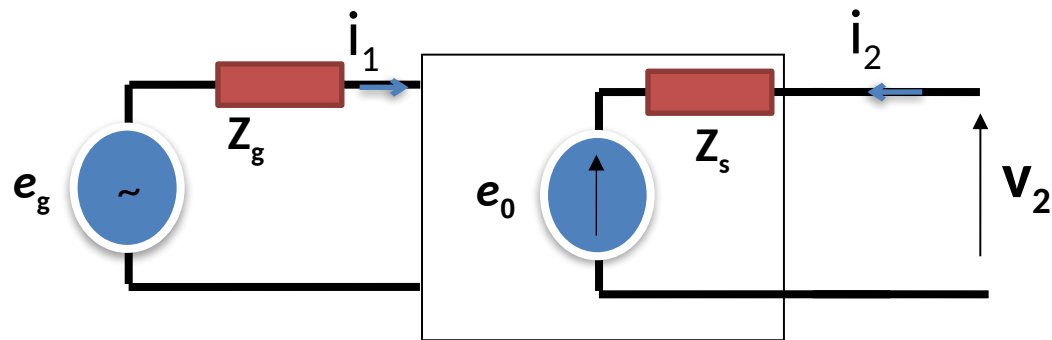
On suppose que  $V_1$  est un signal sinusoïdal



$$Z_e = \frac{V_1}{i_1} = R + \left[ \frac{1}{jC\omega} // Z_L \right]$$

## II-1-b/ Impédance de sortie $Z_s$

C'est l'impédance interne du générateur de Thévenin (ou Norton) équivalente à la sortie du quadripôle lorsqu'il est excité par un générateur  $e_g$  d'impédance interne  $Z_g$ .



$$Z_s = \left( \frac{v_2}{i_2} \right)_{e_g=0} \text{ (} e_g \text{ en court-circuit)}$$

**Exemple :** circuit RC

$$Z_s = (R + Z_g) // \frac{1}{jC\omega}$$

**Expérimentalement pour déterminer  $Z_s$ , on peut aussi exciter par la sortie avec un générateur externe  $e$  d'impédance interne  $Z_g$  ( $e_g = 0$  : entrée en court-circuit).**

**- Impédance d'entrée à sortie ouverte ( $Z_L$  infinie):**

$$Z_{e\infty} = \left( \frac{v_1}{i_1} \right)_{i_2=0}$$

**- Impédance d'entrée à sortie en court-circuit ( $Z_L = 0$ ):**

$$Z_{e\text{cc}} = \left( \frac{v_1}{i_1} \right)_{v_2=0}$$

**- Impédance de sortie à entrée ouverte (excitée par une source de courant (idéale):  $Z_g$  infinie):**

$$Z_{s\infty} = \left( \frac{v_2}{i_2} \right)_{e_g=0, Z_g=\infty} = \left( \frac{v_2}{i_2} \right)_{i_1=0}$$

**- Impédance de sortie à entrée en court-circuit (excitée par une source de tension (idéale):  $Z_g = 0$ ):**

$$Z_{s\text{cc}} = \left( \frac{v_2}{i_2} \right)_{e_g=0, Z_g=0}$$



## II-3/ Paramètres

La structure quadripôle peut être mise en équations reliant les courants et les tensions d'entrée ( $I_1, V_1$ ) et de sortie ( $I_2, V_2$ ) ou sous forme électrique c'est le schéma équivalent.

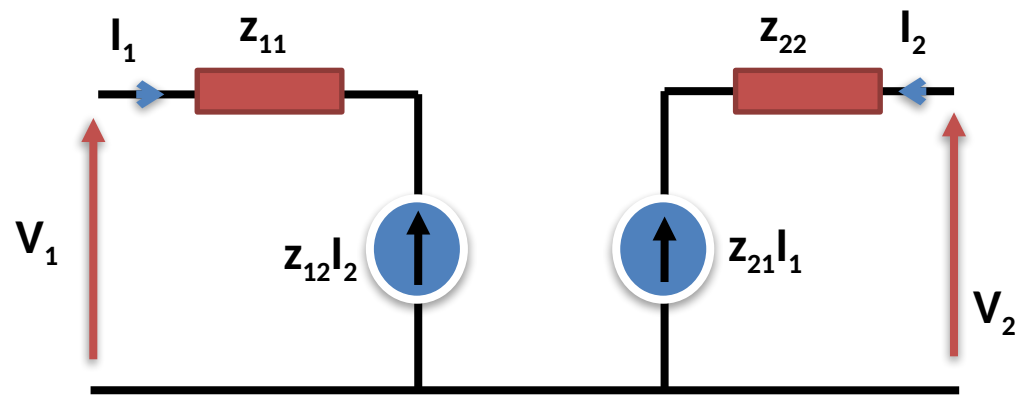
Exemple avec la matrice impédance  $[z]$ , on a:

$$\begin{cases} V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{cases}$$

La matrice impédance

$$[z] = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$

le schéma électrique (équivalent aux équations)



Le quadripôle est ainsi modélisé par deux dipôles couplés. Ce couplage se traduit par l'intermédiaire des générateurs: Les grandeurs  $V_1$ ,  $I_1$ ,  $V_2$  et  $I_2$  sont liées par des relations linéaires (Quadripôle linéaire).

Paramètres	Equations (notées aussi sous forme matricielle)	Calcul	Q passif	Q symétrique
Impédance	$\begin{cases} V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{cases}$ <p>En notation matricielle:</p> $\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = [z] \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$ <p>avec <math>[z]</math> : matrice impédance</p> $[z] = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$	$z_{11} = \left( \frac{V_1}{I_1} \right)_{I_2=0} \text{ (sortie ouverte)}$ $z_{22} = \left( \frac{V_2}{I_2} \right)_{I_1=0} \text{ (entrée ouverte)}$ <p>etc...</p>	$z_{12} = z_{21}$	$z_{11} = z_{22}$ et $z_{12} = z_{21}$

Paramètres	Equations (notées aussi sous forme matricielle)	Calcul	Q passif	Q symétrique
Admittance	$\begin{cases} I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2 \\ I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2 \end{cases}$	$y_{11} = \left( \frac{I_1}{V_1} \right)_{V_2=0}$ Etc...	$y_{12} = y_{21}$	$y_{11} = y_{22}$ et $y_{12} = y_{21}$
Hybride	$\begin{cases} V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \end{cases}$	$h_{11} = \left( \frac{V_1}{I_1} \right)_{V_2=0}$ Etc...	$h_{12} = -h_{21}$	$h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$ et $h_{12} = -h_{21}$
Hybride inverse	$\begin{cases} I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2 \\ V_2 = g_{21}V_1 + g_{22}I_2 \end{cases}$	$h'_{11} = \left( \frac{I_1}{V_1} \right)_{I_2=0}$ Etc...	$h'_{12} = -h'_{21}$	$h'_{11}h'_{22} - h'_{12}h'_{21}$ et $h'_{12} = -h'_{21}$

Paramètres		Calcul	Q passif	Q symétrique
Transmittance	$\begin{cases} V_1 = t_{11}V_2 + t_{12}I_2 \\ I_1 = t_{21}V_2 + t_{22}I_2 \end{cases}$	$t_{11} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)_{I_2=0} = \frac{1}{A_{v0}}$ <p><math>A_{v0}</math> Gain en tension à vide</p> $t_{22} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)_{V_2=0} = \frac{1}{A_i}$ <p><math>A_i</math> Gain en courant à sortie en court-circuit etc...</p>	$t_{11}t_{22} - t_{12}t_{21} = -1$	$t_{11} = -t_{22}$ et $t_{11}t_{22} - t_{12}t_{21} = -1$
Transmittance inverse	$\begin{cases} V_2 = t'_{11}V_1 + t'_{12}I_1 \\ I_2 = t'_{21}V_1 + t'_{22}I_1 \end{cases}$	$t'_{11} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)_{I_1=0}$ <p>Etc...</p>	$t'_{11}t'_{22} - t'_{12}t'_{21} = -1$	$t'_{11} = -t'_{22}$ et $t'_{11}t'_{22} - t'_{12}t'_{21} = -1$

### Remarque:

Le modèle paramétrique obtenu avec les impédances d'entrée et de sortie n'est pas à confondre avec celui fourni par la matrice impédance (on n'a pas  $Z_e \equiv z_{11}$ ):

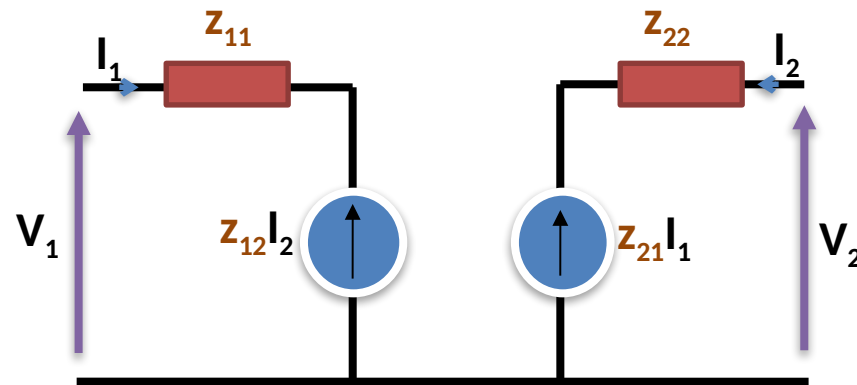
## II-4/ Modèles électriques correspondant aux matrices

### - Matrice impédance

$$z_{11} = \left( \frac{V_1}{I_1} \right)_{I_2=0} \text{ Impédance, } z_{12} = \left( \frac{V_1}{I_2} \right)_{I_1=0} \text{ Impédance, } z_{21} = \left( \frac{V_2}{I_1} \right)_{I_2=0} \text{ Impédance, } z_{22} = \left( \frac{V_2}{I_2} \right)_{I_1=0} \text{ Impédance}$$

$$\begin{cases} V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{cases}$$

Le schéma électrique (schéma équivalent)



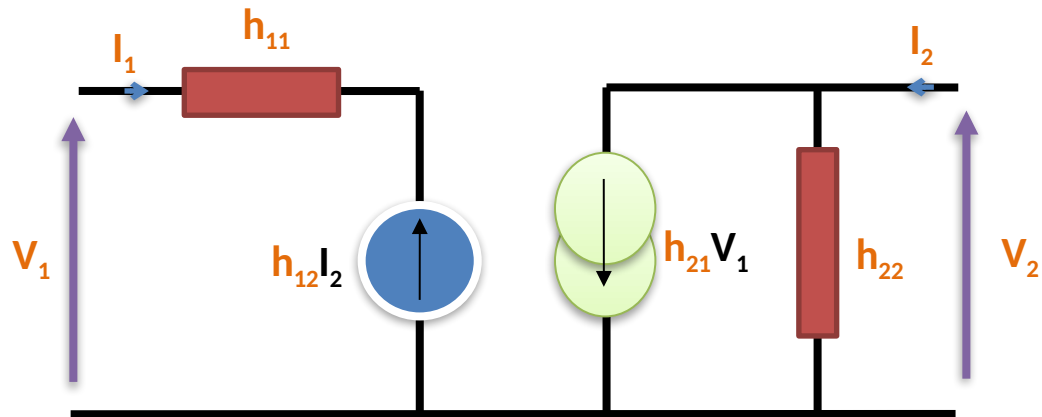
La matrice impédance

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

## - Matrice hybride

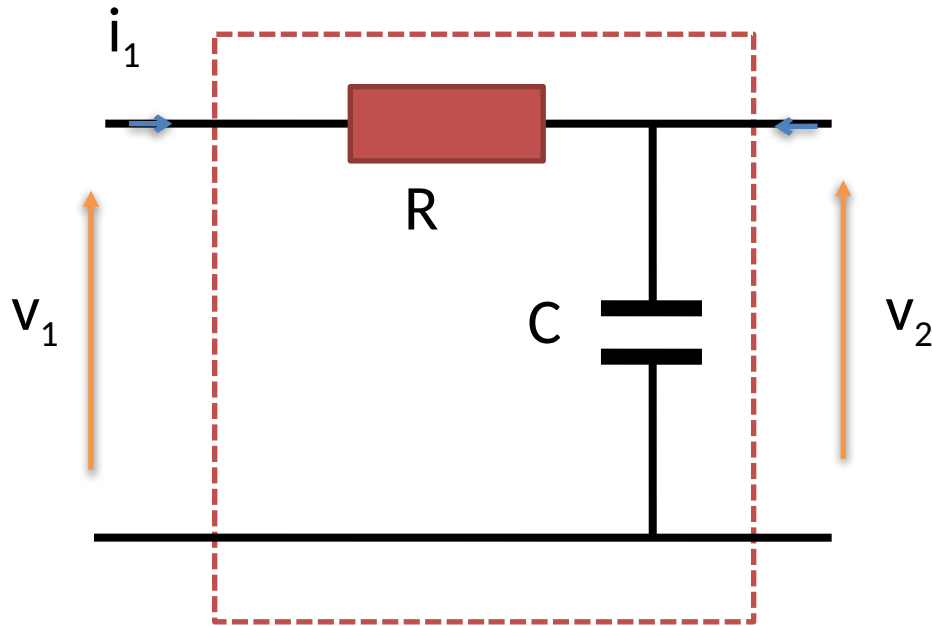
$$h_{11} = \left( \frac{V_1}{I_1} \right)_{V_2=0} \text{ impédance, } h_{12} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)_{I_1=0} \text{ (Gain en tension)}^{-1}, h_{21} = \left( \frac{I_2}{I_1} \right)_{V_2=0} \text{ Gain en courant, } h_{22} = \left( \frac{I_2}{V_2} \right)_{I_1=0} \text{ Admittance}$$

$$\begin{cases} V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \end{cases}$$



La matrice hybride : 
$$[h] = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

Exemple:    Circuit **RC**    (**Quadripôle passif**)



La sortie du quadripôle est ouverte ( $Z_L = +\infty$ )

## - Avec les paramètres Impédances

Impédance d'entrée à sortie ouverte du Quadripôle:

$$z_{11} = \left( \frac{V_1}{I_1} \right)_{I_2=0} = R + \frac{1}{jC\omega}$$

$V_1 = V_2$  du fait que  $I_1=0$  :

$$z_{12} = \left( \frac{V_1}{I_2} \right)_{I_1=0} = \frac{1}{jC\omega}$$

$z_{21} = z_{12}$  du fait que  $I_2=0$  :

$$z_{21} = \left( \frac{V_2}{I_1} \right)_{I_2=0} = \frac{1}{jC\omega}$$

Impédance de sortie à entrée ouverte du Quadripôle :

$$z_{22} = \left( \frac{V_2}{I_2} \right)_{I_1=0} = \frac{1}{jC\omega}$$



## - Avec les paramètres hybrides

Impédance d'entrée à sortie court-circuitée

$$h_{11} = \left( \frac{V_1}{I_1} \right)_{V_2=0} = R$$

(Gain en tension)<sup>-1</sup>  
car  $V_1 = V_2$  si  $I_1=0$

$$h_{12} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)_{I_1=0} = 1$$

Gain en courant ( $V_2 = 0$ )

$$h_{21} = \left( \frac{I_2}{I_1} \right)_{V_2=0} = -1$$

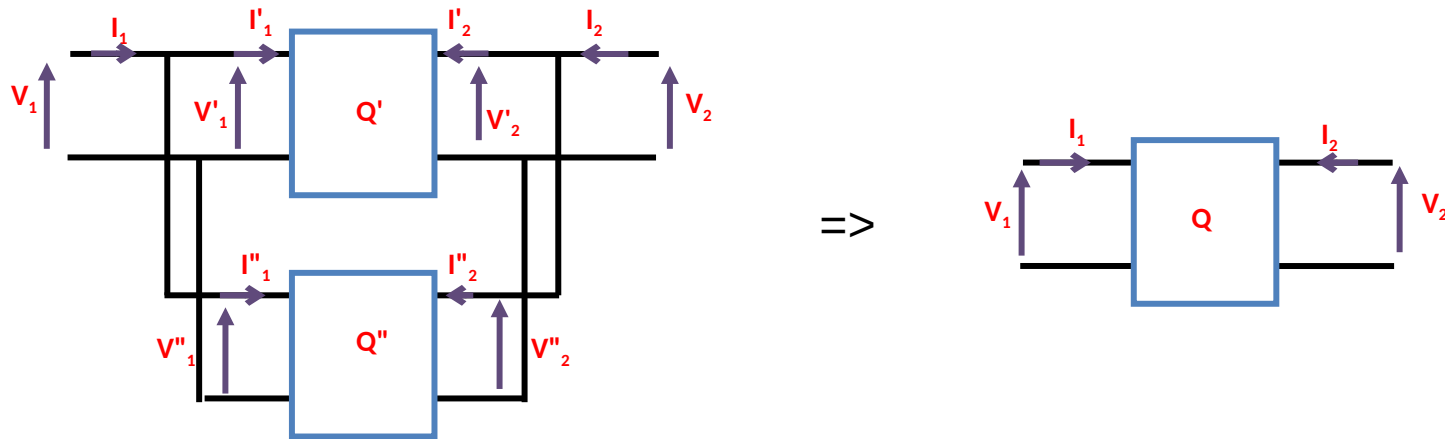
Admittance de sortie à entrée ouverte

$$h_{22} = \left( \frac{I_2}{V_2} \right)_{I_1=0} = jC\omega$$

### III/ Association de Quadripôles

#### III-1/ En parallèle:

$Q'$  et  $Q''$  sont soumis aux mêmes tensions d'entrée et de sortie  $\rightarrow$  utilisation de la matrice admittance  $[y]$ .



$$Q' \begin{cases} I_1' = y_{11}' V_1' + y_{12}' V_2' \\ I_2' = y_{21}' V_1' + y_{22}' V_2' \end{cases} \quad Q'' \begin{cases} I_1'' = y_{11}'' V_1'' + y_{12}'' V_2'' \\ I_2'' = y_{21}'' V_1'' + y_{22}'' V_2'' \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} V_1 = V_1' = V_1'' \\ V_2 = V_2' = V_2'' \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{l} I_1 = I_1' + I_1'' \\ I_2 = I_2' + I_2'' \end{array} \right.$$

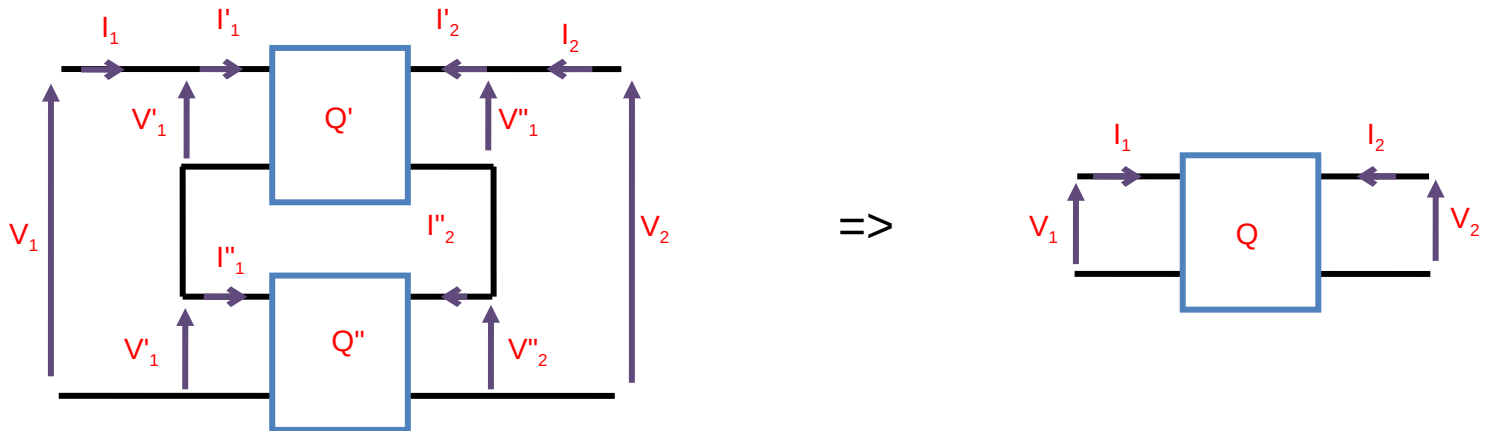
**d'où:**

$$\begin{cases} I_1 = (y_{11}' + y_{11}'') V_1 + (y_{12}' + y_{12}'') V_2 = y_{11} V_1 + y_{12} V_2 \\ I_2 = (y_{21}' + y_{21}'') V_1 + (y_{22}' + y_{22}'') V_2 = y_{21} V_1 + y_{22} V_2 \end{cases}$$

**Lorsque deux (n) quadripôles sont montés en parallèle, leurs matrices admittances s'ajoutent pour représenter la matrice admittance du quadripôle équivalent à la mise en parallèle des deux (n) quadripôles élémentaires.**

### III-2/ En série:

$Q'$  et  $Q''$  sont traversés par les mêmes courants d'entrée et de sortie → utilisation de la matrice impédance  $[z]$



$$Q' \begin{cases} V_1' = z_{11}' I_1' + z_{12}' I_2' \\ V_2' = z_{21}' I_1' + z_{22}' I_2' \end{cases} \quad Q'' \begin{cases} V_1'' = z_{11}'' I_1'' + z_{12}'' I_2'' \\ V_2'' = z_{21}'' I_1'' + z_{22}'' I_2'' \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} I_1 = I_1' = I_1'' \\ I_2 = I_2' = I_2'' \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{l} V_1 = V_1' + V_1'' \\ V_2 = V_2' + V_2'' \end{array} \right|$$

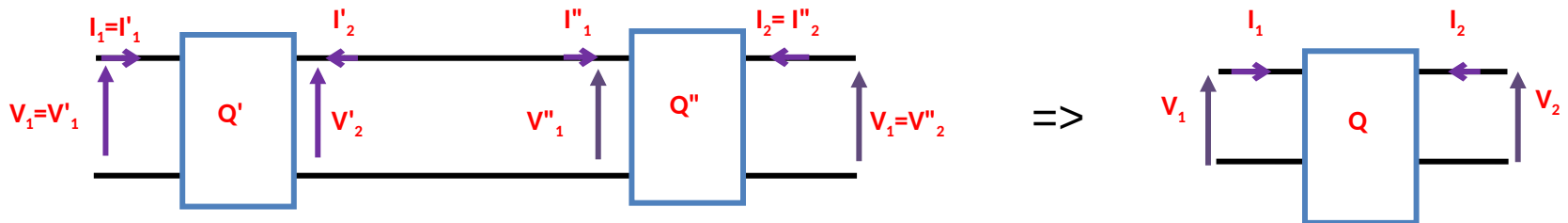
**d'où:**

$$\begin{cases} V_1 = (z_{11}' + z_{11}'') I_1 + (z_{12}' + z_{12}'') I_2 = z_{11} I_1 + z_{12} I_2 \\ V_2 = (z_{21}' + z_{21}'') I_1 + (z_{22}' + z_{22}'') I_2 = z_{21} I_1 + z_{22} I_2 \end{cases}$$

**Pour deux (n) quadripôles montés en série, les matrices impédances s'ajoutent pour représenter la matrice impédance du quadripôle équivalent à la mise en série des deux (n) quadripôles élémentaires**

### III-3/ En cascade:

Les grandeurs de sortie de Q' sont les grandeurs d'entrée de Q'' → utilisation de la matrice transmittance [t].



$$\begin{cases} I_1 = I'_1 \\ V_1 = V'_1 \end{cases} \quad \begin{cases} I'_2 = -I''_1 \\ V'_2 = V''_1 \end{cases} \quad \begin{cases} I''_2 = I_2 \\ V''_2 = V_2 \end{cases}$$

$$Q': \begin{bmatrix} V_1' \\ I_1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & t_{12}' \\ t_{12}' & t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2' \\ I_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & -t_{12}' \\ t_{12}' & -t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2' \\ -I_2' \end{bmatrix}$$

$$Q'': \begin{bmatrix} V_1'' \\ I_1'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}'' & t_{12}'' \\ t_{12}'' & t_{22}'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2'' \\ I_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}'' & -t_{12}'' \\ t_{12}'' & -t_{22}'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2'' \\ -I_2'' \end{bmatrix}$$

$$Q: \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & -t_{12} \\ t_{21} & -t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1' \\ I_1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & t_{12}' \\ t_{12}' & t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2' \\ I_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & -t_{12}' \\ t_{12}' & -t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1'' \\ I_1'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & -t_{12}' \\ t_{12}' & -t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11}'' & -t_{12}'' \\ t_{12}'' & -t_{22}'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2'' \\ -I_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & -t_{12}' \\ t_{12}' & -t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11}'' & -t_{12}'' \\ t_{12}'' & -t_{22}'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

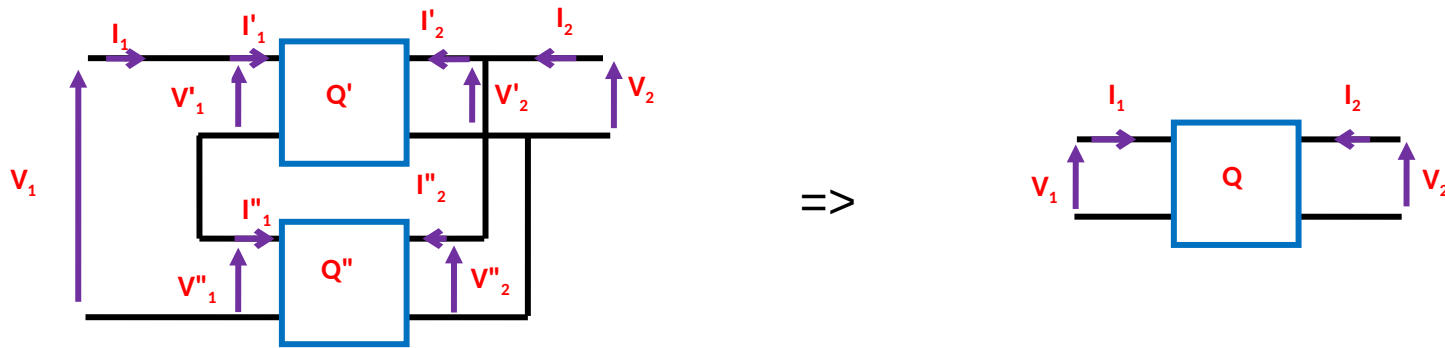
D'où

$$\begin{bmatrix} t_{11} & -t_{12} \\ t_{21} & -t_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11}' & -t_{12}' \\ t_{12}' & -t_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11}'' & -t_{12}'' \\ t_{12}'' & -t_{22}'' \end{bmatrix}$$

**Pour deux (n) quadripôles montés en cascade, les matrices transmittances se multiplient pour représenter la matrice transmittance du quadripôle équivalent à la mise en cascade des deux (n) quadripôles élémentaires.**

### III-4/ En série-parallèle :

$Q'$  et  $Q''$  sont traversés par le même courant d'entrée (entrée: série) et sont soumis à la même tension de sortie (sortie: parallèle) → utilisation de la matrice hybride  $[h]$ .



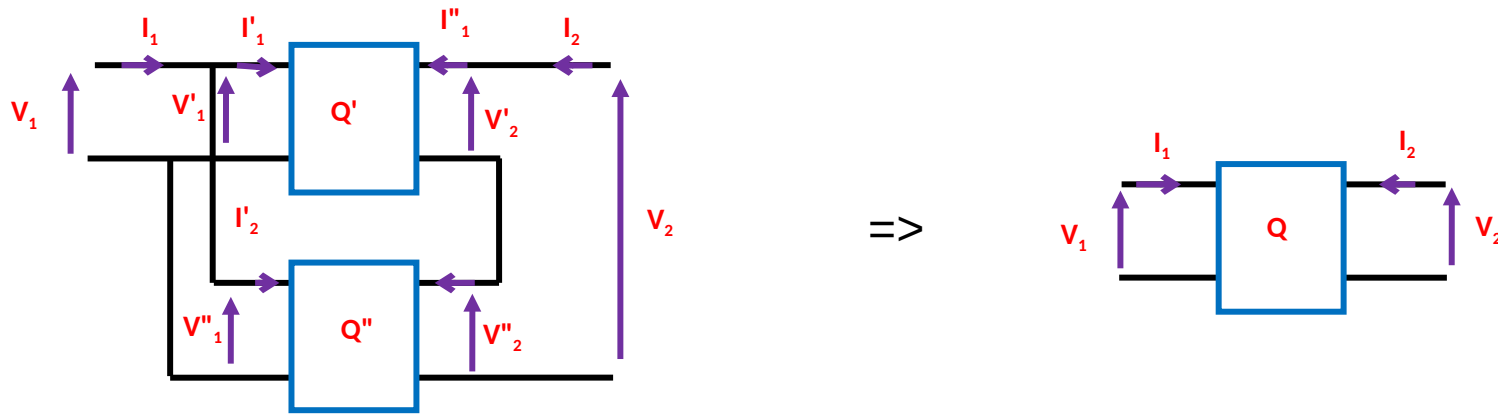
$$\rightarrow [h] = [h'] + [h'']$$

Pour deux quadripôles montés en série-parallèle, les matrices hybrides s'ajoutent pour représenter la matrice hybride du quadripôle équivalent à la mise en série-parallèle des deux quadripôles élémentaires.



### III-5/ En parallèle-série :

$Q'$  et  $Q''$  sont soumis à la même tension d'entrée (entrée: parallèle) et sont traversés par le même courant de sortie (sortie: série) → utilisation de la matrice hybride inverse  $[h']$ .



$$\rightarrow [g] = [g'] + [g'']$$

Pour deux quadripôles montés en parallèle-série, les matrices hybrides inverses s'ajoutent pour représenter la matrice hybride inverse du quadripôle équivalent à la mise en parallèle-série des deux quadripôles élémentaires.

## IV/ Représentation des fonctions de transfert – Diagramme de Bode

### IV-1/ Introduction

La fonction de transfert  $H(j\omega)$  d'un système quelconque est un nombre complexe. Trois solutions sont utilisées en pratique pour représenter ce nombre complexe graphiquement.

- Partie imaginaire en fonction de la partie réelle avec paramétrage en fréquence : **plan de Nyquist**.
- Module en fonction de la phase avec paramétrage en fréquence : **plan de Black**.
- Module en décibels en fonction de la fréquence et phase en fonction de la fréquence sur une échelle de fréquence logarithmique : **diagrammes de Bode**.

Dans cette partie, nous décrivons la représentation par les diagrammes de Bode. Pour la suite, on notera  $H$ ,  $H_{dB}$  et  $\varphi$  respectivement le module linéaire, le module en décibels et la phase de la fonction de transfert.

## IV-2/ Diagrammes de Bode - Intérêt de l'échelle logarithmique

### IV-2-1/ Le décibel

Le décibel (dB) est une échelle logarithmique définie à partir des puissances de la façon suivante :

$$P_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(P)$$

où : P est une puissance exprimée en Watts sur une échelle linéaire.

Pour les tensions, le facteur devant le *log* est 20 du fait que la puissance est proportionnelle au carré de la tension.

Le module de la fonction de transfert s'exprime comme le rapport du module de la tension de sortie sur le module de la tension d'entrée du système considéré. En dB, on aura donc :

$$H_{\text{dB}} = 20 \log_{10}(H) = 20 \log_{10} \left( \left| \frac{V_s}{V_e} \right| \right)$$

Pour la suite, on utilisera "log" pour signifier le logarithme en base 10.

## IV-2-2/ Représentation en échelle linéaire

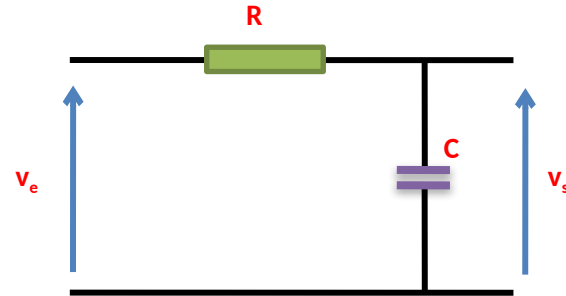
Prenons l'exemple du circuit RC

$$H = \frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 + j\omega\tau} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$$

où  $\tau = RC$  et  $\omega_0 = 1/RC$

le module de H:  $|H| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$

En posant:  $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ , on obtient :  $|H| = \frac{1}{\sqrt{1 + x^2}}$



Si l'on représente  $|H|$  sur une échelle linéaire, on obtient une courbe ne représentant pas d'asymptote lorsque  $x \ll 1$  ou  $x \gg 1$ . Le tracé de H nécessite donc le calcul d'un grand nombre de points.

Le tracé en échelle linéaire est long et fastidieux. Il ne permet pas de dégager des informations de façon rapide sur le système (Fréquence de coupure, Bande passante, ...)

## IV-2-3/ Représentation en échelles logarithmiques

### IV-2-3-a/ Echelle logarithmique

L'échelle des fréquences est logarithmique. On fait correspondre  $x$  à  $\log(x)$ . On peut indifféremment utiliser le log népérien ou en base 10.

Trois points importants sont à retenir lorsque l'on utilise une échelle logarithmique:

- Une multiplication de la fréquence par un facteur constant se traduit par un décalage géométrique constant sur l'axe des fréquences.
- L'échelle ne peut pas démarrer du point 0 (fréquence nulle) du fait que  $\log(0) = -\infty$ .
- Une octave et une décade correspondent respectivement à une multiplication par un facteur 2 et 10 de la fréquence.

## IV-2-3-b/ Représentation du module

Le module est représenté en dB sur une échelle logarithmique. On peut tracer en premier temps les droites asymptotiques limitant le diagramme de Bode.

En reprenant l'exemple du circuit RC, on a:

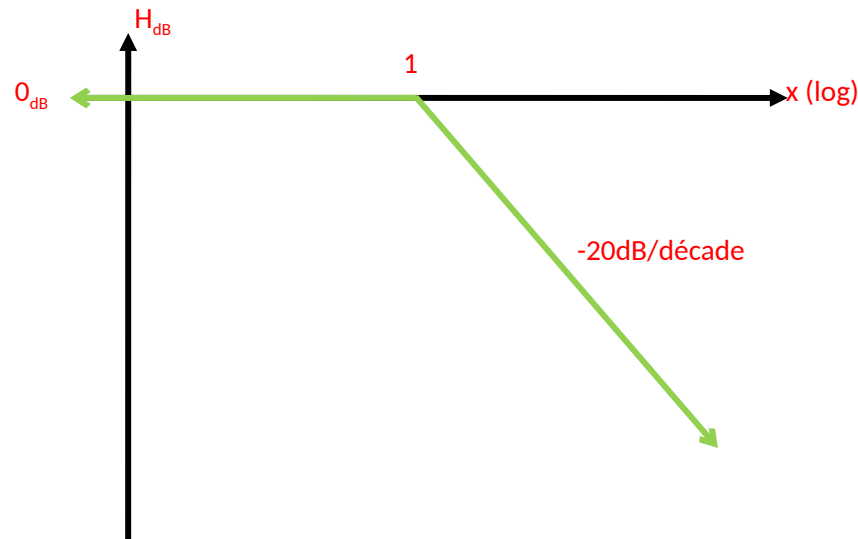
$$H_{dB} = 20\log(|H|) = 20\log\left(\frac{1}{\sqrt{1+x^2}}\right) = -20\log\left(\sqrt{1+x^2}\right)$$

- Lorsque  $x \gg 1$ , on a:  $\lim_{x \gg 1} H_{dB} = -20\log\left(\sqrt{x^2}\right) = -20\log(x)$

Elle représente une droite de pente -20dB/décade (ou -6dB/octave)

- Lorsque  $x \ll 1$ , on a:  $\lim_{x \ll 1} H_{dB} = 0$  qui représente une droite de pente nulle.

## Représentation des droites asymptotiques



En échelle logarithmique, le module en dB présente donc deux asymptotes, pour  $x \gg 1$  et  $x \ll 1$ , soit pour les hautes fréquences et les basses fréquences. Quelques points suffisent pour représenter le module de la fonction de transfert à partir du tracé asymptotique.

## IV-2-3-c/ Bande passante – Fréquence de coupure

En observant le tracé asymptotique, on remarque que le circuit RC laisse passer, sans trop les atténuer, les signaux de basse fréquence et atténue fortement les signaux haute fréquence. De façon arbitraire on définit une limite entre les basses et les hautes fréquences. Cette limite aboutit aux notions de fréquence de coupure et de Bande Passante.

Les fréquences de coupure du système sont les fréquences pour lesquelles on a:

$$H = \frac{H_{\max}}{\sqrt{2}}$$

En dB, cela devient:  $H_{\text{dB}} = 20\log(H) = 20\log\left(\frac{H_{\max}}{\sqrt{2}}\right) = H_{\text{dB}_{\max}} - 3\text{dB}$

On parlera dans ce cas de fréquences de coupure à -3 dB.

La bande passante est l'intervalle de fréquence  $\Delta f$  pour lequel :  $\frac{H_{\max}}{\sqrt{2}} \leq H \leq H_{\max}$



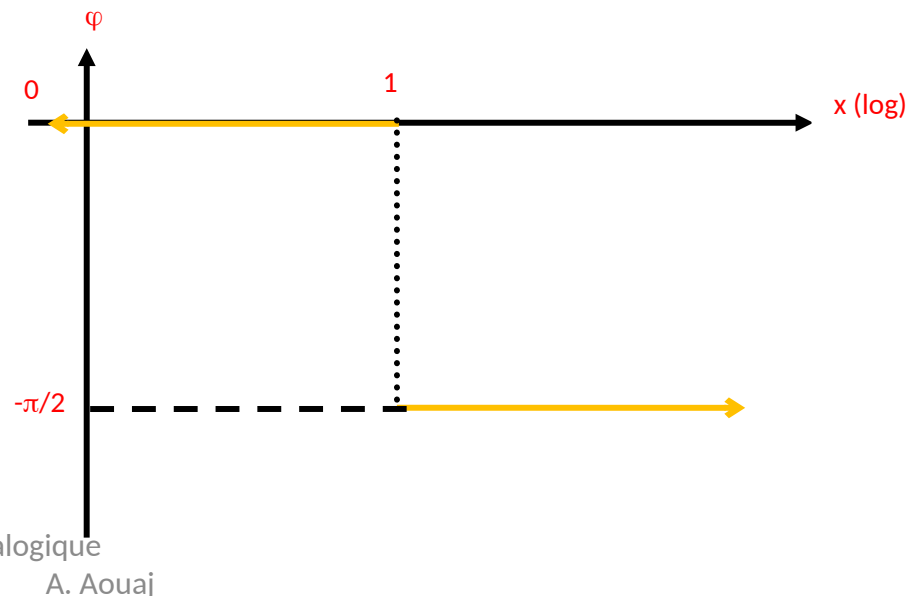
## IV-2-3-d/ Représentation de la phase

La phase est représentée en degrés ou en radians sur l'échelle logarithmique.  
En reprenant l'exemple du circuit RC, on a:

$$\varphi = -\text{ArcTan}(x)$$

- Lorsque  $x \gg 1$ , on a:  $\lim_{x \gg 1} \varphi = -\frac{\pi}{2}$  qui représente une droite de pente nulle.
- Lorsque  $x \ll 1$ , on a:  $\lim_{x \ll 1} \varphi = 0$  qui représente une droite de pente nulle

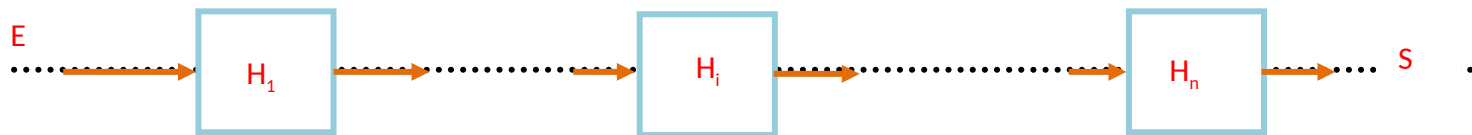
En échelle logarithmique, la phase présente donc deux asymptotes, pour  $x \gg 1$  et  $x \ll 1$ , soit pour les "hautes" fréquences et les "basses" fréquences. C'est évidemment le cas pour toutes les fonctions de transfert se présentant sous forme polynomiale. Quelques points suffisent à représenter la phase de la fonction de transfert à partir du tracé asymptotique.



## IV-3/ Intérêt des diagrammes de Bode pour les systèmes en cascade

On considère  $n$  systèmes de fonctions de transfert  $H_1, H_2, \dots, H_n$  montés en cascade. La fonction de transfert globale  $H$  s'écrit:

$$H = \prod_{i=1}^n H_i$$



Le module et la phase de  $H$  s'écrivent alors:  $|H| = \prod_{i=1}^n |H_i|$  **et**  $\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$

Le module en dB s'écrit:  $H_{dB} = 20 \log \left( \prod_{i=1}^n H_i \right) = \sum_{i=1}^n H_{dB_i}$

Le module en dB et la phase de la fonction de transfert globale  $H$  s'obtiennent en additionnant les modules en dB et les phases des  $H_i$ . Il est alors aisé de tracer les diagrammes asymptotiques de  $H$  à partir des diagrammes asymptotiques des  $H_i$  en additionnant simplement les asymptotes.

### Exemple:

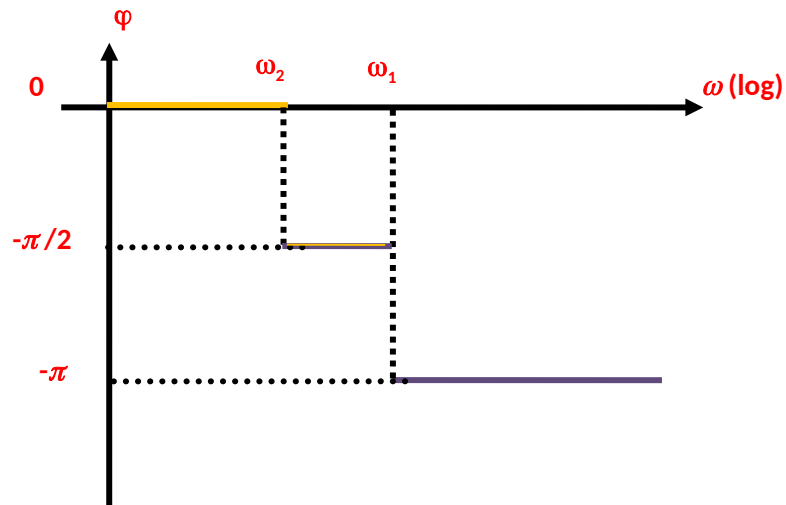
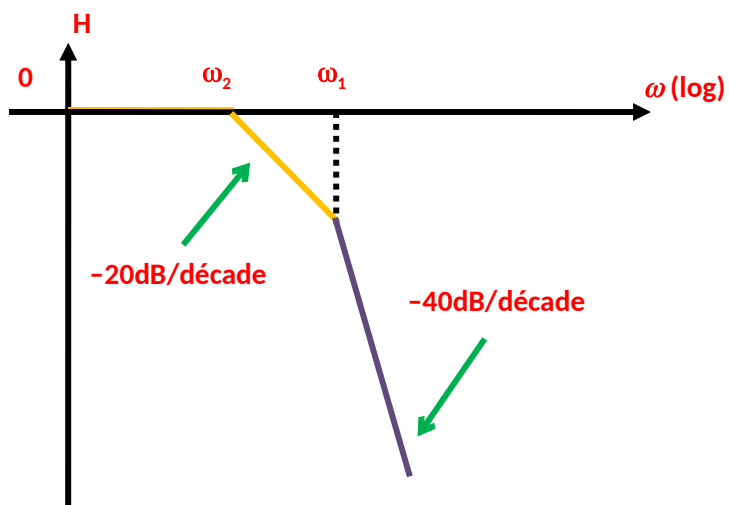
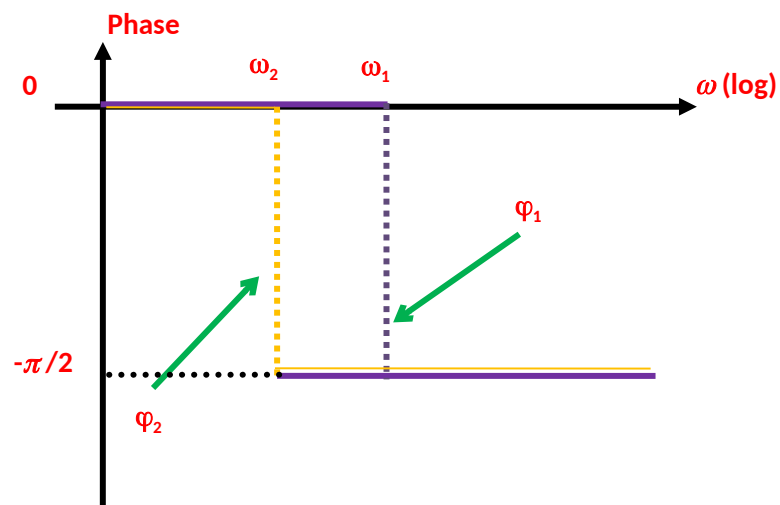
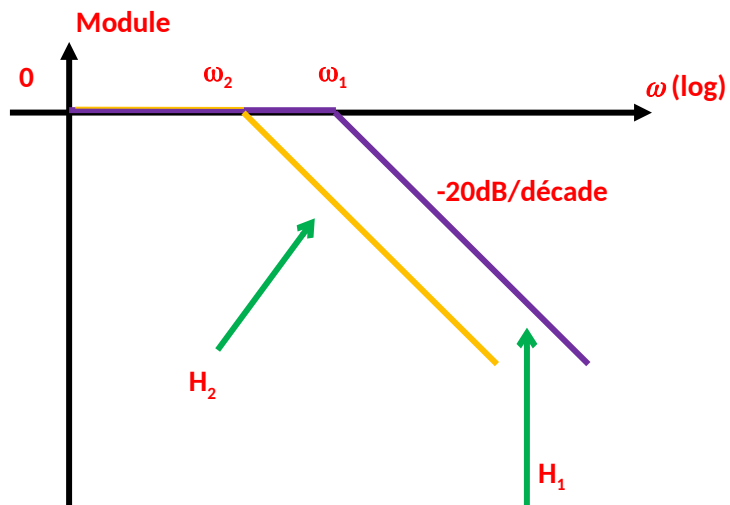
#### Cascade de deux systèmes du premier ordre

On considère deux systèmes du premier ordre définis par leurs fonctions de transfert respectives  $H_1$  et  $H_2$ :

$$H_1 = \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_1}} \quad \text{et} \quad H_2 = \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_2}}$$

On représente les diagrammes de Bode de  $H_1$  et  $H_2$  (en considérant  $\omega_1 > \omega_2$ ), puis ceux de  $H = H_1 H_2$ .

Pour le module de  $H$ , on a une asymptote  $H_{dB} = 0$  pour  $\omega \ll \omega_2$ , un "palier" de pente -20dB/décade entre  $\omega_2$  et  $\omega_1$  et une asymptote de pente -40 dB/décade pour  $\omega \gg \omega_1$ . Pour la phase de  $H$ , on a une asymptote  $\varphi = 0$  pour  $\omega \ll \omega_2$ , un palier  $\varphi = -\pi/2$  entre  $\omega_2$  et  $\omega_1$  et une asymptote  $\varphi = -\pi$  pour  $\omega \gg \omega_1$ . L'allure des courbes réelles se déduit ensuite très simplement à partir des tracés asymptotiques



## **VI Adaptations d'impédance en tension, en courant et en puissance**

Faire de l'électronique, c'est interconnecter des composants et des montages. On ne peut pas les interconnecter sans effectuer certaines vérifications:

On considère en premier lieu une source de tension ou de courant (en amont) et une charge (en aval).

- il faut vérifier que les niveaux de tension, de courant et de puissance des deux parties du montage sont compatibles (sans quoi on risque d'endommager un des deux parties).
- il faut vérifier si les impédances sont compatibles...

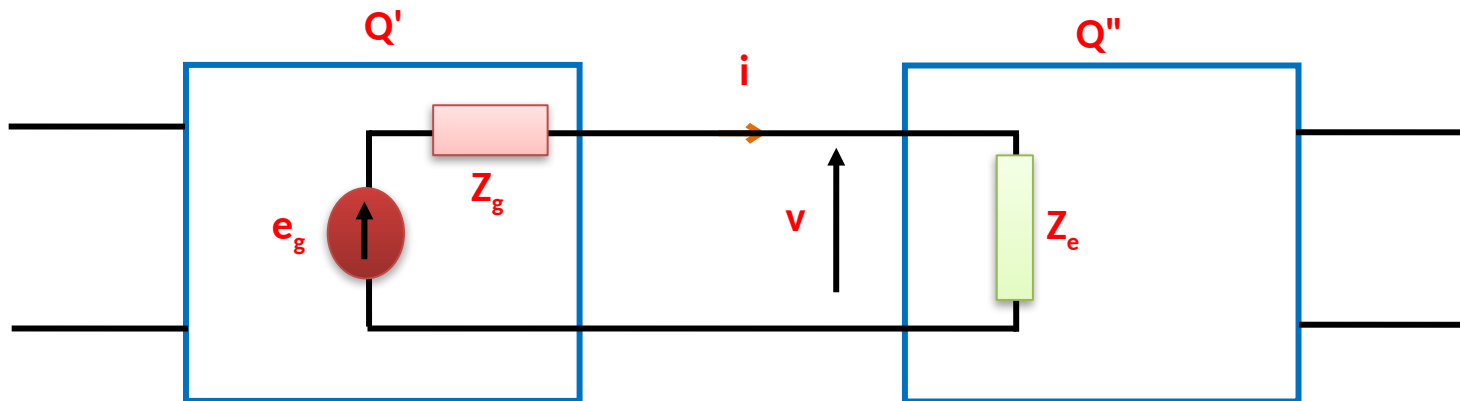
→ C'est la problématique d'adaptation d'impédance.

## V-1/ Adaptation d'impédance en tension

Considérons un quadripôle amont  $Q'$  délivrant un signal de tension à un quadripôle aval  $Q''$ . Chaque quadripôle peut être représenté par son schéma équivalent (de Thévenin).

La sortie du quadripôle  $Q'$  est représentée par une f.e.m.  $e_g$  et une résistance interne  $Z_g$ .

L'entrée du quadripôle  $Q''$  est représentée par une impédance d'entrée  $Z_e$ .

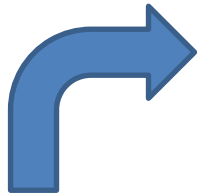


En connectant les deux quadripôles, la tension appliquée à Q" est

$$v = \frac{Z_e}{Z_e + Z_g} e_g$$

Cette tension n'est pas égale à la f.e.m  $e_g$  mais elle est atténuée d'un facteur  $\frac{Z_e}{Z_e + Z_g}$

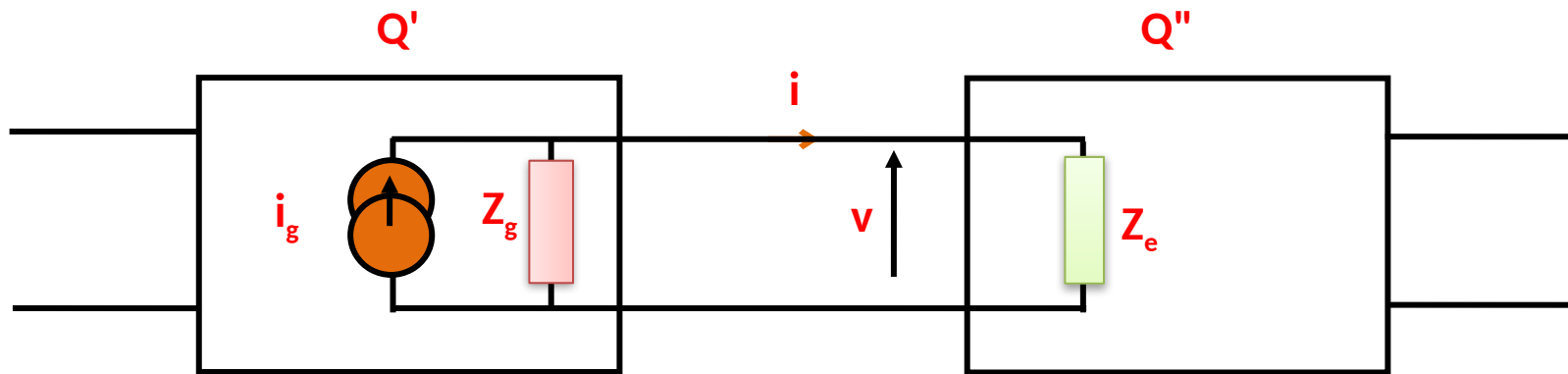
**Cette atténuation constitue une dégradation du signal.**



Lorsqu'on transmet un signal de tension entre deux quadripôles, il faut une impédance d'entrée élevée et une impédance de sortie faible.

## V-2/ Adaptation d'impédance en courant

Supposons que le quadripôle  $Q'$  se comporte davantage comme une source de courant. Sa sortie peut être représentée par le schéma équivalent (de Norton).

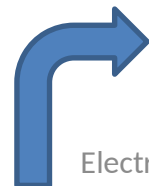


La sortie du quadripôle  $Q'$  est représentée par une source de courant  $i_g$  et une résistance interne  $Z_g$ .

En connectant les deux quadripôles, le courant  $i$  appliqué à  $Q''$  est également atténué et donc dégradé.

$$i = \frac{Z_g}{Z_g + Z_e} i_g$$

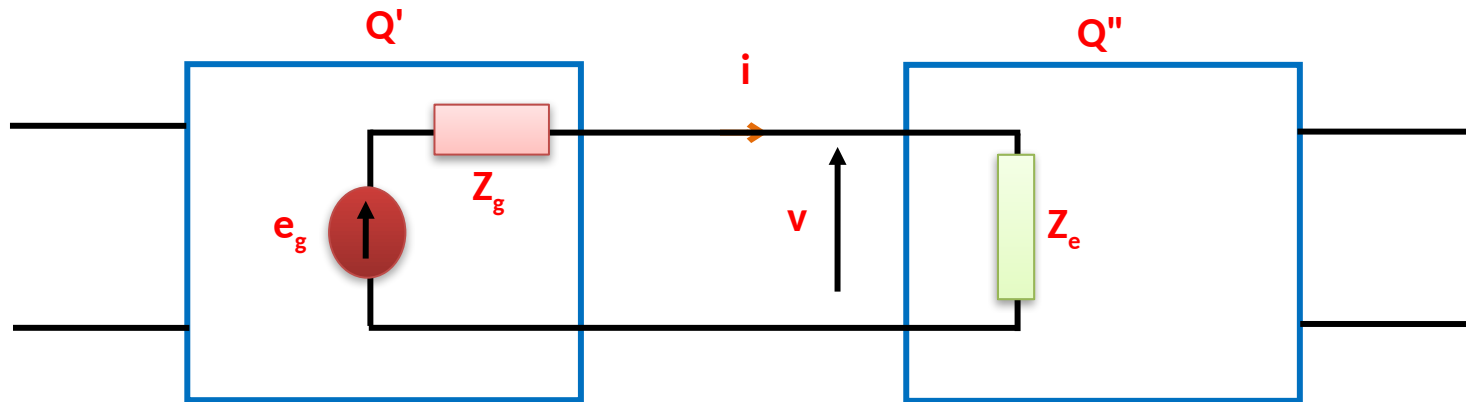
**Pour éviter une atténuation du courant transmis entre  $Q'$  et  $Q''$ , il faut une impédance de sortie élevée (de  $Q'$ ) et une impédance d'entrée faible (de  $Q''$ ).**





### V-3/ Adaptation d'impédance en puissance

Supposons qu'on veut transmettre un signal de puissance élevée entre  $Q'$  et  $Q''$ .



La puissance reçue par la charge est 
$$P = Z_e i^2 = \frac{Z_e}{(Z_e + Z_g)^2} e_g^2$$

Cette puissance est maximale pour  $Z_e = Z_g$ .



On obtient un maximum de puissance transmise entre deux quadripôles lorsque l'impédance d'entrée de  $Q''$  et l'impédance de sortie de  $Q'$  sont égales.