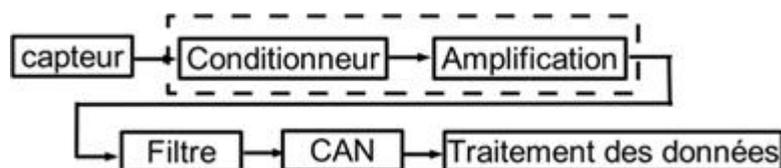


## Chapitre 8. Conditionnement du signal

### 8-1 Introduction

Exemple de schéma fonctionnel général d'une chaîne de mesure :



Le conditionneur de signal a pour rôle de :

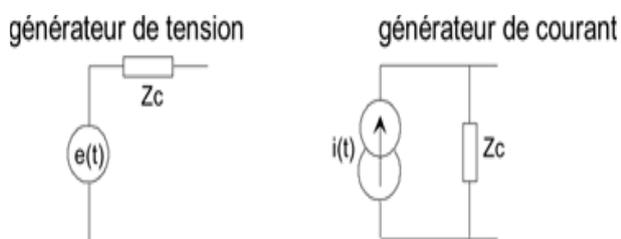
- extraire l'information relative au mesurande
- linéariser le signal
- amplifier le signal

L'objectif de cette annexe est l'étude de quelques exemples de montages parmi les plus représentatifs qu'on trouve dans la partie analogique d'une chaîne de mesure.

### 8-2 Conditionneurs de capteurs actifs

Les capteurs actifs fonctionnent en générateur en convertissant la forme d'énergie propre au mesurande en énergie électrique.

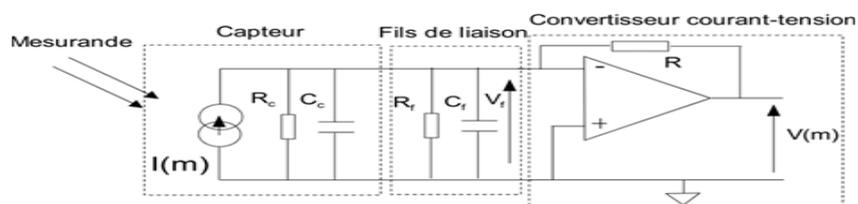
Schéma équivalent :



Il existe 3 types de capteurs actifs :

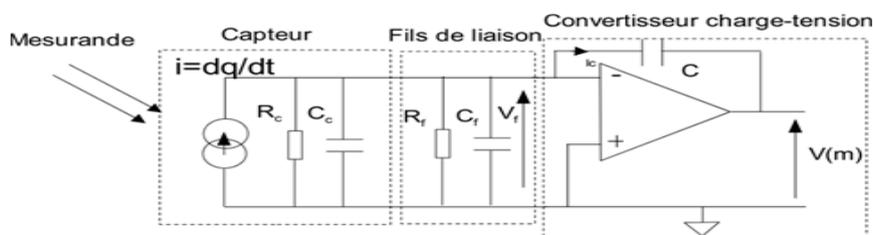
- ❖ Capteur générateur de f.e.m : Ne nécessite pas de conditionneur
- ❖ Capteur générateur de courant : Nécessite une transformation du courant en tension
- ❖ Capteur générateur de charge : Nécessite une transformation de la charge en tension

**a. Convertisseur courant-tension :**



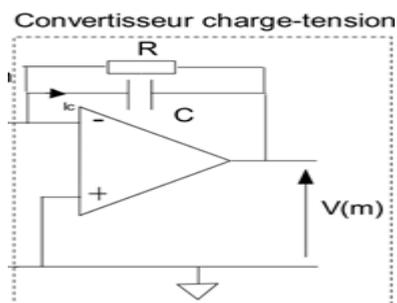
$$V(m) = -R \cdot I(m)$$

**b. Convertisseur charge-tension :**



$$V(m) = -\frac{q}{C}$$

En pratique le convertisseur charge-tension est donné par le montage suivant :



$$V(m) = -\frac{Q}{C} \cdot \frac{jRC\omega}{1+jRC\omega}$$

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

*Si la fréquence F de q(t) est >> Fc alors V=-q/C*

*Si la fréquence F de q(t) est << Fc alors V= -R dq/dt*

### 8-3 Conditionneurs de capteurs passifs

Un capteur passif est un matériau utilisé en tant qu'impédance dont l'un des paramètres est sensible au mesurande.

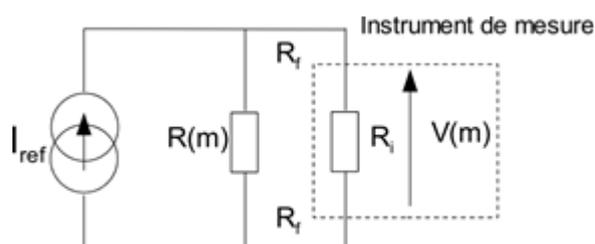
La mesure de l'impédance permet de déduire la valeur du mesurande. Cette mesure nécessite l'utilisation d'un conditionneur.

#### a. Conditionneurs de capteurs résistifs :

Deux types de mesure :

- Mesure d'une résistance  $R(m)$  : montage à source de courant constant
- Mesure d'une variation de résistance  $R(m)$  : Pont de Wheatstone

#### Montage à source de courant constant



$R_f$  : résistance des fils de connexion

$R_i$  : résistance d'entrée de l'appareil de mesure

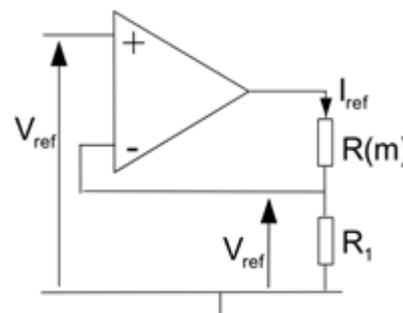
$$V(m) = \frac{(R_i + 2R_f) \cdot R(m)}{R_i + 2R_f + R(m)} I_{ref}$$

Si  $R_i \gg R_f$  et  $R_i \gg R(m)$ , alors l'équation précédente devient :

$$V(m) = R(m) \cdot I_{ref}$$

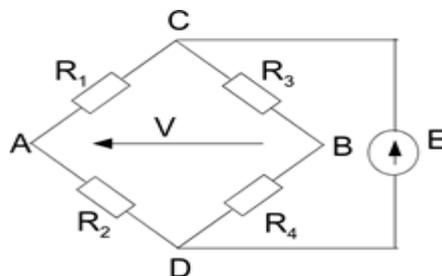
Source de courant à partir d'une source de tension stable

$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R_1}$$



**Remarque** : si la source de tension est ajustable, on dispose d'une source de courant ajustable

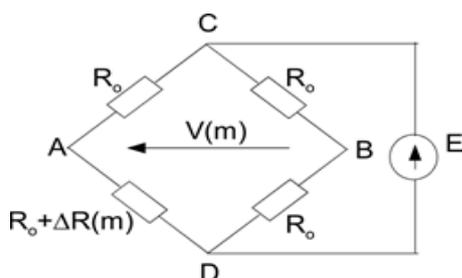
**Pont de Wheatstone**



$$V = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \cdot E$$

**Cas particulier 1 :**

1 résistance variable, 3 résistances fixes



$$V(m) = \frac{\Delta R(m)}{R_o} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R(m)}{2 R_o}} \cdot \frac{E}{4}$$

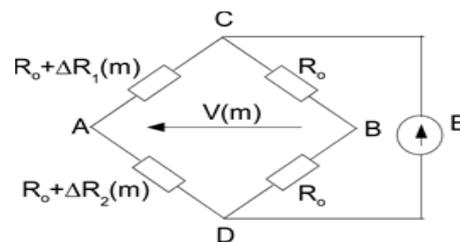
Si  $\Delta R(m) \ll R_o$  alors la relation précédente devient linéaire :

$$V(m) = \frac{\Delta R(m)}{R_o} \cdot \frac{E}{4}$$

**Cas particulier 2 :**

2 résistances variables, 2 résistances fixes

$$V(m) = \frac{\Delta R_2(m) - \Delta R_1(m)}{R_o} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_2(m) + \Delta R_1(m)}{2 R_o}} \cdot \frac{E}{4}$$



**Cas particulier 3 :**

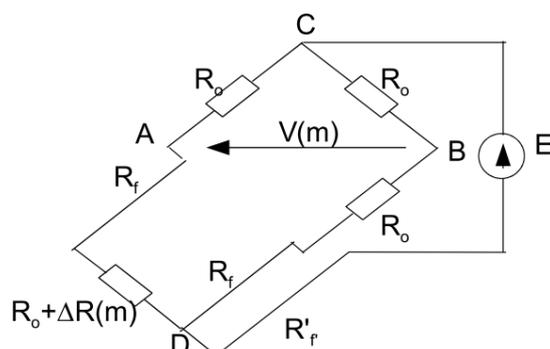
**Montage Push-Pull** : les résistances variables ont des variations égales et opposées.

$$\Delta R_2(m) = - \Delta R_1(m) = \Delta R(m)$$

$$V(m) = \frac{\Delta R(m)}{R_o} \cdot \frac{E}{2}$$

### Cas particulier 4 : Montage 3 fils :

Il est utilisé dans le cas où le capteur est éloigné du pont Il permet d'atténuer l'influence des fils de liaison dont les résistances ne sont pas négligeables

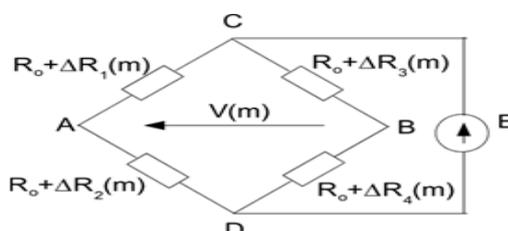


En posant  $V_{CD} = E'$  Si  $\Delta R$  et  $R_f \ll R_o$

$$V(m) = \frac{\Delta R(m)}{R_o} \cdot \frac{E'}{4}$$

### Cas particulier 5 :

4 résistances variables



Si  $\Delta R_2(m) = -\Delta R_1(m) = \Delta R_3(m) = -\Delta R_4(m) = \Delta R(m)$

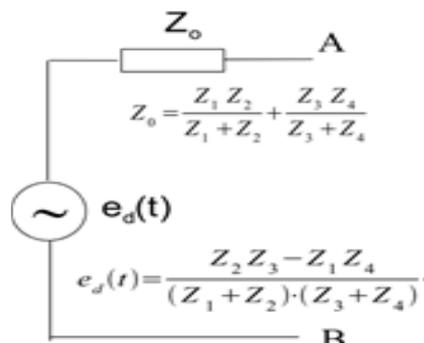
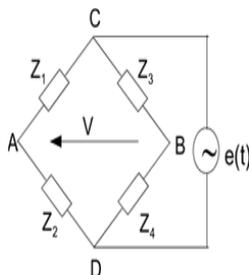
$$V(m) = \frac{\Delta R(m)}{R_o} \cdot E$$

### b. Conditionneurs de capteurs réactifs :

Deux types de mesure :

- variation d'impédances  $\Rightarrow$  variation de tension : utilisation d'un pont d'impédances
- variation d'impédances  $\Rightarrow$  variation de la fréquence d'un signal : utilisation d'un oscillateur

### Pont d'impédances

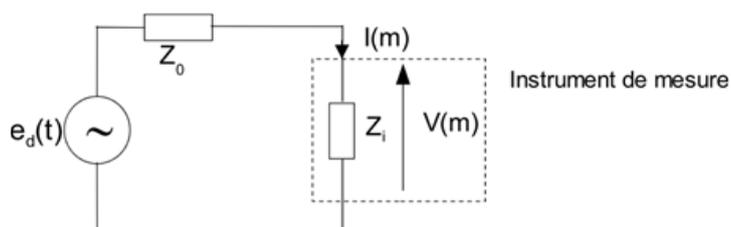


Montage équivalent de Thévenin :

$Z_o$  : impédance équivalente  $e_d$  :

fem équivalente

$i_d$  : courant de court-circuit



$Z_i$  : impédance d'entrée de l'appareil de mesure

$$V(m) = \frac{1}{1 + Z_o / Z_i} \cdot e_d$$

$$i(m) = \frac{1}{1 + Z_i / Z_o} \cdot i_d$$

Le signal de mesure  $V$  ou  $I$  doit être indépendant de  $Z_i$   $V_m$  et  $i_m$  dépend de  $Z_i$

Si  $Z_i \gg Z_o$  alors  $V(m) \approx e_d$  Si  $Z_i \ll Z_o$  alors  $I(m) \approx i_d$

**Oscillateur** :  $V = V_o \cdot \cos(2 \Pi ft + \Phi)$

C'est un circuit électronique permettant de délivrer un signal à une fréquence  $f$  donnée de type :

Il transforme l'information liée à l'impédance du capteur à la fréquence du signal de sortie

$$f = f_o \cdot \left( 1 \pm \frac{\Delta Z}{Z} \right)$$

**Avantage :**

- immunités aux bruits.
- transmission par voie hertzienne facilitée.

**8-4 Amplificateurs**

**a. Rôle des amplificateurs :**

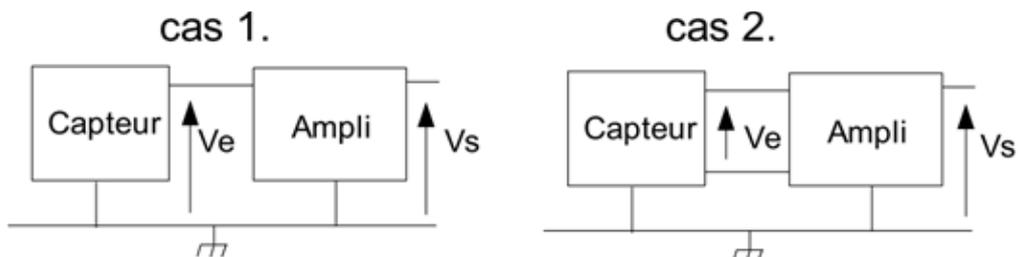
- Amplification du niveau de tension : protection du signal
- Amélioration de la précision de mesure : adaptation au niveau du dispositif amont de la chaîne
- Transfert optimal du signal : haute impédance d'entrée et faible impédance de sortie.

**b. Critères de choix :**

Quel est le potentiel de référence de la tension d'entrée ?

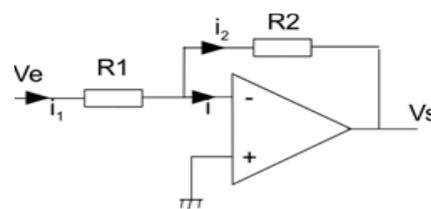
**Cas 1.** Même référence que celui de l'amplificateur amplificateur asymétrique

**Cas 2.** Référence différente de celui de l'amplificateur : amplificateur différentiel



**a. Amplificateurs asymétriques :**

**Amplificateur inverseur :**



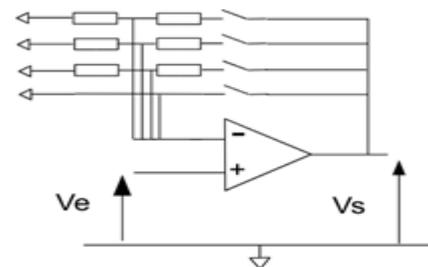
AOP idéal et linéaire :

$i_+ = i_- = 0$

$V_+ = V_-$

Amplificateurs programmable

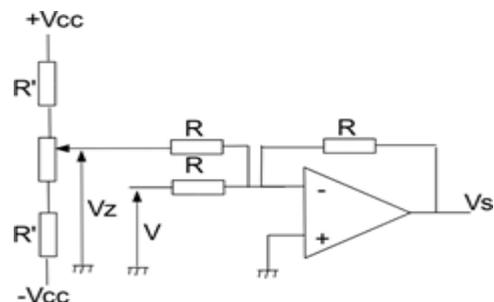
La valeur du gain est commandée par un contrôleur externe



**Montage additionneur :**

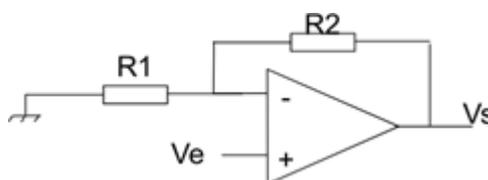
Exemple : réglage du zéro

$$V_s = -(V + V_z)$$



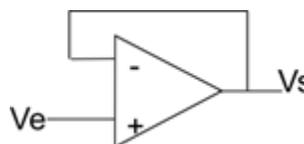
**Amplificateur non inverseur :**

$$V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_e$$



**Amplificateur suiveur :**

$$V_s = V_e$$



**c. Amplificateurs asymétriques :**

Rôle : amplifier une différence de potentiel  $v_2 - v_1$

**Exemple :**

- tension ( $v_2 - v_1$ ) aux bornes d'un composant,
- pont de Wheatstone,
- différence de potentiel entre la masse du signal et celle de l'amplificateur n'est pas nulle

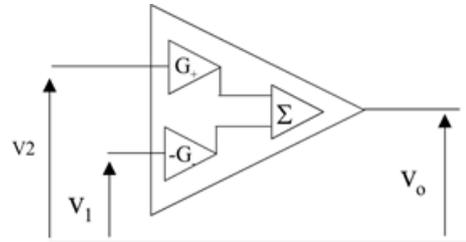
**Définition :**

- tension différentielle  $v_d$  :  $v_d = v_2 - v_1$
- tension de mode commun  $v_{mc}$  :

$$v_{mc} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

**Modélisation :**

- 2 ampli de gain  $G_+$  et  $-G_-$
- 1 sommateur



$$v_0 = G_+ v_2 - G_- v_1$$

$$v_1 = v_{mc} - \frac{v_d}{2}$$

$$v_2 = v_{mc} + \frac{v_d}{2}$$

$$v_0 = \frac{G_+ + G_-}{2} v_d + (G_+ - G_-) v_{mc}$$

Gain différentiel :

$$G_d = \frac{G_+ + G_-}{2}$$

Gain de mode commun :

$$G_{mc} = G_+ - G_-$$

Taux de réjection de mode commun :

$$T_r = \frac{G_d}{G_{mc}} = \frac{1}{2} \frac{G_+ + G_-}{G_+ - G_-}$$

$$V_0 = G_d \left( v_d + \frac{1}{T_r} v_{mc} \right)$$

**Cas idéal :**

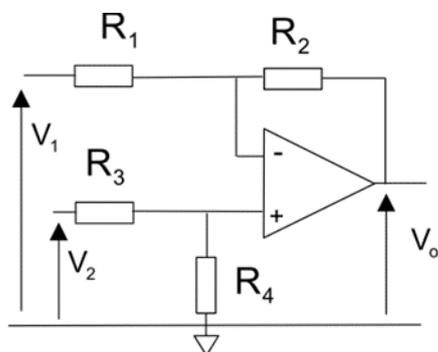
$$v_{mc} = 0 \quad T_r \rightarrow \infty \quad V_0 = G_d v_d$$

Cas pratique : ampli dif approprié si

$$V_{d \min} \gg \frac{1}{T_r} V_{mc \max}$$

**Montage d'amplificateur différentiel :**

**Montage 1 :**



$$v_o = G_d v_d + G_{mc} v_{mc}$$

$$G_d = \frac{R_1 + R_2}{2R_1} \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

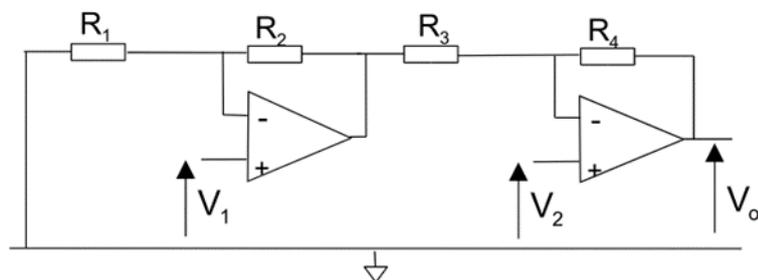
$$G_{mc} = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

Si  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$  alors  $G_{mc} = 0$  et  $G_d = \frac{R_2}{R_1}$

**Inconvénients :**

- sensible aux impédances des sources d'excitation.
- appariement des résistances  $R_1, R_2, R_3, R_4$  pour chaque valeur du gain  $G_d$

**Montage 2 :**



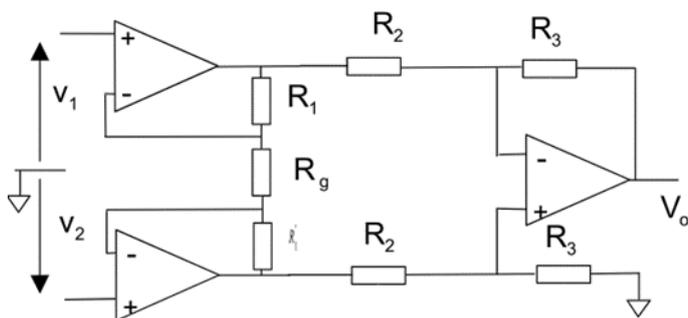
$$V_o = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \left( 2 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right) v_d + \left( 1 - \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \right) v_{mc}$$

Si  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4}$  alors  $G_{mc} = 0$  et  $G_d = 1 + \frac{R_1}{R_2}$

**Inconvénients :**

- appariement des résistances R1, R2, R3, R4 pour chaque valeur du gain Gd

**Montage 3 : Montage d'amplificateur d'instrumentation**



$$v_o = \frac{R_3}{R_2} \cdot \left( 1 + \frac{R_1 + R_1'}{R_g} \right) \cdot v_d + \frac{4\epsilon_r R_3}{R_2 + R_3} v_{mc}$$

Pratiquement on prend  $R_2 = R_3$

$$G_d = 1 + \frac{R_1 + R_1'}{R_g} \quad T_r = \left( 1 + \frac{R_1 + R_1'}{R_g} \right) \cdot \frac{1}{2\epsilon_r}$$