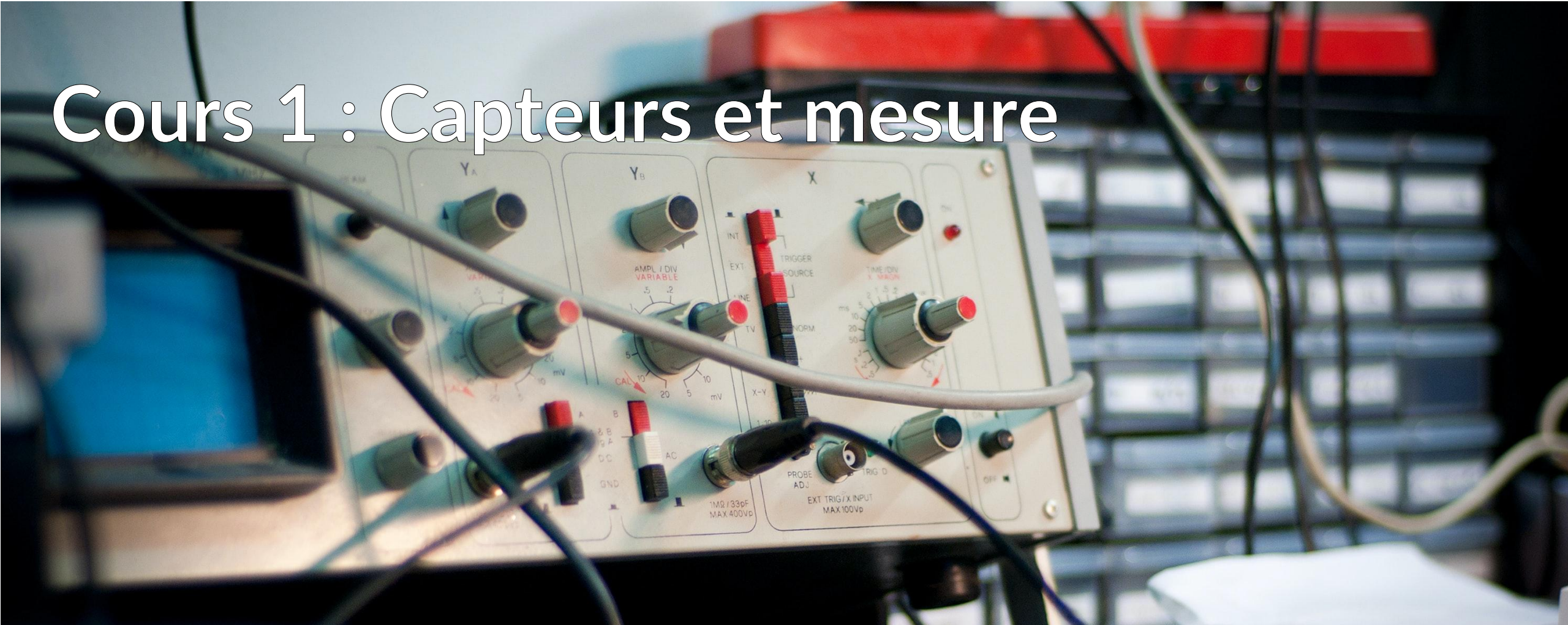


# Cours 1 : Capteurs et mesure



# Introduction

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

- Un **signal** en électronique est un phénomène physique qui véhicule une information.
- Traiter un signal c'est le fait d'extraire de l'information des mesures effectuées par des capteurs.

- Applications dans de nombreux domaines :

- ▶ Télécommunications : radars, téléphones
- ▶ Audio : reconnaissance et codage de la voix
- ▶ Analyse des échos : télémétrie par ultrasons, géophysique, sonar
- ▶ Imagerie : IRM, électroencéphalogramme, électrocardiogramme ...
- ▶ Vidéo : traitements d'images, réduction du bruit, compression ....

- La captation de l'environnement et notamment la maîtrise de la fiabilité des données est d'un enjeu crucial dans la plupart des systèmes électriques.

→ **Comment s'effectue la captation des données ? Comment fonctionnent les capteurs ?**

# Cours 1 : Capteurs et mesure

## I. Chaîne d'acquisition de données

- A. Le capteur
- B. Le module de conditionnement
- C. Le Filtre anti-repliement
- D. L'échantillonneur
- E. Le convertisseur analogique-numérique

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres d'un capteur
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement d'un capteur passif

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateurs simples
- D. Amplificateurs différentiels

# 1 La chaîne d'acquisition de données

# La chaîne d'acquisition de données

## I. Chaîne d'acquisition

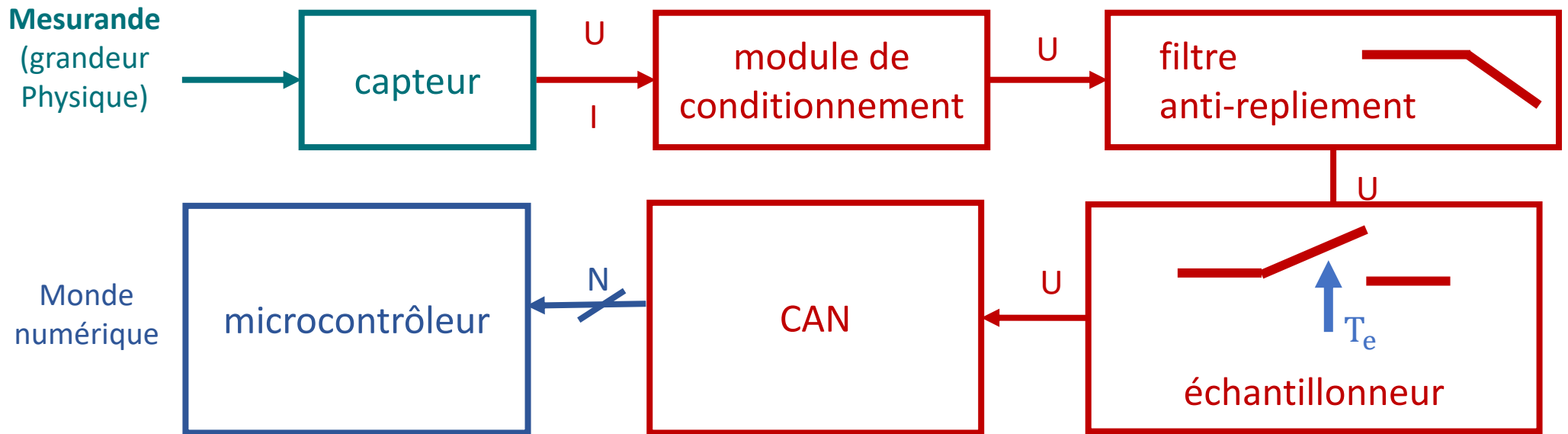
- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel



- Le **capteur** transforme la grandeur physique (température, pression, luminosité, etc.) en une grandeur électrique (U ou I).
- Le **module de conditionnement** amplifie le signal issu du capteur afin qu'il soit sur toute la plage du CAN (souvent [ 0 ; 5 ] V à l'aide d'un amplificateur d'instrumentation) ;
- Le cas échéant, il transforme un courant en une tension (montage convertisseur courant – tension).
- Le **filtre anti-repliement** retire le bruit (hautes fréquences) sur le signal (analogique) qui vient d'être conditionné.
- L'**échantillonneur** prélève des échantillons du signal et le maintien à l'aide d'un bloqueur afin que le CAN ait le temps de le numériser ; Il est parfois intégré au CAN.
- Le **Convertisseur Analogique Numérique (CAN)** numérise le signal sur N bits (souvent 10).



# La chaîne d'acquisition de données

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. **Convertisseur A-N**

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

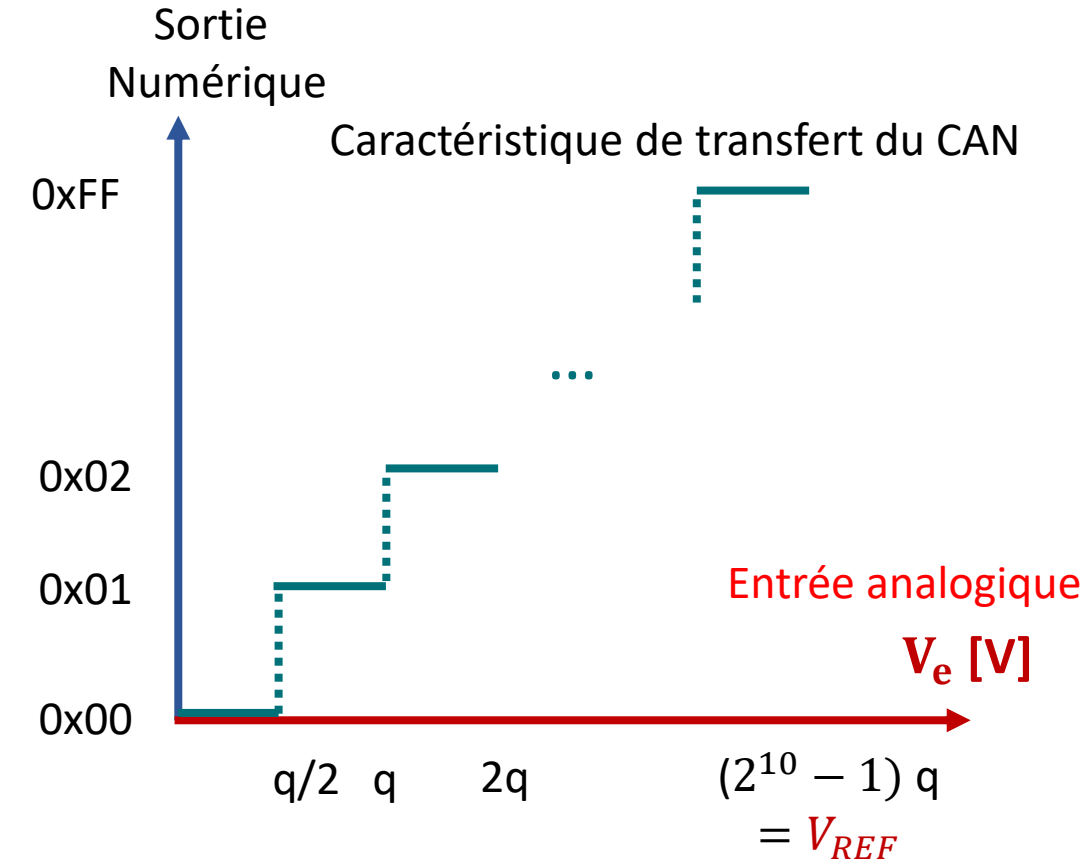
- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel



5 V → 11 1111 1111  
= 0xFF

2,5 V → 10 0000 0000  
= 0x80

0 V → 00 0000 0000  
= 0x00



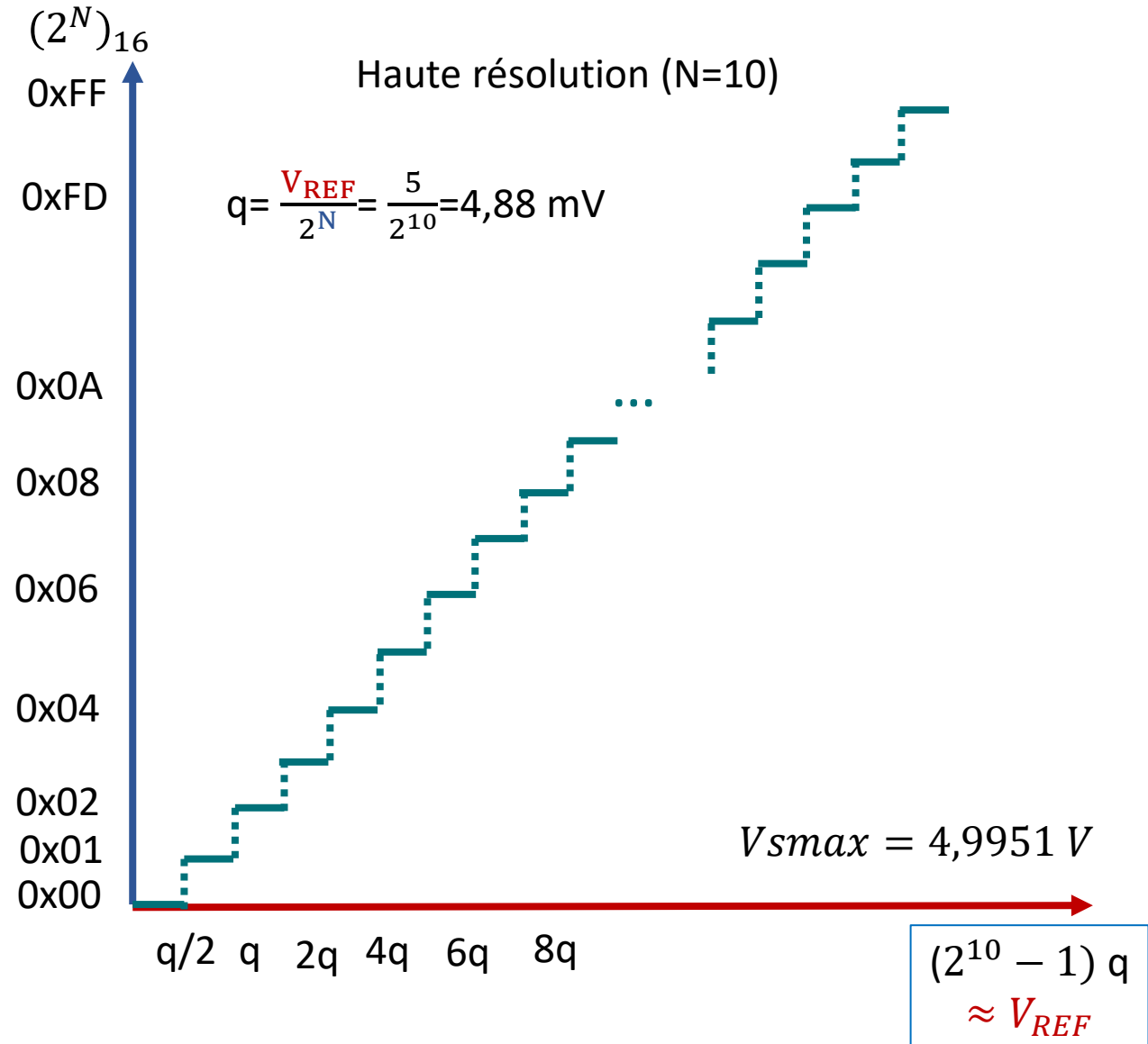
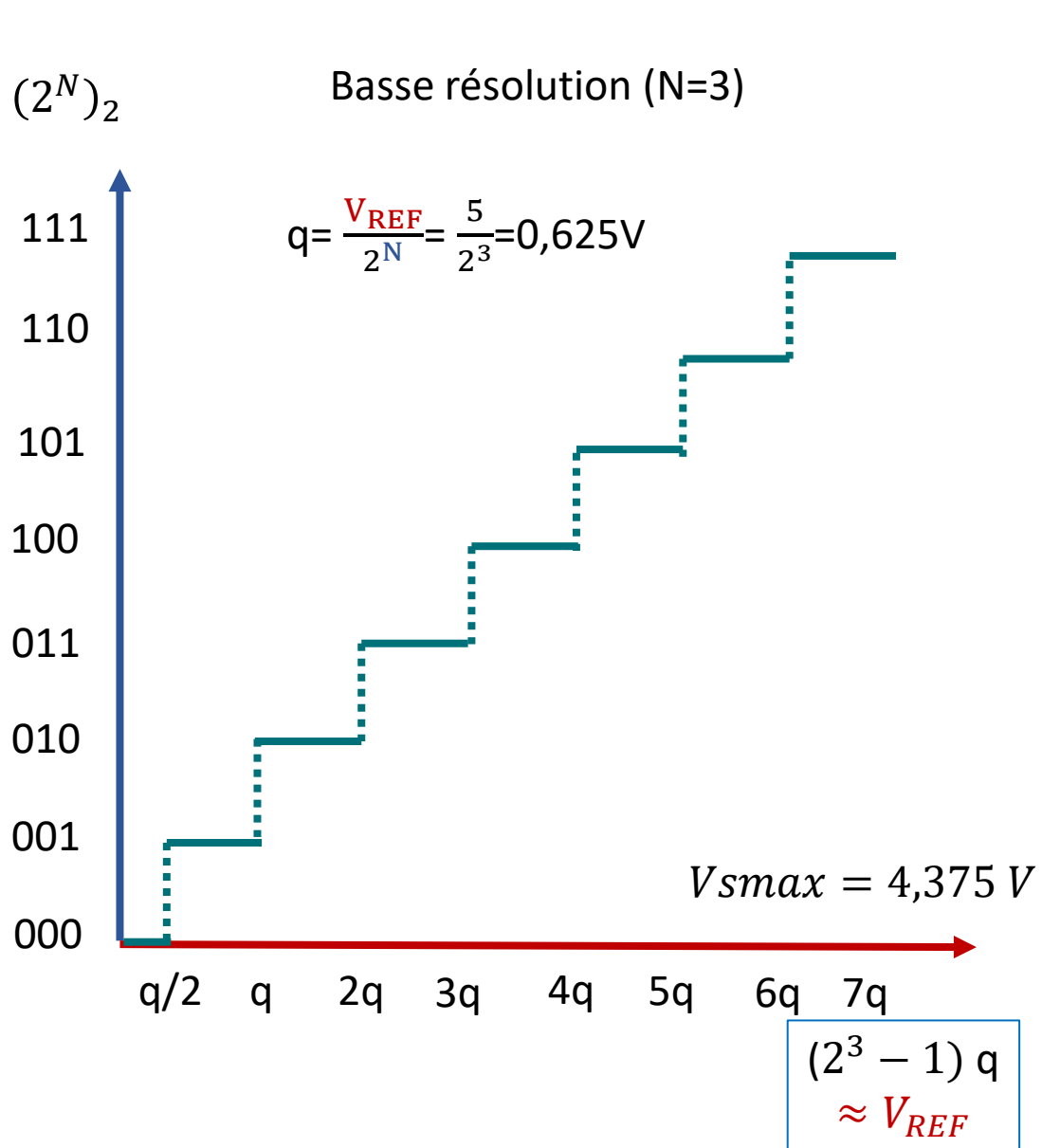
### Résolution

N

### Quantum

$$q = \frac{V_{REF}}{2^N}$$

# Représentation de l'effet du nombre de bits du CAN sur la quantification d'un signal



# La chaîne d'acquisition de données

## I. Chaîne d'acquisition

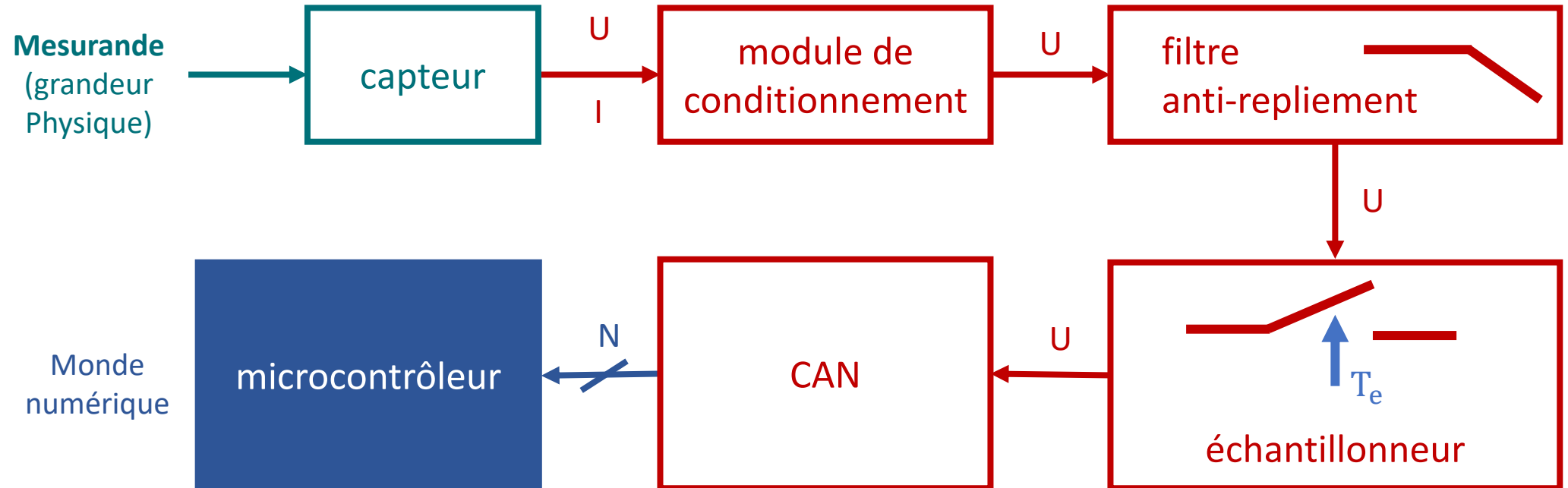
- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

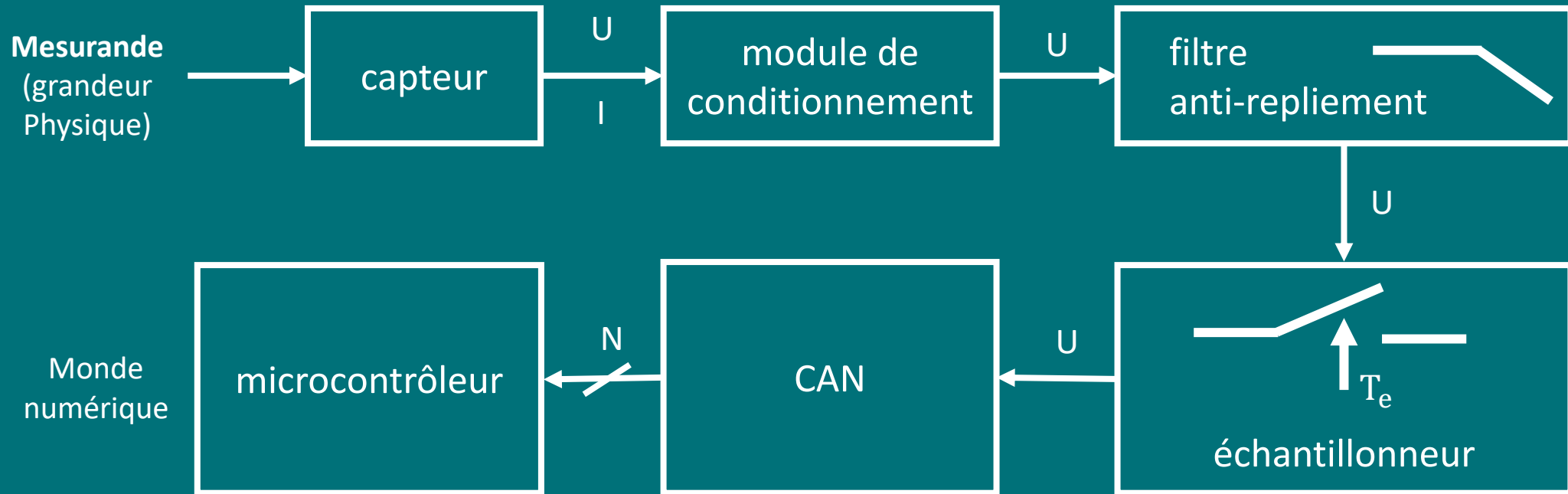
- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel



■ Le **microcontrôleur** traite numériquement l'information issue du capteur (affichage, asservissement, etc.)



# Résumé sur la chaîne d'acquisition



# 2 Les capteurs

# Types et familles de capteurs

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

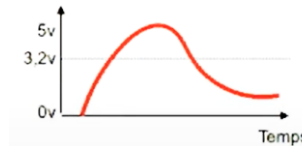
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Un **capteur** est un système permettant de transformer une grandeur physique (force, pression, température, lumière, etc.) en une grandeur électrique (tension ou courant).

➤ Trois **types** de capteurs :

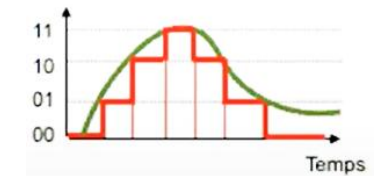
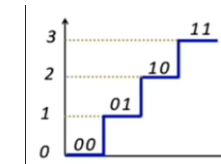
- Le capteur logique tout ou rien (TOR)
- Le capteur analogique



- La grandeur électrique fournie varie linéairement en fonction de la grandeur physique.
- Si tel n'est pas le cas, le module de conditionnement linéarise la loi de variation.

- Le capteur numérique

- Le signal de sortie est numérique



➤ Deux **familles** de capteurs

- Les capteurs actifs

- Généralement plus complexes, fonctionnent en générateur
- Ne nécessitent pas de conditionnement du signal (circuit électrique supplémentaire) particulier
- Reposent sur des effets physiques naturels

- Les capteurs passifs

- Plus simples, ils ont besoin d'une alimentation
- Nécessitent un conditionnement du signal

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres**
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

### III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

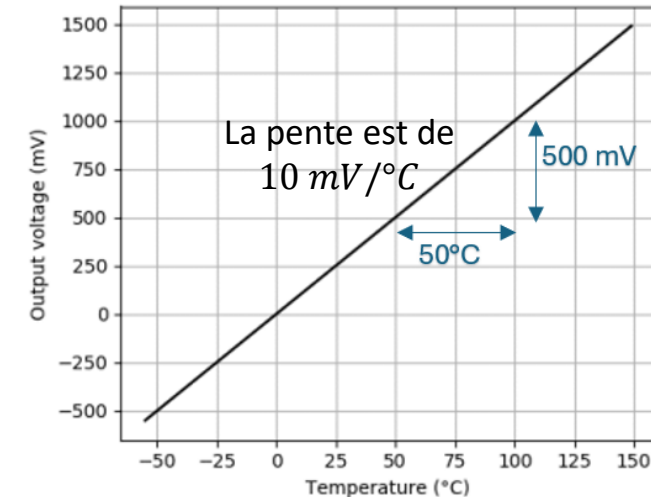
### ■ Caractéristique entrée – sortie :

- Décrit la relation entre le mesurande (entrée) et la grandeur électrique (sortie) du capteur.  
(LM35 : la caractéristique température – tension)

*Par convention, on tracera la tension en fonction de la température, cela reflète la fonction du capteur : la température est convertie en tension.*

$$V_{out} = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \cdot T$$

On a ici une relation linéaire.



### ■ Étendue de la mesure :

- Différence entre la plus petite et la plus grande valeur mesurable.  
(LM35 : plage de mesure de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $150^{\circ}\text{C}$  soit  $205^{\circ}\text{C}$ )

*Ne confondre avec les valeurs extrêmes qui pourraient endommager le capteur.*

## ■ Résolution :

- Plus petite variation de la grandeur physique que le capteur est capable de détecter.

# Paramètres d'un capteur (2/3)

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres**
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### ■ Sensibilité :

- Variation du signal de sortie en fonction de la variation du signal d'entrée.

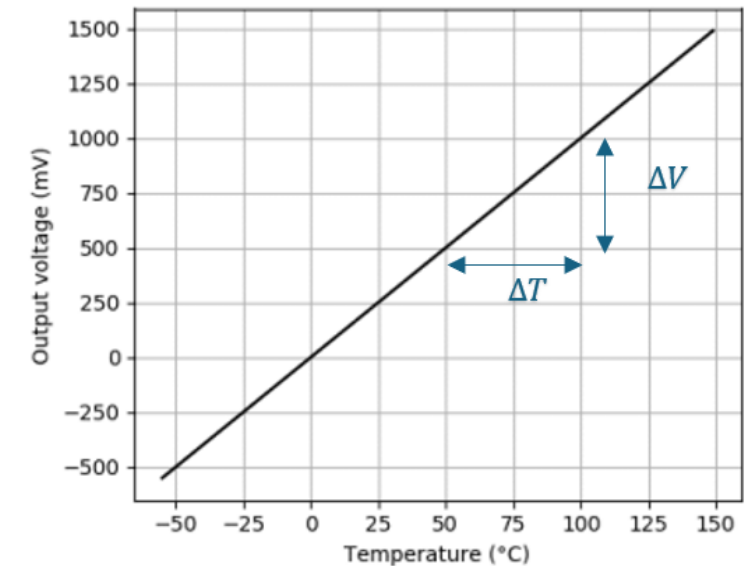
$$S_c = \frac{\Delta \text{Sortie}}{\Delta \text{Entrée}}$$

Ex : LM35 :

$$S_c = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

$$S_c = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

- La sensibilité est constante pour un capteur linéaire.



### ■ Précision :

- Aptitude d'un capteur à donner une mesure proche de la valeur de la grandeur mesurée.

$$\text{valeur} = \text{valeur mesurée} \pm \text{Incertitude}$$

# Paramètres d'un capteur (3/3)

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

La réponse des capteurs doit être instantanée.

- Détecteur de présence devant un supermarché, pour ouvrir les portes.
- Détecteur de pluie sur un véhicule, pour éviter tout accident.

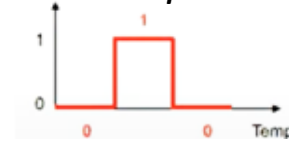
### ■ Rapidité / temps de réponse :

- Lorsque la grandeur physique évolue, c'est le temps mis par le capteur pour répercuter cette variation sur la grandeur qu'il fournit (tension, fréquence, etc.)
- Plus la bande passante du capteur est élevée et plus le capteur est rapide (temps de réponse faible) . Un capteur avec une large bande passante peut détecter des signaux qui varient rapidement, c'est-à-dire des signaux avec des fréquences élevées.

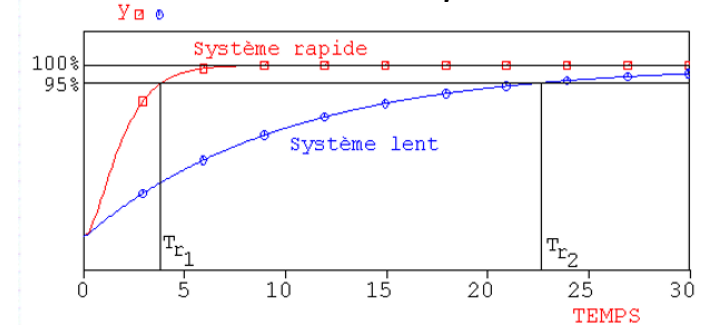
*Ex : capteur de température de bande passante faible de l'ordre de 1 Hz peut suivre des changements de l'ordre de quelques secondes mais pas des variations rapides comme des oscillations en milliseconde.*

*Ex : microphone avec une large bande passante de 20 Hz à 20 kHz, il peut détecter les variations rapides des ondes sonores.*

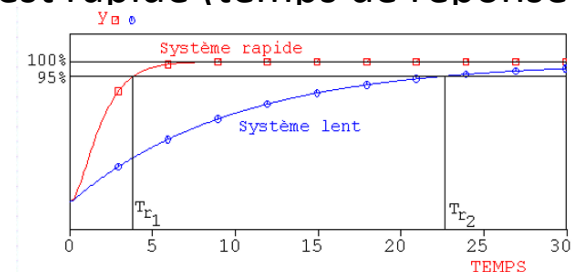
Variation brusque du mesurande



Sortie du capteur



- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel





# Capteurs actifs ( 1 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

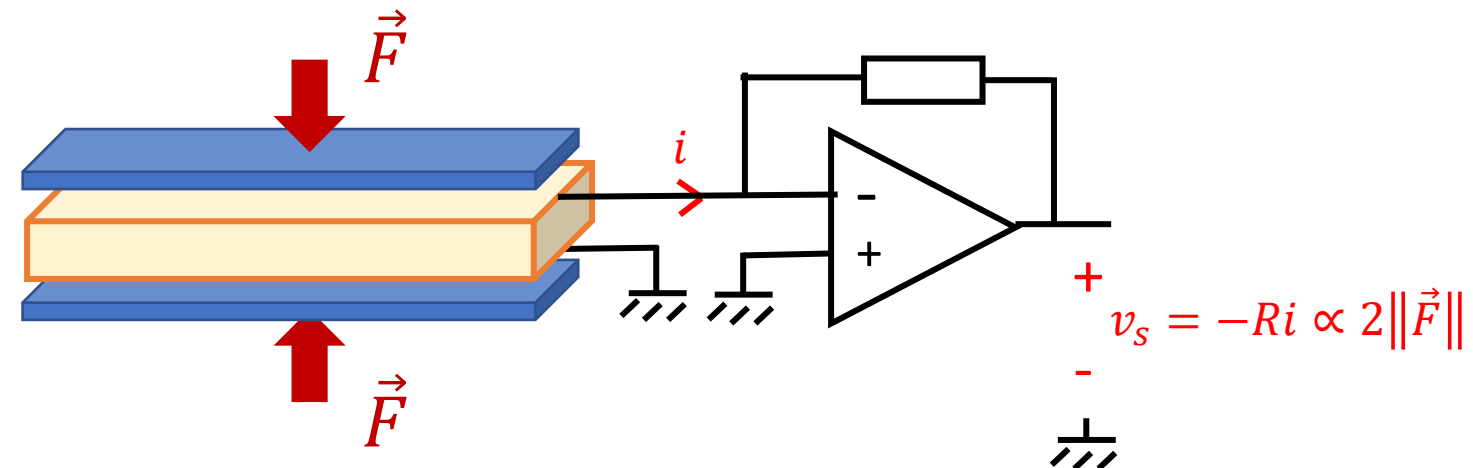
- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Un **capteur actif** fonctionne comme un générateur.

### 1. Capteurs piézo-électriques

- Effet piézo-électrique
  - Découvert par Pierre Curie en 1880
  - Propriété que possèdent les matériaux anisotropes à se déformer lorsqu'ils sont plongés dans un champ (excitation électrique).
  - Cet effet est réversible → soumis à une action mécanique, le matériau génère un champ (signal électrique).
  - Exemple : Le quartz (oscillateurs)
- Application 1 : **capteur de force**

L'action mécanique extérieure induit un courant qui est amplifié et converti en tension à l'aide d'un AOP monté en convertisseur de tension.



# Capteurs actifs ( 2 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

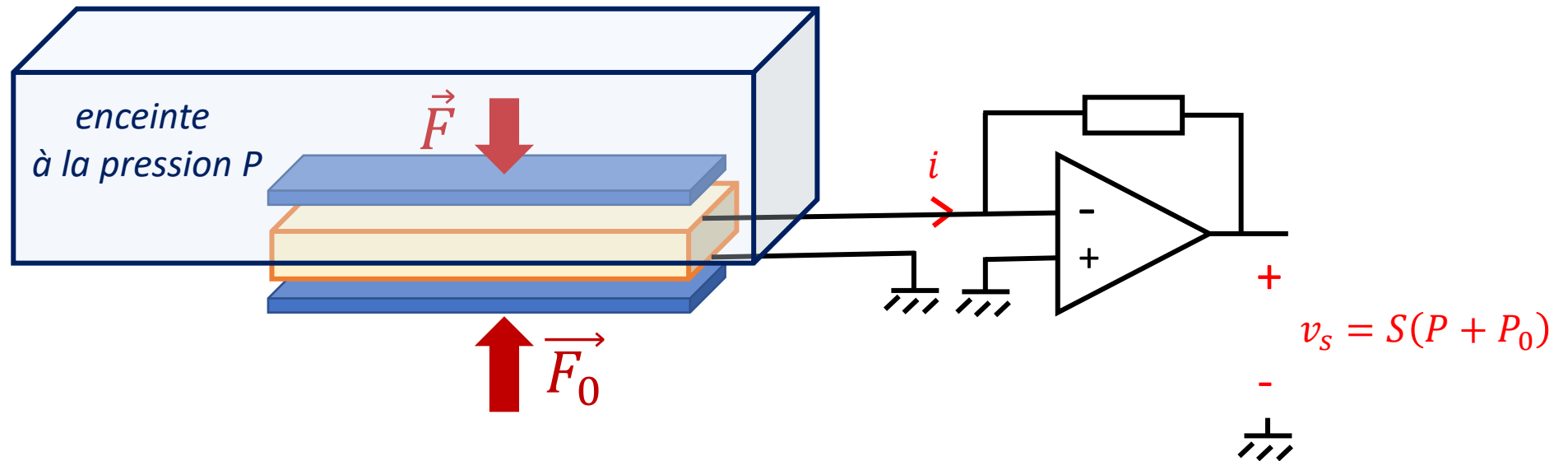
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

- Application 2 : **capteur de pression**



Une pression étant une force normalisée par une surface, on mesure la force exercée par la pression de part et d'autre d'une paroi et connaissant  $P_0$ , on en déduit la pression dans l'enceinte.

# Capteurs actifs ( 3 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

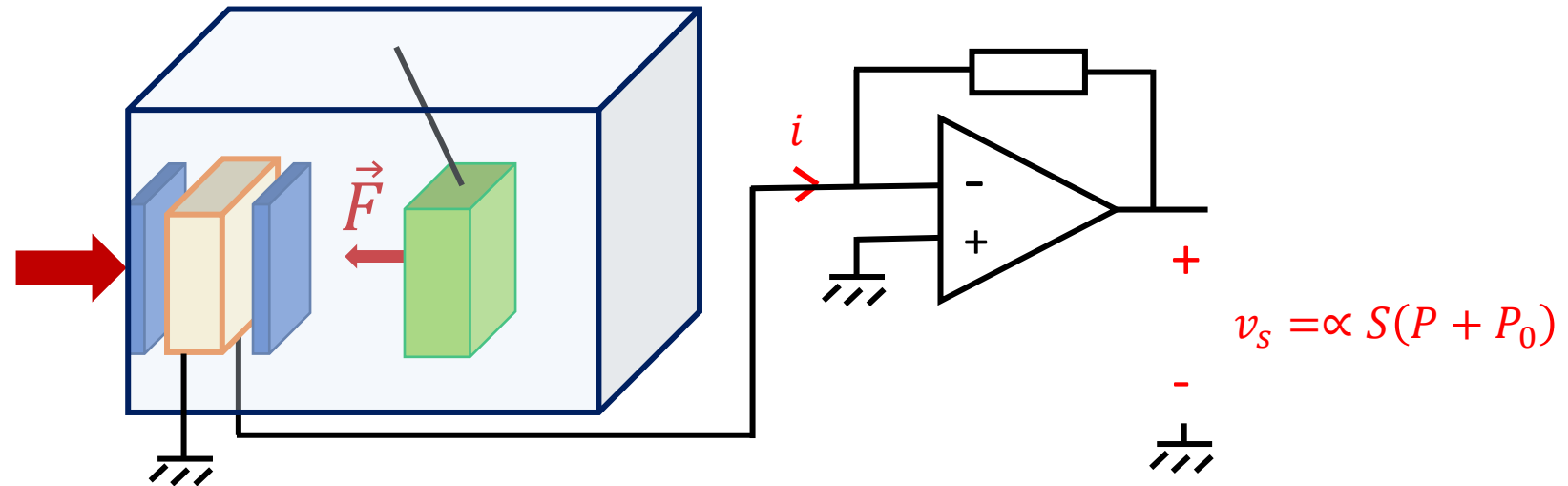
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

- Application 3 : **accéléromètre**



L'augmentation de la vitesse conduit à  $\|\vec{F}\| = m\|\vec{a}\|$ .

$$\text{Or, } v_s \propto \|\vec{F}\|$$

$$\text{D'où } v_s \propto m\|\vec{a}\|$$

Remarque : Il existe d'autres technologies d'accéléromètre à base de MEMS comme dans l'iPhone, la Wii, etc.

# Capteurs actifs ( 4 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

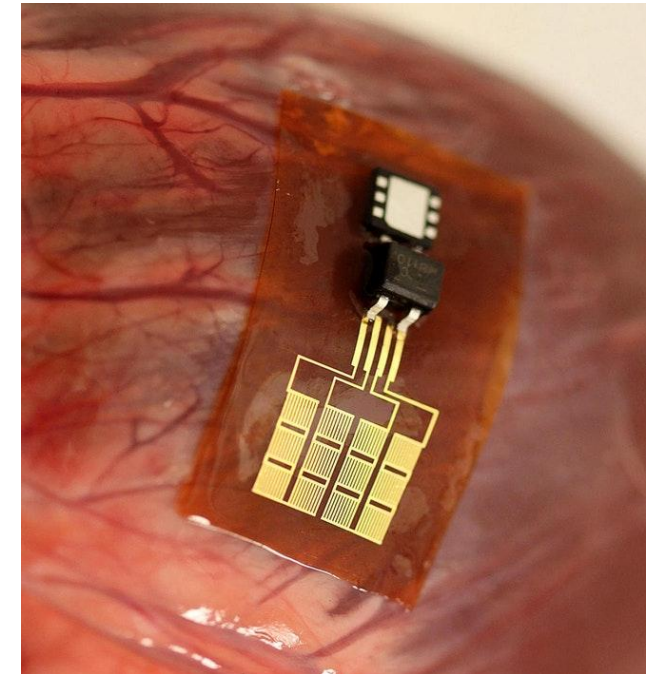
- Application 4 : **stimulateur cardiaque auto-alimenté**

■ Le petit capteur piézo logé près du cœur est excité par les mouvements de ce dernier. Ainsi il pourrait alimenter l'implant cardiaque.

■ De façon plus général, le marché visé par ce type de capteur est celui de l'AIMD (Active Implantable Medical Device)

■ Avantages:

- Auto-alimentation de l'implant
- Réduction de la taille du système dans son ensemble (on passe de  $2,5 \text{ cm}^3$  (pile) à  $0,5 \text{ cm}^3$ ).



# Capteurs actifs ( 5 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

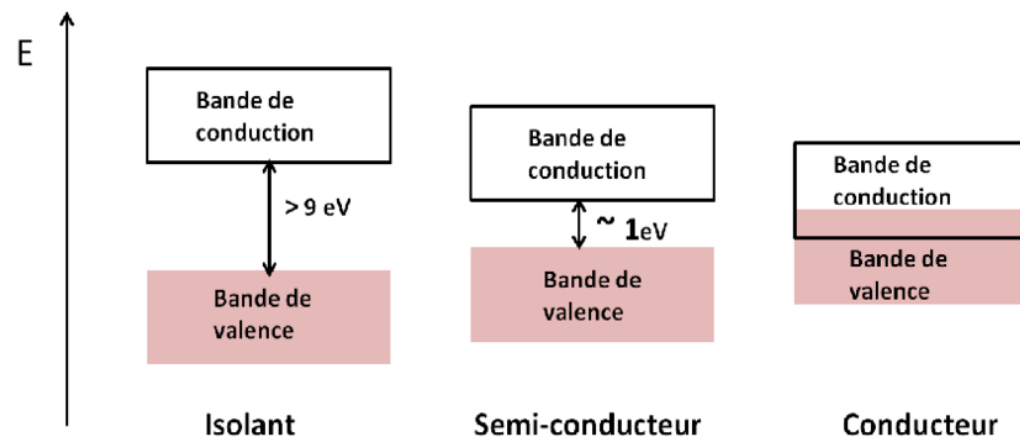
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

## 2. Capteurs à effet photo-électrique

- Photo-électricité :
  - Découvert par Antoine Becquerel et son fils Alexandre Edmond en 1839
  - Un matériau photoélectrique est un matériau pour lequel la conductivité est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants.
  - Sa particularité est que la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique est enlevée.
  - Lorsqu'un photon d'énergie suffisante excite un atome du matériau, celui-ci libère un électron qui participe alors à la conduction.



4: Schéma représentant les bandes de valence, de conduction et... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

# Capteurs actifs ( 6 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

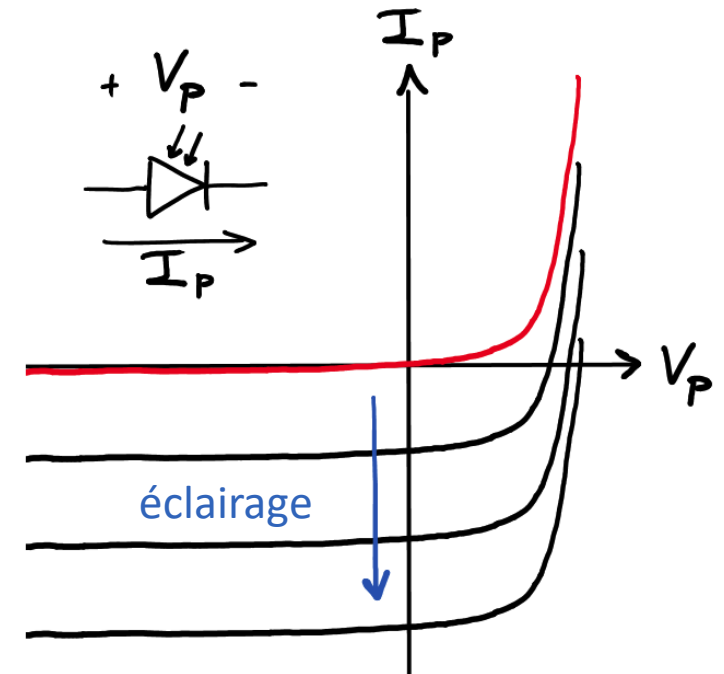
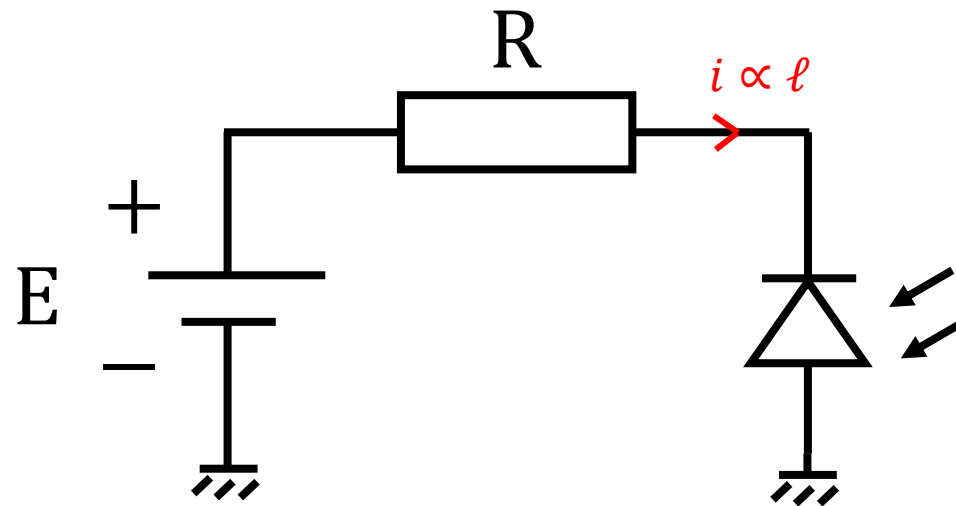
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel



### • Application 1 : la photodiode

- La photodiode est une jonction PN ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.
- Soumise à un éclairage, la photodiode émet par effet photovoltaïque un courant proportionnel à l'éclairement incident.
- Le plus souvent la diode sera polarisée en inverse car son comportement reste linéaire pour de forts éclairements.



# Capteurs actifs ( 7 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

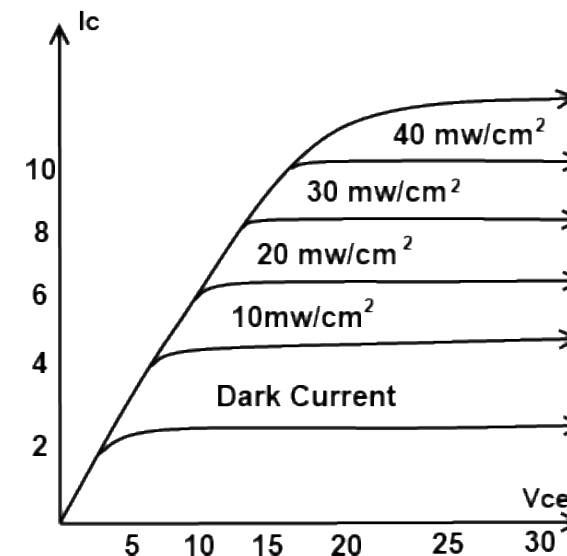
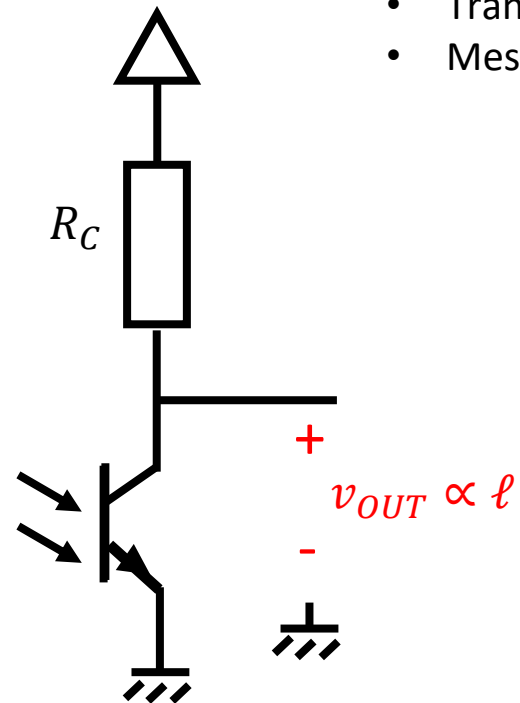
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel



### • Application 2 : le phototransistor

- Transistor bipolaire dont la base exposée est inondée par la lumière génère un photo-courant  $I_{PH}$  dans l'émetteur.
- La photosensibilité est augmentée d'un facteur allant de 100 à 400 par rapport à la photodiode.
- Le temps de réponse est également meilleur
- Cependant, ils sont plus onéreux et leur polarisation doit être précise.
- Applications
  - Transmission de données → détection de passage de données
  - Mesure d'angle et de vitesse d'un moteur équipé d'une roue codeuse.





# Capteurs actifs ( 8 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

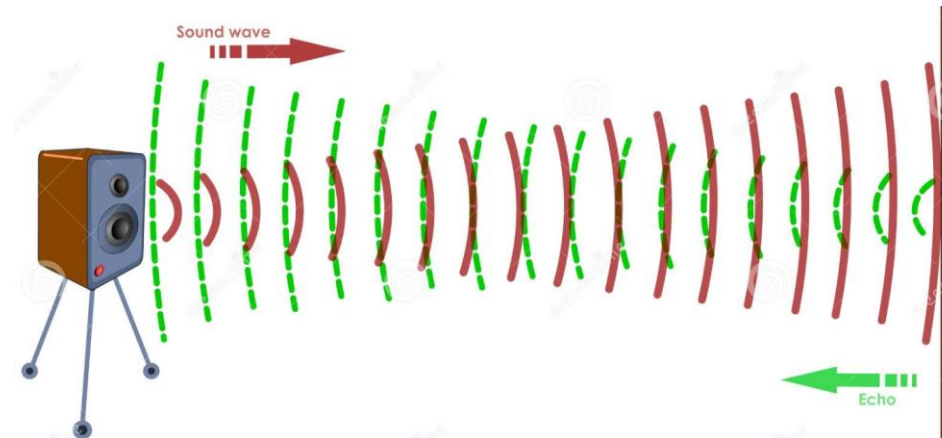
- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### 3. Capteurs à ultrasons

Ce type de capteur est équipé d'un cristal piézoélectrique.

Ce cristal subit des compressions ce qui lui permet de convertir l'énergie électrique en énergie ultrasonore et inversement.

- Un capteur à ultrasons émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence.
- Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son ( $c \approx 340 \text{ m/s}$ ).
- Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au capteur.



écho Ondes Réfléchies. Son émis Par Le Haut-parleur Qui Heurte Une Barrière Et Revient Sous Forme D'onde Réfléchi. Haut-parleur M Illustration de Vecteur - Illustration du émettre, cétacés: 208937215 (dreamstime.com)

# Capteurs actifs ( 9 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

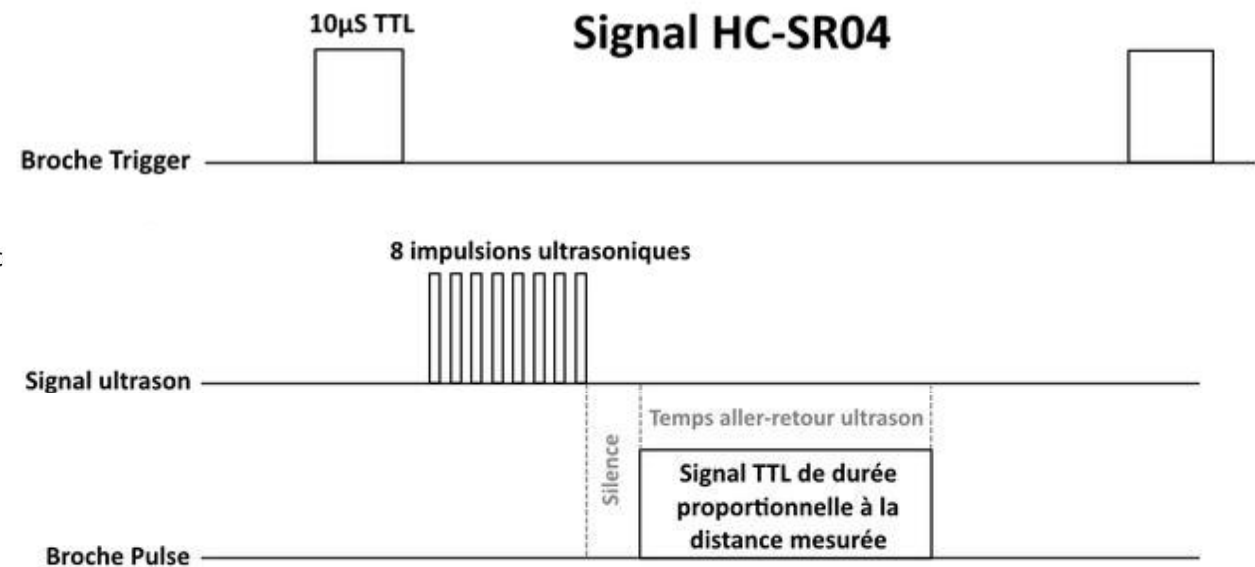
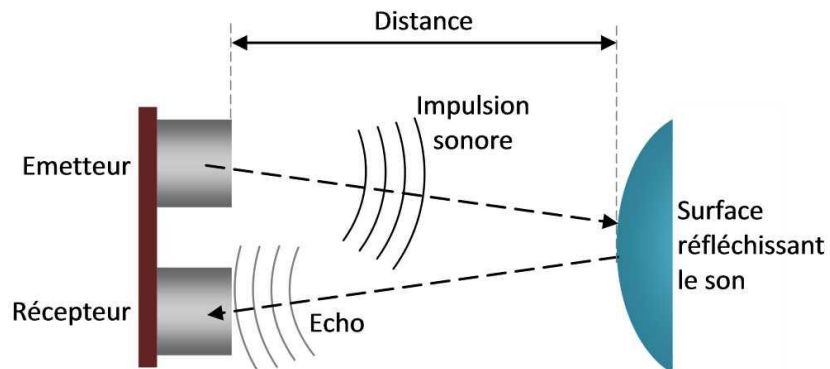
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel



- Application 1 : **le capteur de distance**
  - La distance est déterminée par le temps de propagation des ultrasons et non par leur intensité
  - Portée : de 20 mm à 10 m au millimètre près, voir au 0,025 mm près.
  - La distance se calcule en mesurant le temps d'aller-retour de l'onde émise :  $d = c \cdot \Delta t$



# Capteurs actifs ( 9 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

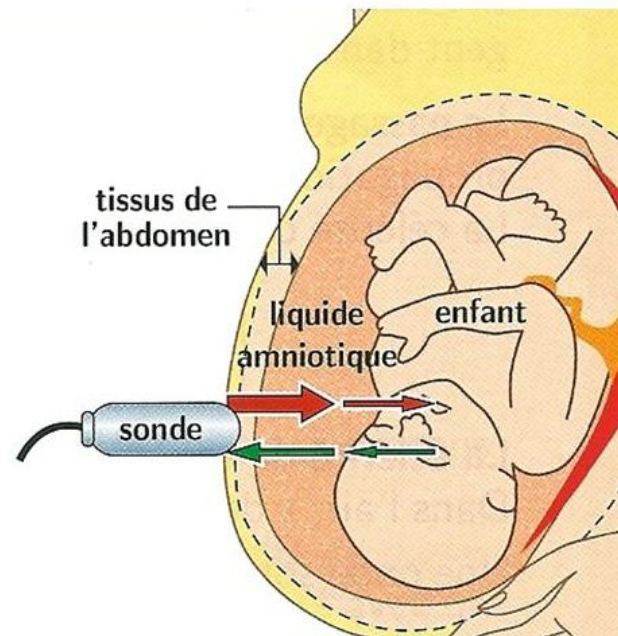
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

- Application 2 : **l'échographie**

- Une batterie de capteurs ultrasonores (128 à 512) inonde le corps ou l'objet à échographier
- Les tissus du corps ou les composants de l'objet renvoient une partie des ondes reçues (les échos dépendent de la densité et de la raideur des tissus)
- Les échos ressortent du corps et sont récupérés par le transducteur récepteur.



# Capteurs actifs ( 10 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

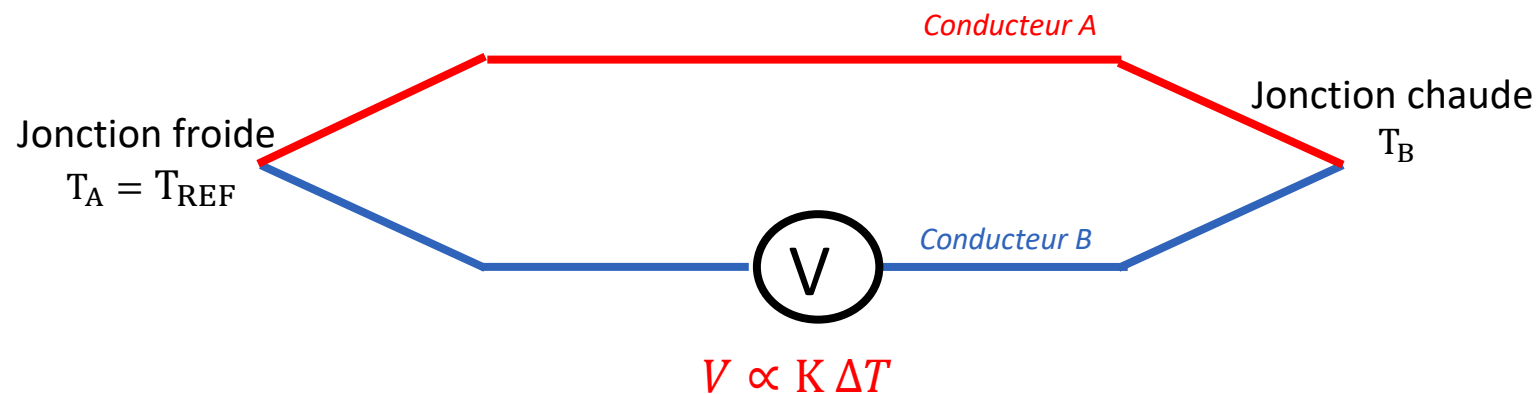
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs**
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### 4. Capteurs de température (thermocouple)

- Un thermocouple est constitué de deux conducteurs différents A et B dont les jonctions sont respectivement à des températures  $T_A$  et  $T_B$
- Lorsque  $T_A \neq T_B$ , une f.é.m. apparaît



- Remarque : l'effet inverse existe. C'est l'effet Peltier : Si on applique une tension  $V$  non nulle un échauffement ou un refroidissement apparaît au niveau de la soudure.

# Capteurs actifs ( 11 / 11 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. **Capteurs actifs**
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Pyroélectricité	Charge
	Photoémission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photoélectromagnétique	Tension
Force Pression Accélération	piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant)	Effet Hall	Tension

D'après Les Capteurs en instrumentation industrielle, Georges Asch et coll. 6<sup>ème</sup> édition

# Capteurs passifs ( 1 / 6 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs**
- E. Capteurs composites

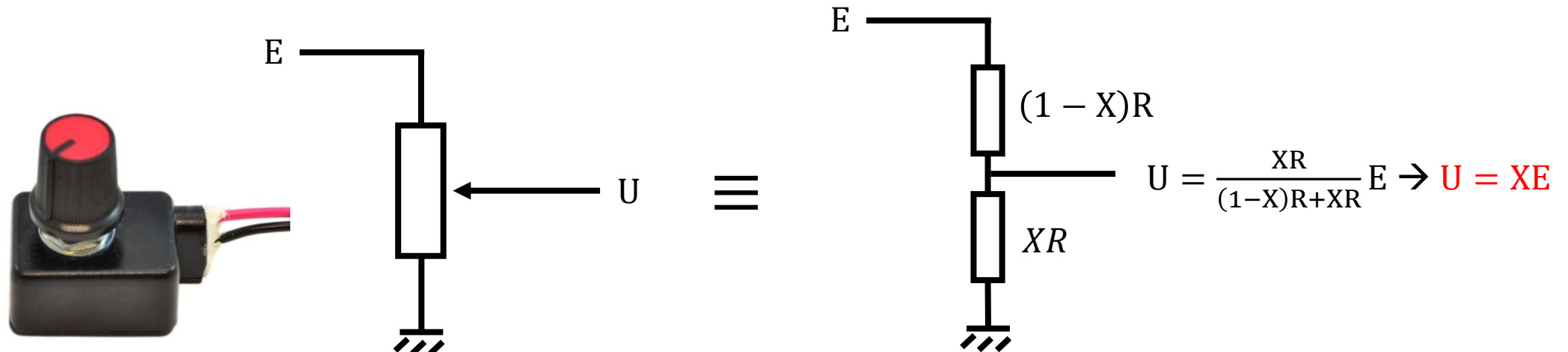
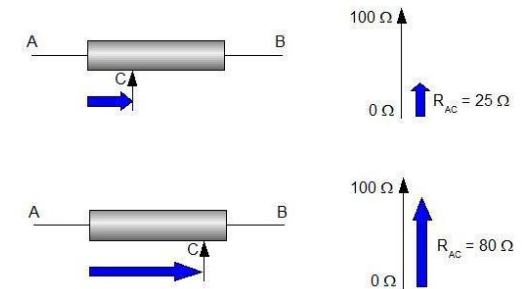
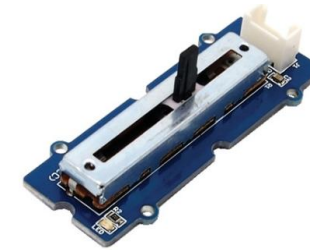
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Un **capteur passif** est un simple dipôle pour lequel un des paramètres de son impédance va varier lorsque le capteur se déforme.

### 1. Capteurs potentiométriques de déplacement

- Pour mesurer la position d'un objet il faut le relier physiquement au curseur C d'un potentiomètre
- La tension de sortie est proportionnelle à E.
- Avantage:
  - Peu onéreux
- Inconvénient:
  - Usure mécanique





# Capteurs passifs ( 2 / 6 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

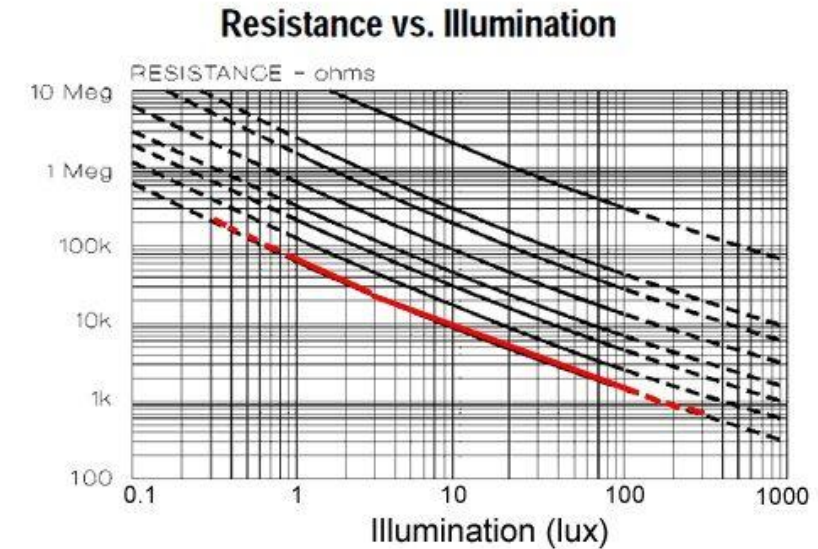
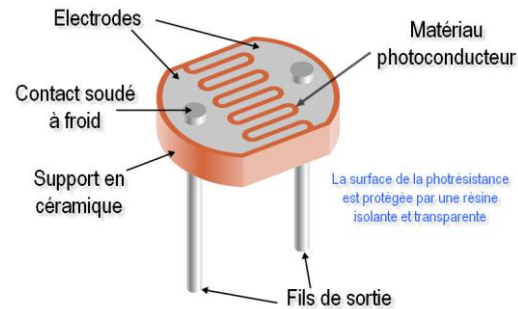
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

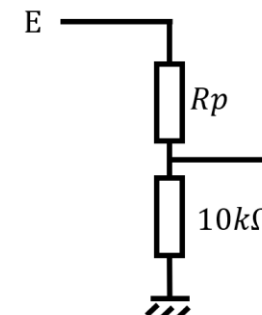
- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

## 2. Capteurs à effet photo-électrique : : la photorésistance (LDR)

- Résistance qui varie en fonction du flux lumineux qu'elle reçoit.



- Avantages :
  - Simple à utiliser (pont diviseur de tension) ;
  - Peu coûteux.
- Inconvénient :
  - Temps de réponse élevé.



$$U = \frac{10000}{R_p + 10000} E$$



# Capteurs passifs ( 3 / 6 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

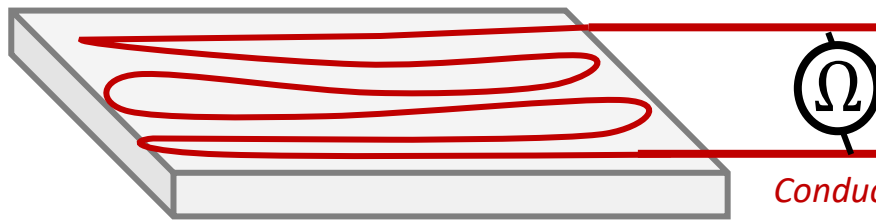
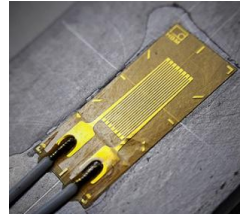
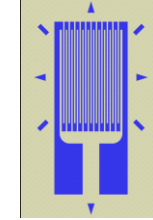
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs**
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### 3. Capteurs à jauge d'extensiométrie

- La résistance d'un conducteur est donnée par la relation  $R = \rho \frac{L}{S}$
- Si le capteur (jauge) est déformé, L est modifié donc R également.



Corps se déformant

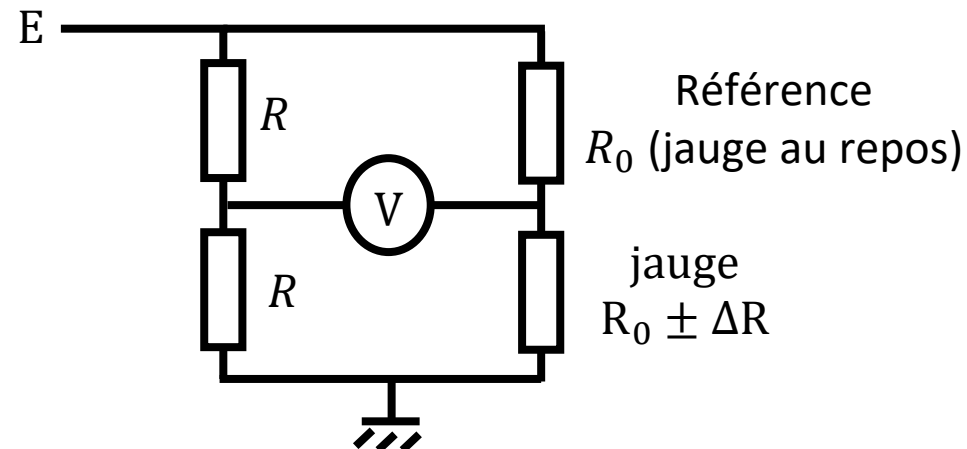
Conducteur (piste résistive  
collée sur un support en résine)

- Non déformé  $\rightarrow L = L_0$  donc  $R = R_0$
- Allongement  $\rightarrow L = L_0 + \Delta L$  donc  $R = R_0 + \Delta R$
- Contraction  $\rightarrow L = L_0 - \Delta L$  donc  $R = R_0 - \Delta R$

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \frac{\Delta L}{L_0}$$

- Pour mesurer la résistance, on génère une U image de la résistance

$\rightarrow$  Utilisation d'un pont de Wheatstone



$$V \propto K \Delta L$$

# Capteurs passifs ( 4 / 6 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### 4. Capteur de températures à résistance (ou RTD : Resistance Temperature Detector) :

- La plus répandue dans l'industrie est la Pt 100 qui possède une résistance de 100 ohms à 0°C.
- C'est une sonde en platine (PRT : Platinum Resistance Thermometer)
- Le coefficient de température est positif, il augmente quand la température augmente.
- Le coefficient de température  $\alpha$  correspond à la différence entre la résistance à 100°C et à 0°C multiplié par 100 °C :



$$\alpha = \frac{R_{100^{\circ}\text{C}} - R_{0^{\circ}\text{C}}}{R_{0^{\circ}\text{C}} \cdot 100^{\circ}\text{C}}$$

Pour la sonde Pt100 :

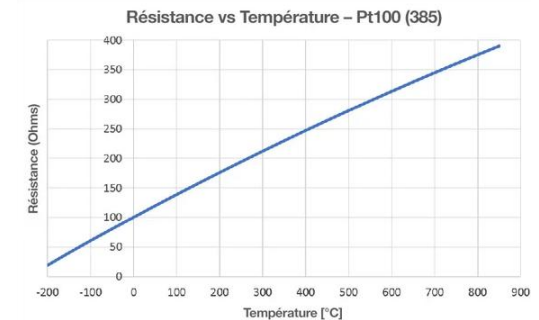
$$R_{0^{\circ}\text{C}} = 100 \, \Omega$$

$$R_{100^{\circ}\text{C}} = 138,51 \, \Omega$$

$$\alpha = 0,003851/^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 3,851 \cdot 10^{-3} \, ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Ce qui correspond à la sonde Pt100 « 385 »



$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

- Avantages :
  - Plus précises, linéaires et stables que les thermocouples.
- Inconvénient :
  - Sont plus fragile que les thermocouples.
  - Plus coûteuses
  - Temps de réponse plus long
- Tout comme pour les capteurs à jauge d'extensiométrie, on utilise un pont de Wheatstone afin de traduire R.

# Capteurs passifs ( 5 / 6 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

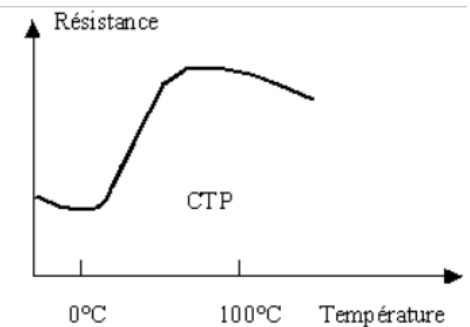
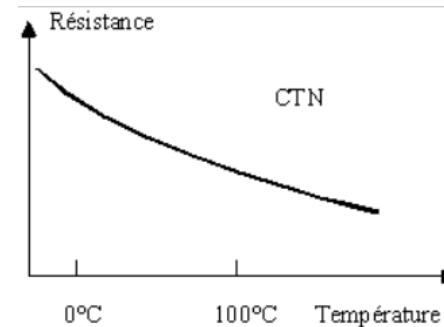
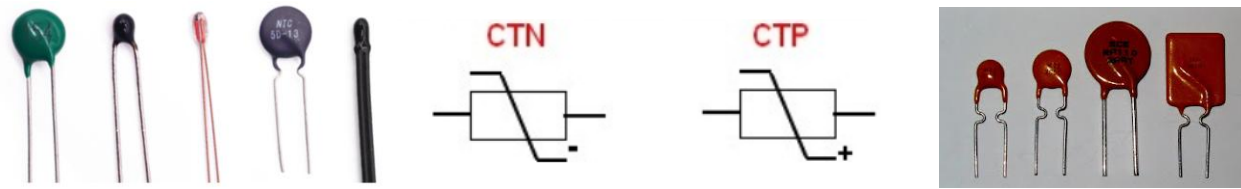
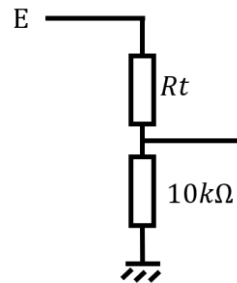
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### 5. Thermistance (résistance thermique) :

Il en existe deux types :

- CTP : Coefficient de température positif : lorsque la température augmente, la valeur ohmique augmente.
  - Utilisée comme détecteur de température (pour protéger les composants), détecteur de niveau de liquide, protection contre les surintensités (fusible réarmable)
- CTN : Coefficient de température négatif : lorsque la température augmente la valeur ohmique diminue.
  - Utilisée pour les mesures et contrôle de la température



Pour mesurer la résistance thermique :

- Pont diviseur de tension ( $R_{25^{\circ}\text{C}} = 10\text{ k}\Omega$  pour la CTN)
- Pont de Wheatstone :  $V \propto K \Delta\theta$

# Capteurs passifs ( 6 / 6 )

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs**
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux utilisés
Température Très basse température	Résistivité  Constante diélectrique	Métaux : platine, nickel, cuivre. Semi-conducteurs  Verres
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité  Perméabilité magnétique	Alliages de Nickel, Silicium dopé  Alliages ferromagnétiques
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto-résistants : Bismuth, Antimoniure d'Indium
Humidité	Résistivité  Constante diélectrique	Chlorure de Lithium  Alumine, polymères
Niveau	Constante diélectrique	Liquides isolants

D'après Les Capteurs en instrumentation industrielle, Georges Asch et coll. 6<sup>ème</sup> édition

# Capteurs composites

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

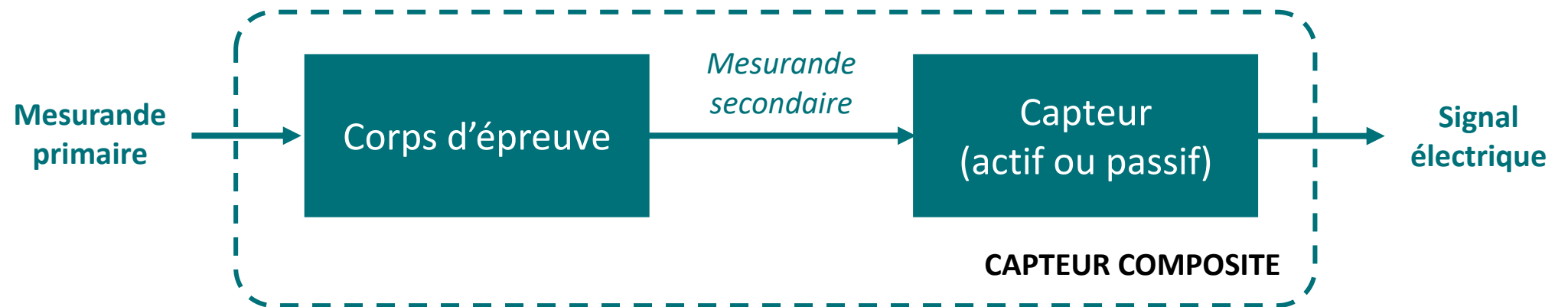
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Pour des raisons de coût ou de facilité d'exploitation, on peut être amené à utiliser un capteur, non pas sensible au mesurande mais à l'un de ses effets.

■ On parle alors de **capteurs composites**. Ces derniers sont composés :

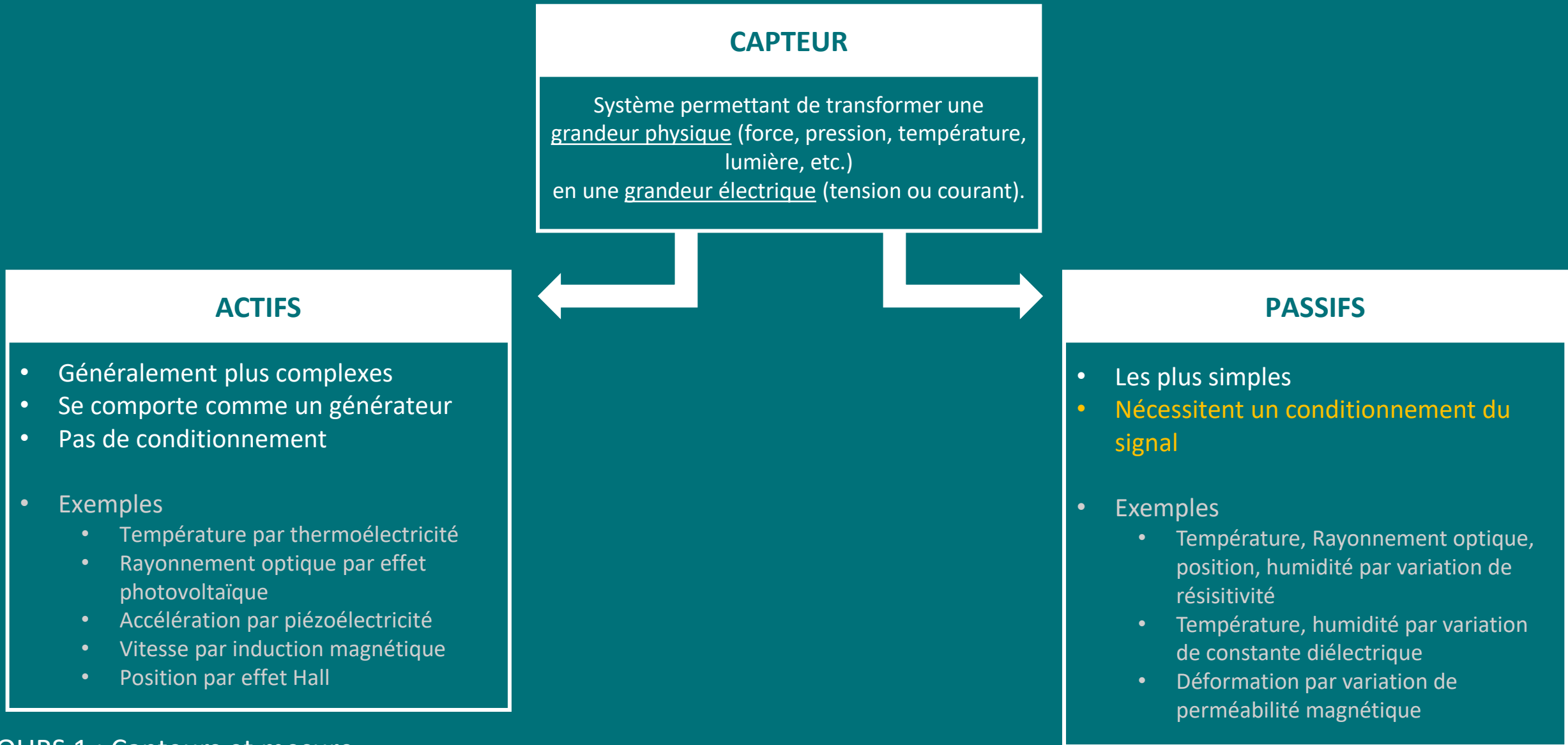
- d'un **corps d'épreuve** qui soumis au mesurande étudié assure une première traduction en une autre grandeur physique (non électrique) ;
- d'un **capteur secondaire** qui traduit la mesurande secondaire en signal électrique.



■ Exemples :

- Mesurer une traction : la traction induit une déformation mesurée à l'aide d'un capteur extensiométrique ;
- Mesure d'une pression (la membrane est le corps d'épreuve) ;
- Microphone électrodynamique (la membrane est le corps d'épreuve) ;
- Accéléromètre : la masse sismique est le corps d'épreuve qui convertit l'accélération (mesurande primaire) en une force d'inertie (mesurande secondaire), elle-même captée par un capteur piézoélectrique.

# Résumé sur les capteurs



# 3

## Conditionnement des capteurs passifs



# Conditionnement des capteurs passifs

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

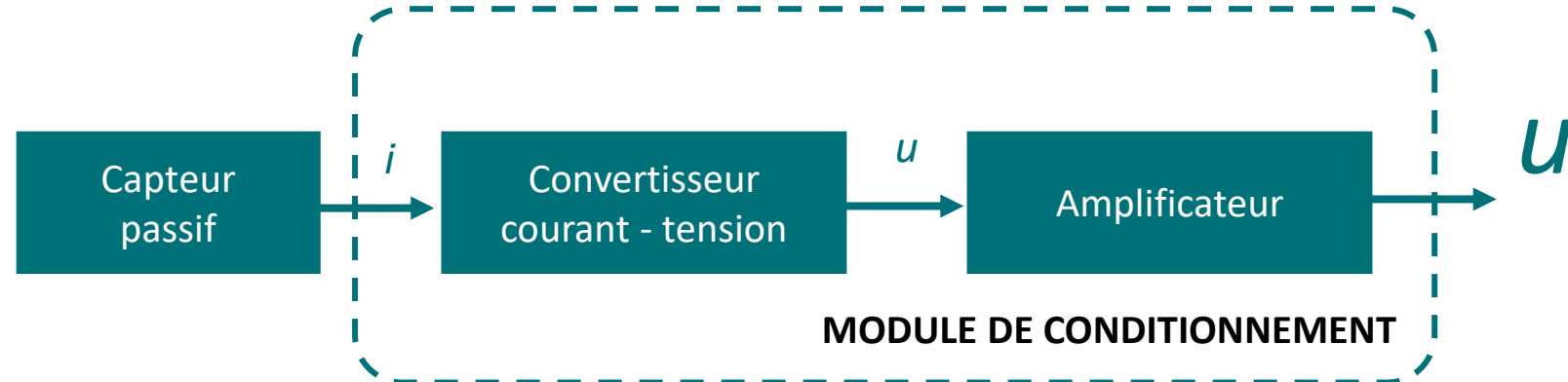
- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ L'inconvénient des capteurs passifs est que le signal résultant est bien souvent d'une **faible amplitude** et bien souvent un **courant** (capteur résistif) qu'il faut convertir en tension (le CAN travaille à partir d'une tension).

■ L'étage d'**amplification** permet d'obtenir une amplitude en tension pleine échelle pour l'étage de conversion qui va suivre de sorte à pouvoir utiliser toute l'amplitude que le convertisseur permet et donc d'avoir une meilleure précision.



■ Les montages présentés dans la section A. **Lecture directe** (lecture potentiométrique) ont pour avantage d'être simple à mettre en œuvre, mais ils ont pour défaut une forte vulnérabilité face aux parasites (bruit). Afin de réduire l'influence des parasites, on peut avoir recours à une **lecture différentielle** en utilisant un pont (qui est en fait un double potentiomètre).

# Lecture directe : convertisseur courant - tension

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

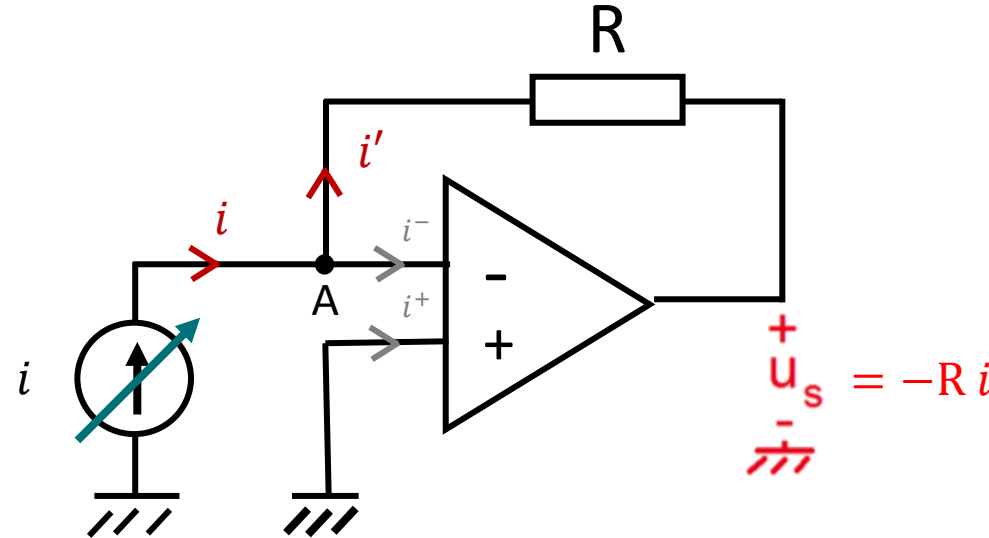
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Le convertisseur courant-tension convertit un courant (signal issu du capteur) en une tension. Il agit comme un générateur de tension commandé en courant.



### ■ Démonstration :

- AOP supposé idéal. Le courant entrant dans l'AOP étant nul ( $i^+ = i^- = 0$ ), au nœud A, on a  $i = i'$
- D'où  $u_s = -R i' = -R i$

### ■ Remarques :

- Ici, le courant  $i$  est produit par un générateur de courant parfait qui modélise le capteur parfait. Cela peut très bien être une alimentation constante (ex : 5 V) en série avec un capteur résistif.
- L'AOP a une impédance d'entrée très élevée mais l'impédance d'entrée du montage est nulle (générateur parfait).

# Lecture directe : jauge impédance - tension

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

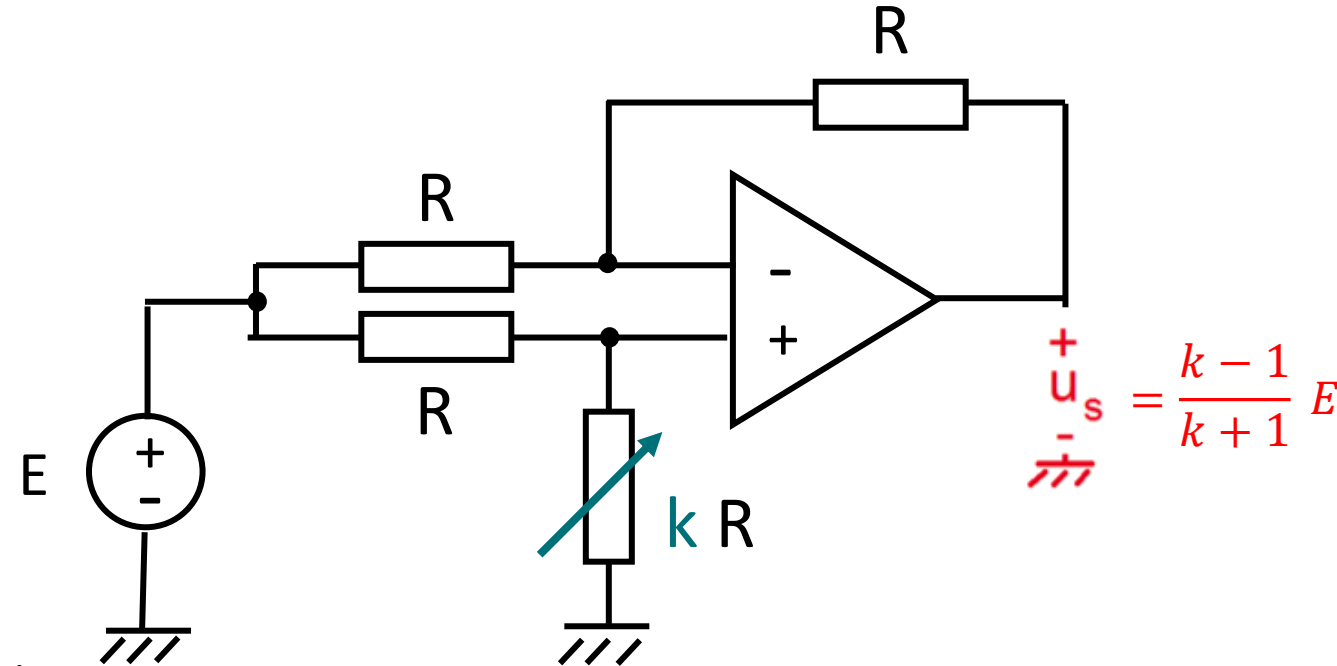
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Un autre montage classique est le générateur de tension commandé en résistance ( $k R$  modélisant le capteur) :



■ Démonstration :

- Contre-réaction sur l'entrée inverseuse  $\Rightarrow$  AOP en mode linéaire  $\Rightarrow V^+ = V^-$

- Millman :  $V^- = \frac{\frac{E}{R} + \frac{u_s}{R}}{\frac{2}{R}} = \frac{E + u_s}{2}$

- Pont diviseur de tension :  $V^+ = E \frac{k R}{R + k R} = E \frac{k}{1 + k}$
- $$\left. \begin{array}{l} \frac{E + u_s}{2} = E \frac{k}{1 + k} \\ \Leftrightarrow 2kE = (1 + k)(E + u_s) \\ \Leftrightarrow E(k - 1) = (k + 1)u_s \\ \Leftrightarrow u_s = \frac{k - 1}{k + 1} E \end{array} \right\}$$

# Lecture différentielle : pont de Wheatstone

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

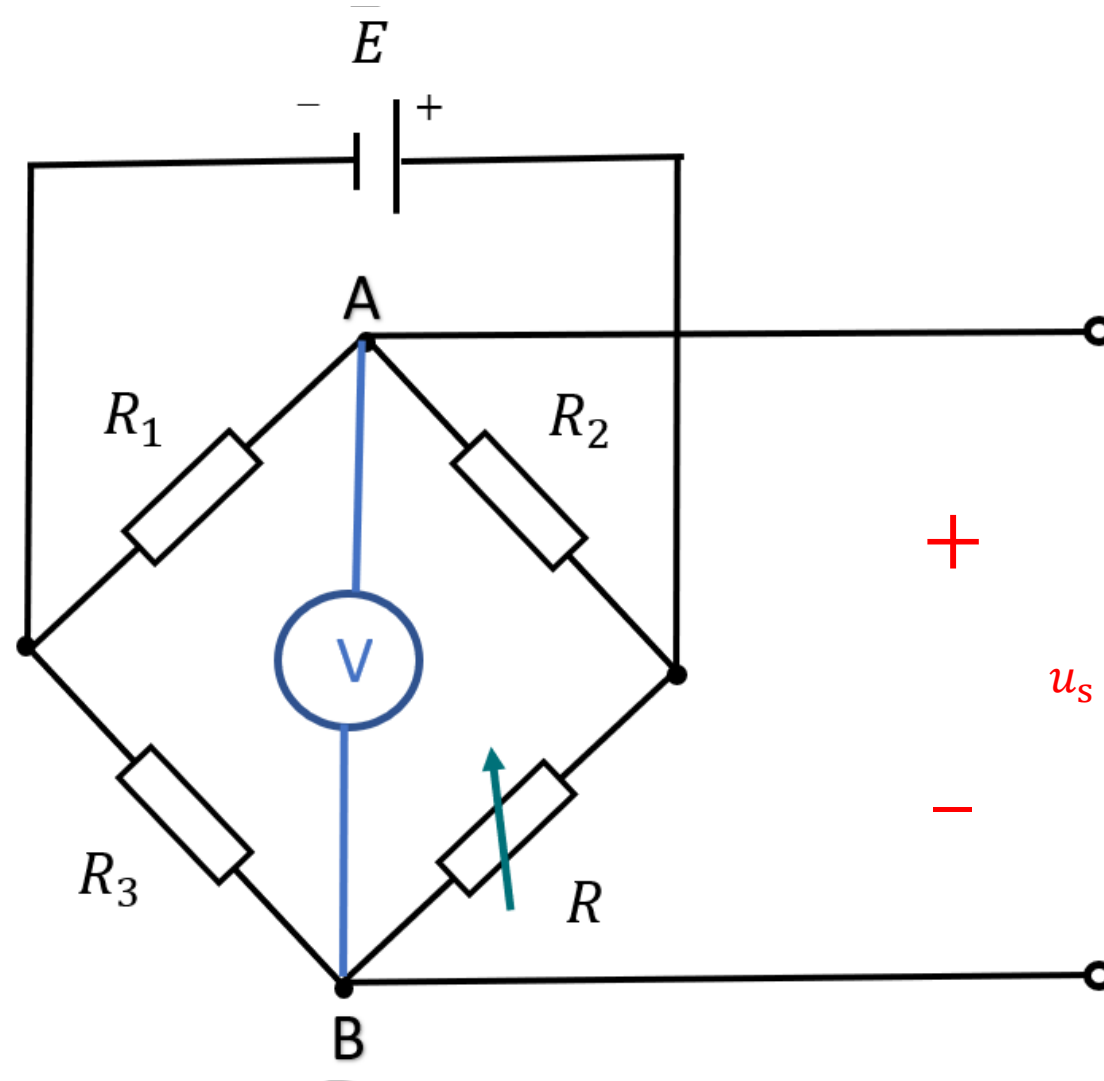
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Le **pont de Wheatstone** permet de mesurer une résistance avec une grande précision :



$$V_A = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

$$V_B = \frac{R_3}{R_3 + R} E$$

$$u_s = E \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R} \right]$$

# Amplificateur inverseur

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

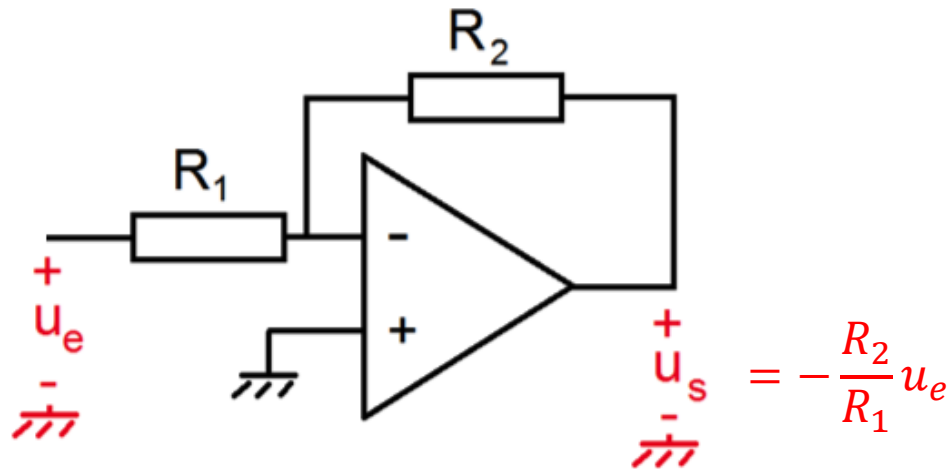
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Comme son nom l'indique, l'amplificateur inverseur permet d'amplifier un signal tout en l'inversant (multiplication par -1)



■ Démonstration :

- Contre-réaction sur l'entrée inverseuse donc  $V^+ = V^- = 0$
  - Le courant entrant dans l'AOP étant nul ( $i^+ = i^- = 0$ ) donc le courant  $i_1$  traversant  $R_1$  est égal au courant  $i_2$  traversant  $R_2$  :  $i_1 = i_2$  **(1)**
  - $i_1 = \frac{u_e - V^-}{R_1}$  **(2)**
  - $i_2 = \frac{V^- - u_s}{R_2} = \frac{-u_s}{R_2}$  **(3)**
- } Par substitution de **(2)** et **(3)** dans **(1)**, on obtient.  $u_s = -\frac{R_2}{R_1} u_e$

■ Remarques :

- Amplification si  $R_1 < R_2$
- Atténuation si  $R_1 > R_2$

# Amplificateur non-inverseur

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

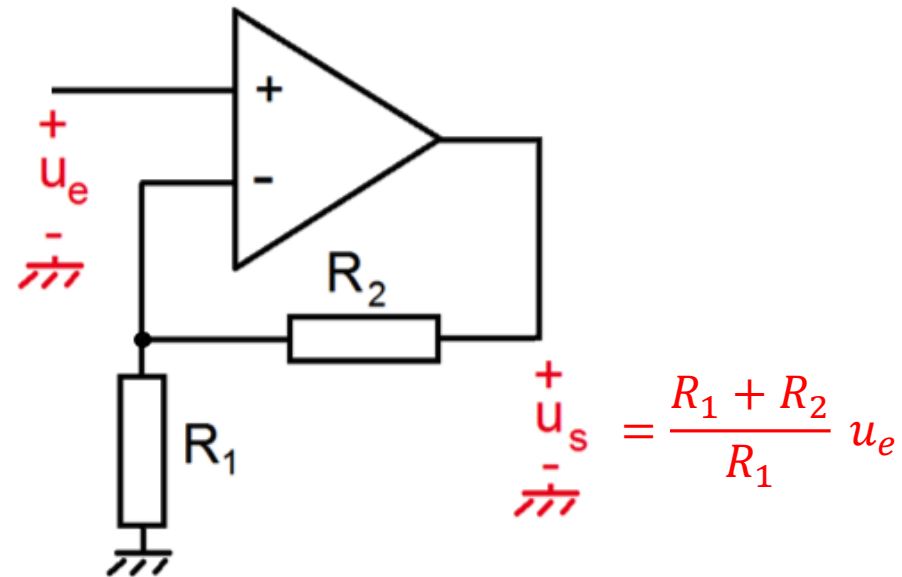
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

- L'amplificateur non-inverseur permet d'amplifier un signal sans l'inverser :



- Démonstration :

- Contre-réaction sur l'entrée inverseuse donc  $V^+ = V^-$
- Le courant entrant dans l'AOP étant nul ( $i^+ = i^- = 0$ ) donc le courant  $i_1$  traversant  $R_1$  est donc égal à  $i_2$  traversant  $R_2$  :  $i_1 = i_2$  **(1)**
- $i_1 = \frac{u_e}{R_1}$  **(2)**
- $i_2 = \frac{u_s - u_e}{R_2}$  **(3)**
- Par substitution de **(2)** et **(3)** dans **(1)**, on obtient  $u_s = u_e \frac{R_2}{R_1} + u_e$
- D'où  $u_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_e$

- Remarque : atténuation impossible (gain toujours  $> 1$ )

# Amplificateurs inverseur et non-inverseur

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

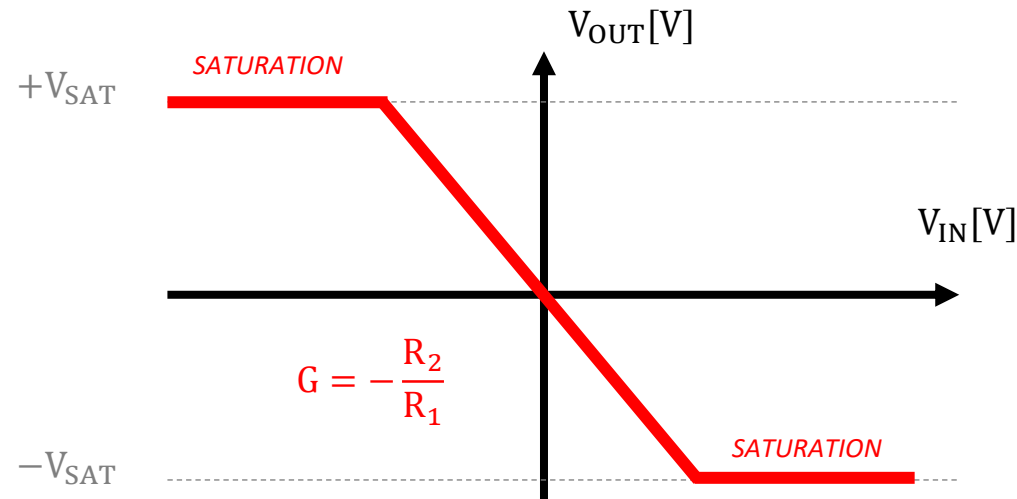
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

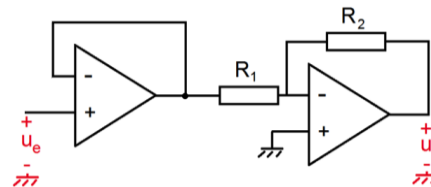
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

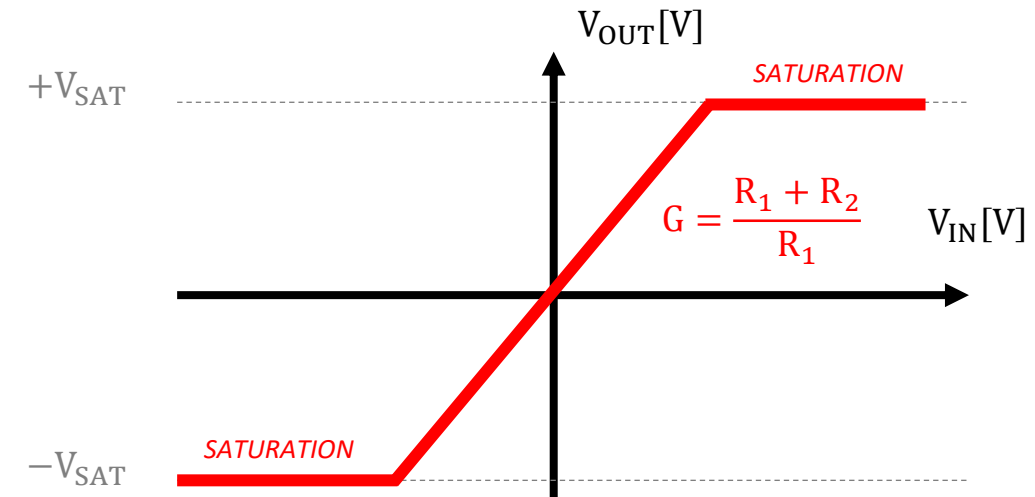
### Amplificateur inverseur



- $V_{OUT}$  de signe opposé à  $V_{IN}$
- Atténuateur ou amplificateur
- $Z_{IN}$  varie avec  $R_1$
- ➔ Solution : ajouter un suiveur



### Amplificateur non-inverseur



- $V_{IN}$  et  $V_{OUT}$  sont de même signe
- Amplificateur uniquement
- Grande impédance d'entrée

# Amplificateur différentiel

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

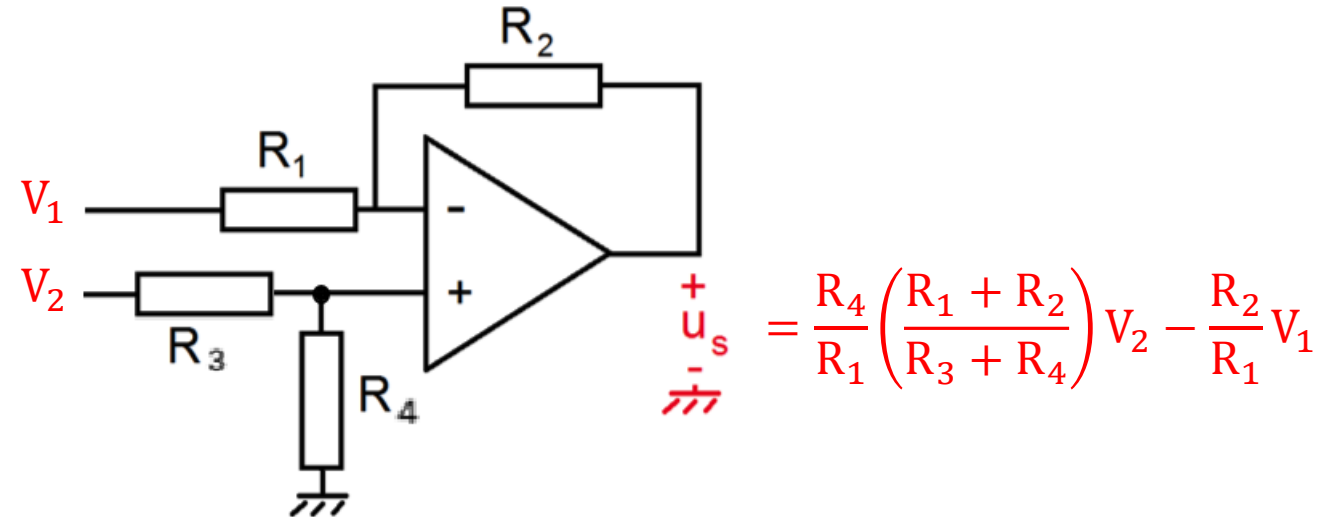
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### ■ L'intérêt de l'amplification différentielle est de



### ■ Démonstration

- contre-réaction sur l'entrée inverseuse donc  $V^+ = V^- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$  **(1)**
- Le courant entrant dans l'AOP étant nul ( $i^+ = i^- = 0$ ) donc le courant  $i_1$  traversant  $R_1$  est donc égal au courant  $i_2$  traversant  $R_2$  :  $i_1 = i_2 = i$
- Or,  $i = \frac{V_1 - V^-}{R_1} = \frac{V^- - u_s}{R_2}$  **(2)**
- Par substitution de **(1)** dans **(2)** et après calcul, on obtient  $V_{OUT} = \frac{R_4}{R_1} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1$

### ■ Remarques

- Si  $R_1 = R_3$  et  $R_2 = R_4$ ,  $V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$
- Atténuation si  $R_1 > R_2$



# Amplificateur d'instrumentation

## I. Chaîne d'acquisition

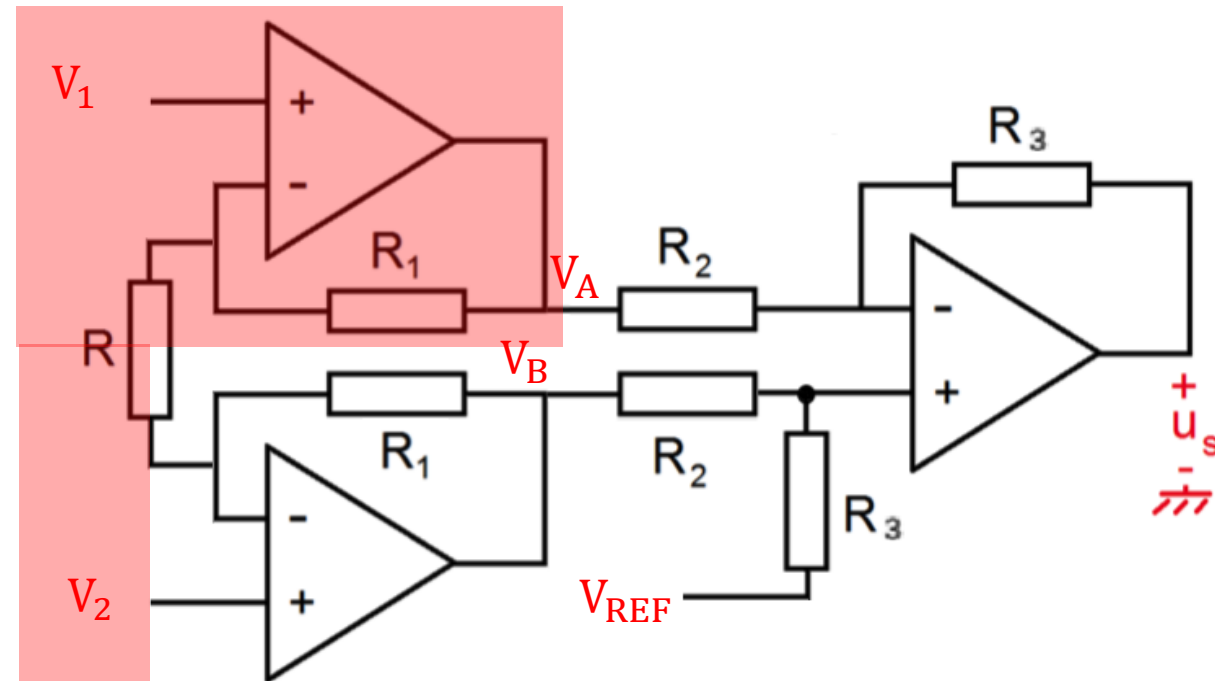
- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel**



On a une rétroaction sur l'entrée inverseuse donc  $V^+ = V^- = V_1$

$$\text{D'après le Th. De Millman, } V^- = \frac{\frac{V_A + V_2}{\frac{R_1}{R_1} + \frac{1}{R}}}{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R}}} = \frac{RV_A + R_1 V_2}{R + R_1}$$

$$\text{D'où } V_1(R + R_1) = RV_A + R_1 V_2$$

$$\text{Finalement, } V_A = \frac{R + R_1}{R} V_1 - \frac{R_1}{R} V_2$$

$$\text{Et donc } \boxed{V_A = \left(1 + \frac{R_1}{R}\right) V_1 - \frac{R_1}{R} V_2} \quad (1)$$

# Amplificateur d'instrumentation

## I. Chaîne d'acquisition

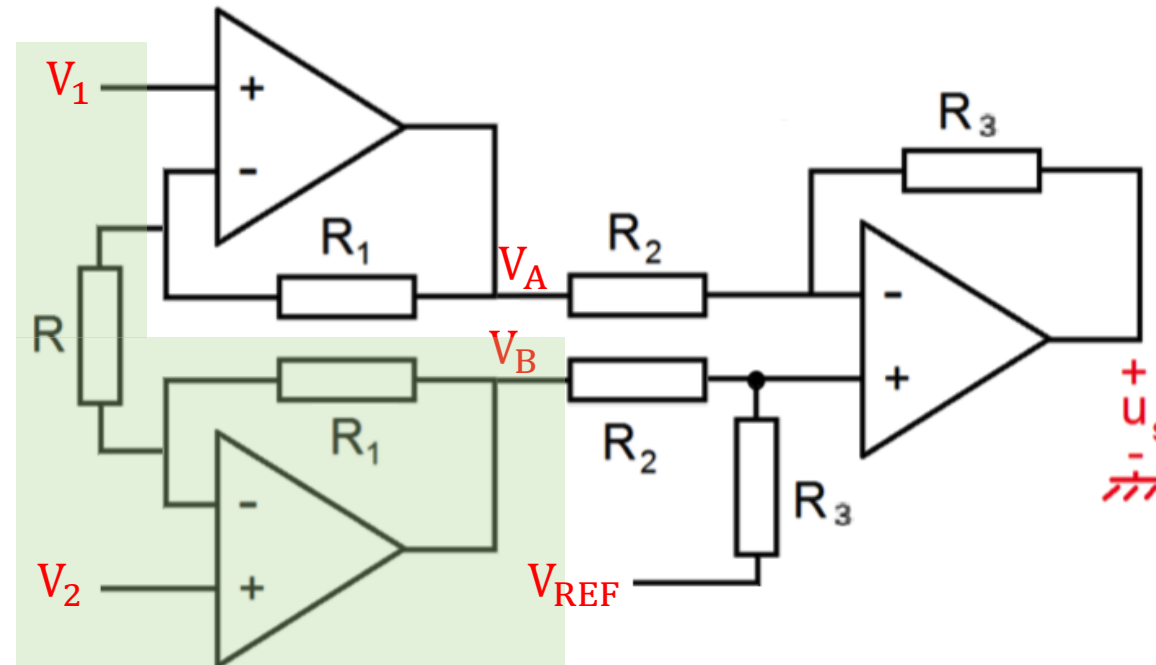
- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel**



On a une rétroaction sur l'entrée inverseuse donc  $V^+ = V^- = V_2$

D'après le Th. De Millman,  $V^- = \frac{\frac{V_1 + V_B}{\frac{R}{R_1} + \frac{1}{R}}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_1 V_1 + R V_B}{R + R_1}$

D'où  $V_2(R + R_1) = R_1 V_1 + R V_B$

Finalement,  $V_B = \frac{R + R_1}{R} V_2 - \frac{R_1}{R} V_1$

Et donc  $V_B = \left(1 + \frac{R_1}{R}\right) V_2 - \frac{R_1}{R} V_1$  (2)

# Amplificateur d'instrumentation

## I. Chaîne d'acquisition

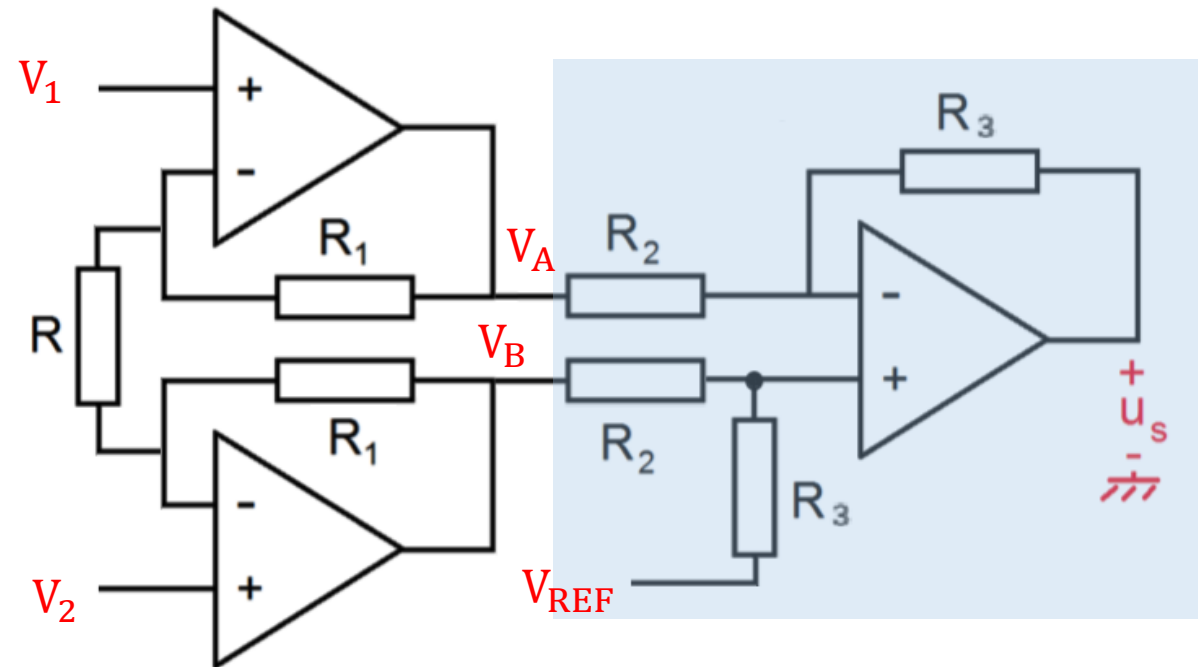
- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel**



On a une rétroaction sur l'entrée inverseuse donc  $V^+ = V^-$  (3)

$$\text{D'après le Th. De Millman, } V^- = \frac{\frac{V_{OUT}}{R_3} + \frac{V_A}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{V_{OUT}R_2 + V_A R_3}{R_2 + R_3} \quad (4)$$

$$\text{et } V^+ = \frac{\frac{V_{REF}}{R_3} + \frac{V_B}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{V_{REF}R_2 + V_B R_3}{R_2 + R_3} \quad (5)$$

Par substitution de (4) et de (5) dans (3), on a  $V_{OUT}R_2 + V_A R_3 = V_{REF}R_2 + V_B R_3$

$$\Leftrightarrow \boxed{V_{OUT} = V_{REF} + \frac{R_3}{R_2} (V_B - V_A)} \quad (6)$$

# Amplificateur d'instrumentation

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

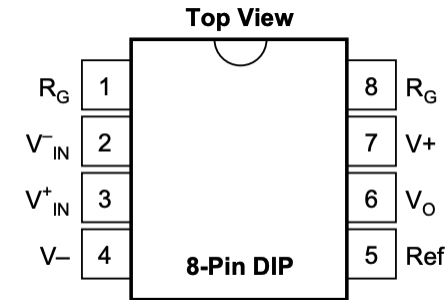
## III. Conditionnement

- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

■ Par substitution de **(1)** et de **(2)** dans **(6)**, on a  $V_{OUT} = V_{REF} + \frac{R_3}{R_2} \left[ \left(1 + \frac{R_1}{R}\right) V_2 - \frac{R_1}{R} V_1 - \left(1 + \frac{R_1}{R}\right) V_1 + \frac{R_1}{R} V_2 \right]$

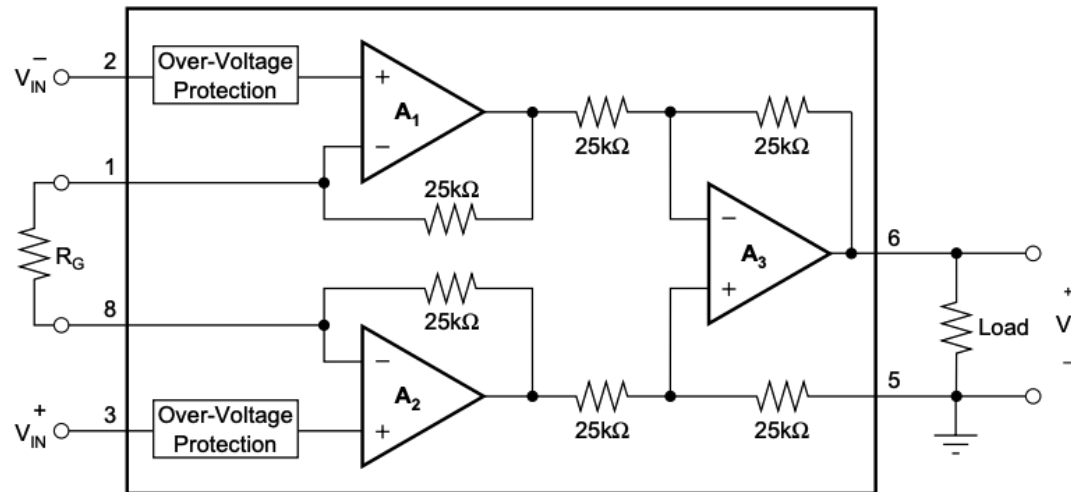
$$\Leftrightarrow V_{OUT} = V_{REF} + \frac{R_3}{R_2} \left[ \left(1 + \frac{2R_1}{R}\right) V_2 - \left(1 + \frac{2R_1}{R}\right) V_1 \right]$$

$$\Leftrightarrow V_{OUT} = V_{REF} + \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R}\right) [V_2 - V_1]$$



DESIRED GAIN	R <sub>G</sub> (Ω)	NEAREST 1% R <sub>G</sub> (Ω)
1	No Connection	No Connection
2	50.00k	49.9k
5	12.50k	12.4k
10	5.556k	5.62k
20	2.632k	2.61k
50	1.02k	1.02k
100	505.1	511
200	251.3	249
500	100.2	100
1000	50.05	49.9
2000	25.01	24.9
5000	10.00	10
10000	5.001	4.99

### EXEMPLE : INA114



$$\blacksquare V_{OUT} = V_{REF} + \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R}\right) (V_B - V_A)$$

Ici,  $V_{REF} = 0 \text{ V}$  et  $G = \frac{25k}{25k} \left(1 + \frac{2 \cdot 25k}{R}\right) \Rightarrow G = 1 + \frac{50k}{R}$

■ Remarque : en l'absence de résistance  $R_G$ ,  $R \sim \infty$  et  $G = 1$

# Amplificateur d'instrumentation

## I. Chaîne d'acquisition

- A. Capteur
- B. Conditionnement
- C. Filtre anti-repliement
- D. Échantillonneur
- E. Convertisseur A-N

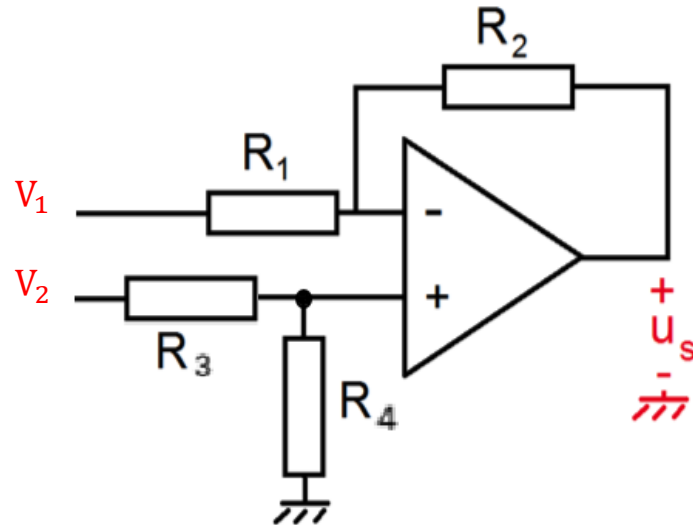
## II. Les capteurs

- A. Types et familles
- B. Paramètres
- C. Capteurs actifs
- D. Capteurs passifs
- E. Capteurs composites

## III. Conditionnement

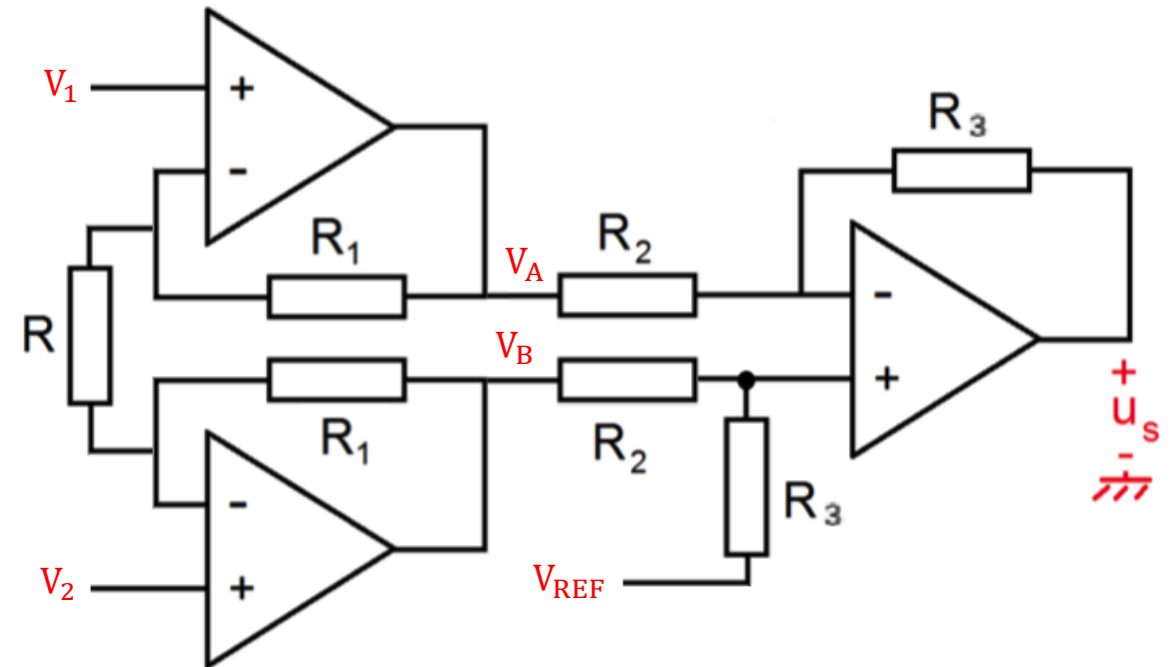
- A. Lecture directe
- B. Lecture différentielle
- C. Amplificateur simple
- D. Ampli. différentiel

### Amplificateur différentiel



- Gain difficilement modifiable (deux paires de résistances à changer)
- Sources de faible impédance
- Acceptable pour des entrées à faible impédance

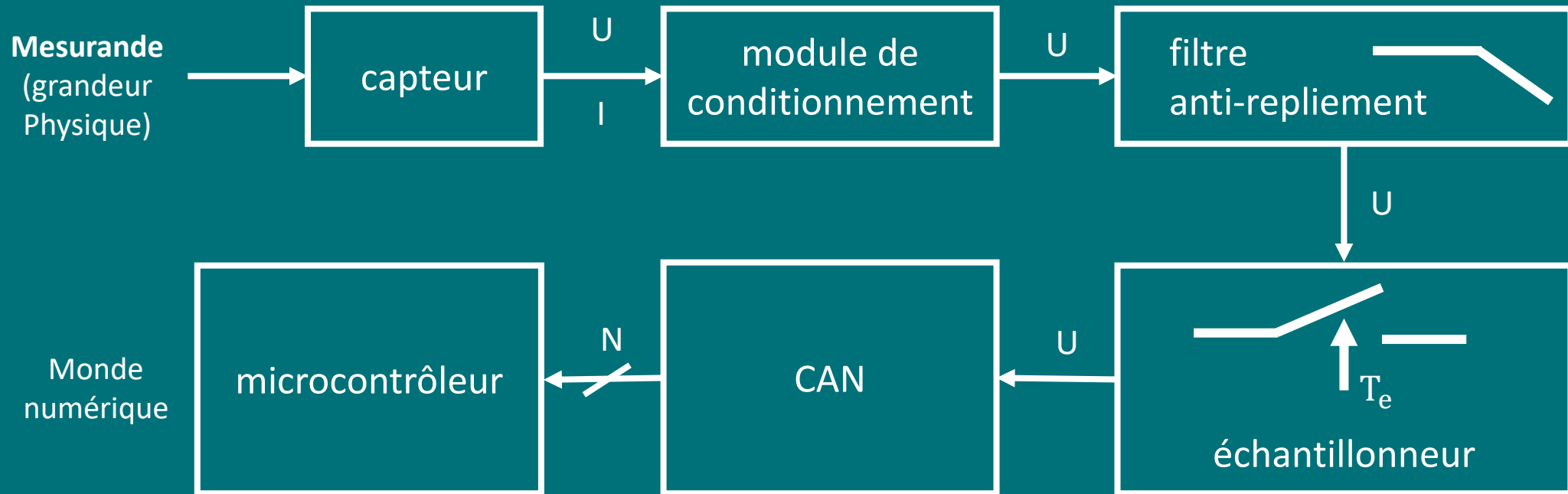
### Amplificateur d'instrumentation



- Les chemins des deux signaux d'entrée sont symétriques
- Gain facilement modifiable : une seule résistance

# Résumé du cours 1

## I. Chaîne d'acquisition de données



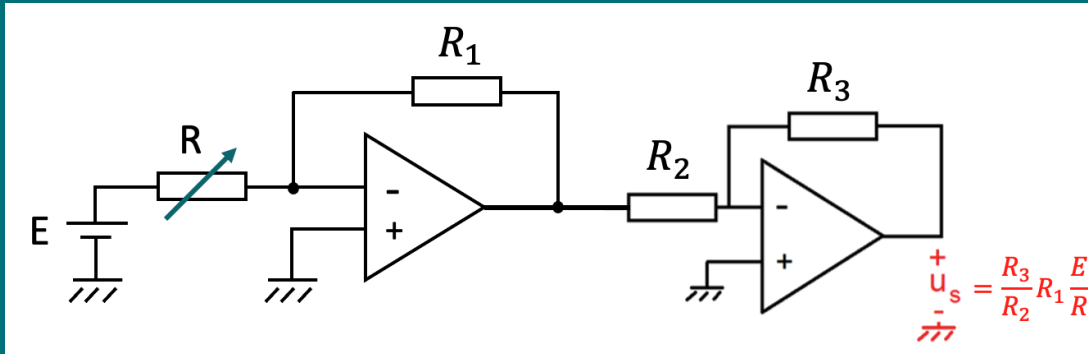
## II. Les capteurs

- Capteurs actifs
- Capteurs passifs
- Capteurs composites

# Résumé du cours 1

## III. Conditionnement des capteurs passifs

Lecture directe  
et amplification



Lecture différentielle  
et amplification

