

# CM2 : reformulation capteurs conditionneurs

Davide Bucci

[davide.bucci@grenoble-inp.fr](mailto:davide.bucci@grenoble-inp.fr)

# Présentations TD1

## Travail de groupe, communication

- Répartition du travail
- Parlez fort !
- Pas mains dans les poches
- Parfois manque de coordination
- **Allez au fond de la question**
- Donnez des ordres de grandeur
- Analyse des circuits
- Attention aux conventions

## Format transparents

- Timing plutôt bien respecté
- Evitez les phrases!
- Polices trop petites
- Ecrivez noms sur premier transparent
- Numérotez les transparents
- Schémas électriques (FidoCadJ)

# Pour les absent.e.s

- Si absence **justifiée**

Note blanche

- Si absence **non justifiée**

Contactez-nous :

PI1 : [davide.bucci@grenoble-inp.fr](mailto:davide.bucci@grenoble-inp.fr)

PI2 : [nathalie.mathieu@grenoble-inp.fr](mailto:nathalie.mathieu@grenoble-inp.fr)

PI3 : [davide.bucci@grenoble-inp.fr](mailto:davide.bucci@grenoble-inp.fr)

Rapport 2-3 pages

# Compétences

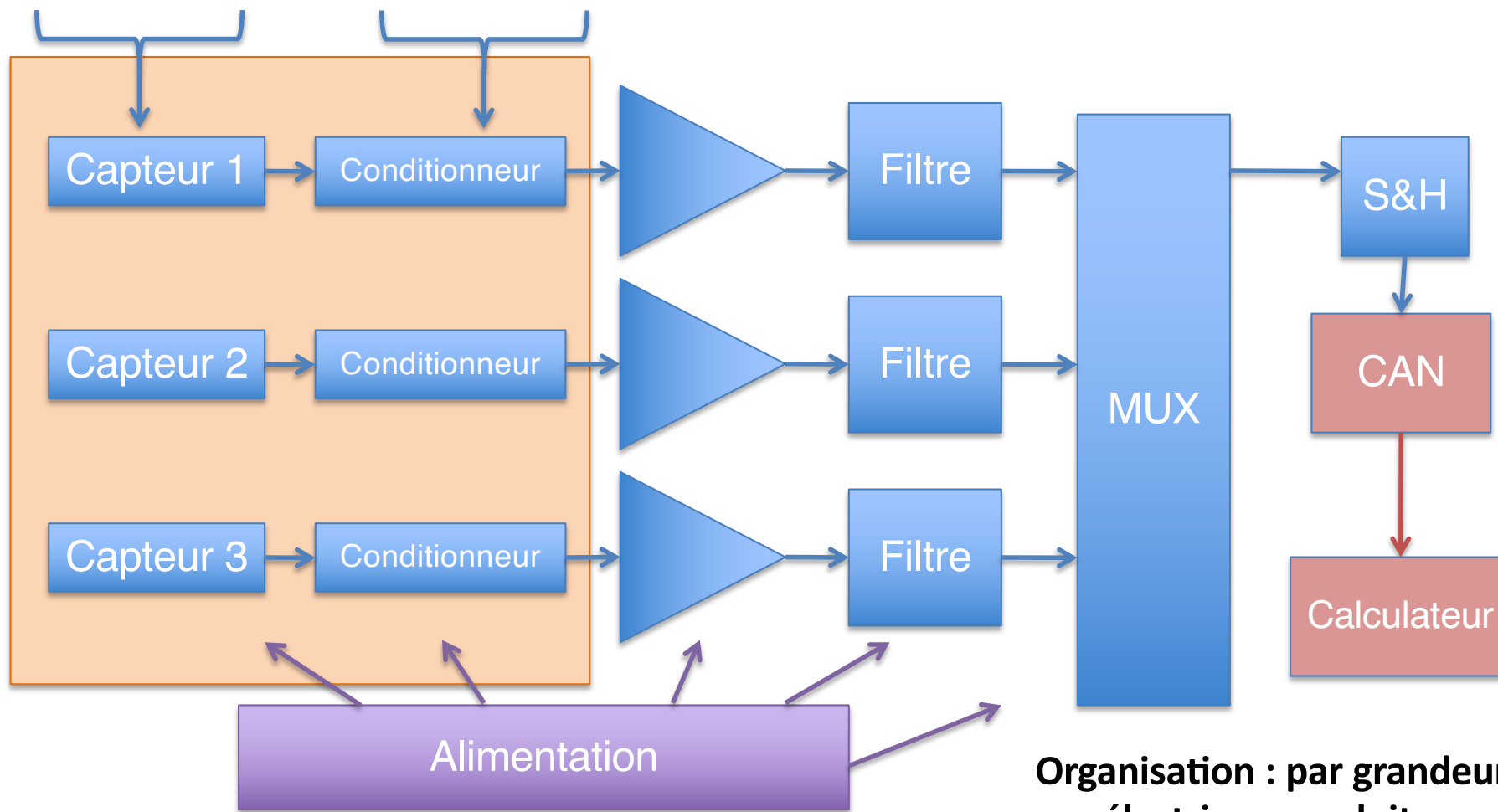
- **Concevoir ou réaliser des solutions d'ingénierie, permettant de répondre à un cahier de charges**
  - Tout votre travail technique
- **Coopérer dans une équipe OU en mode projet**
  - Comment s'organiser ?
  - Comment motiver les personnes ?
  - Comment gérer absences ?
- **Piloter les transitions technologiques, environnementales, sociétales**
  - Approche « low tech » : utile, accessible, durable
  - Appropriiez-vous de la technologie autour de vous

# Et maintenant ?

- **On fait un point !**
  - Organisation classique d'une chaîne de mesure
  - Capteurs vs conditionneurs
  - Classes de capteurs
  - Exemples et problèmes typiques
- **Classes de capteurs**
  1. Générateurs de f.e.m.
  2. Générateurs de courant
  3. Résistifs
  4. Générateurs de charge

# De quoi parle-t-on ?

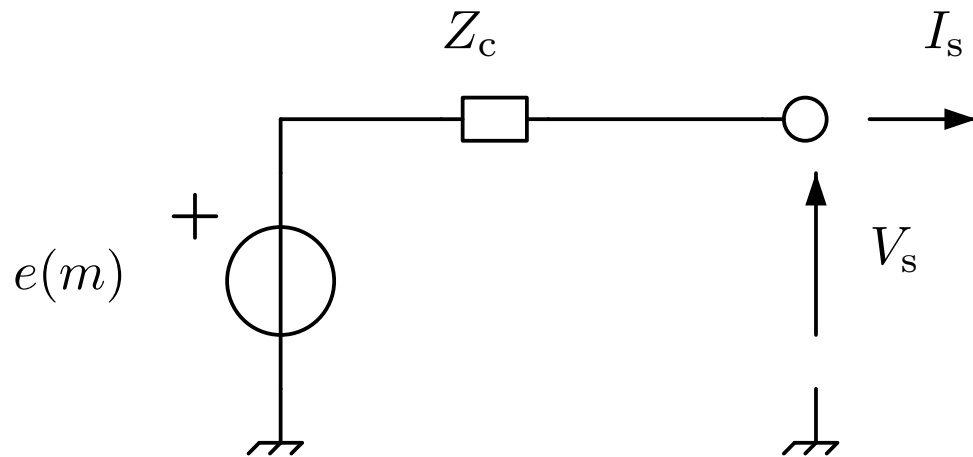
Mesurande -> grandeur électrique -> tension



**Organisation : par grandeur électrique produite**

# Phelma 1 - Capteurs générateurs de f.e.m

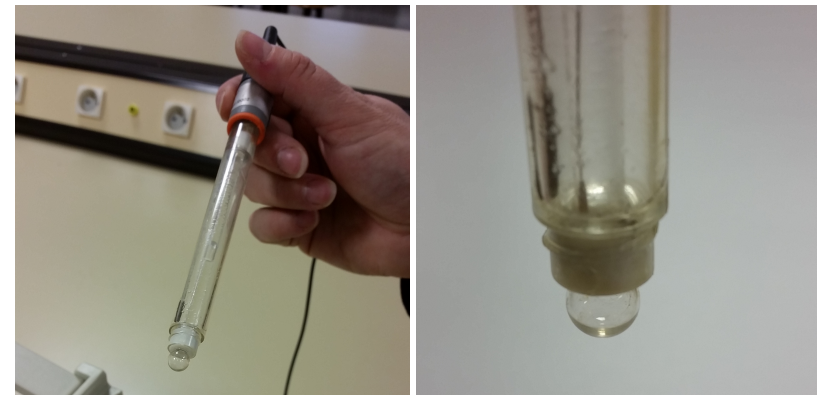
- **Modèle**



Attention aux non-linéarités !

- Entre le mesurande  $m$  et  $e(m)$
- Entre  $V_s$  et  $I_s$

- **Exemple : Sonde pH**



Valeurs typiques

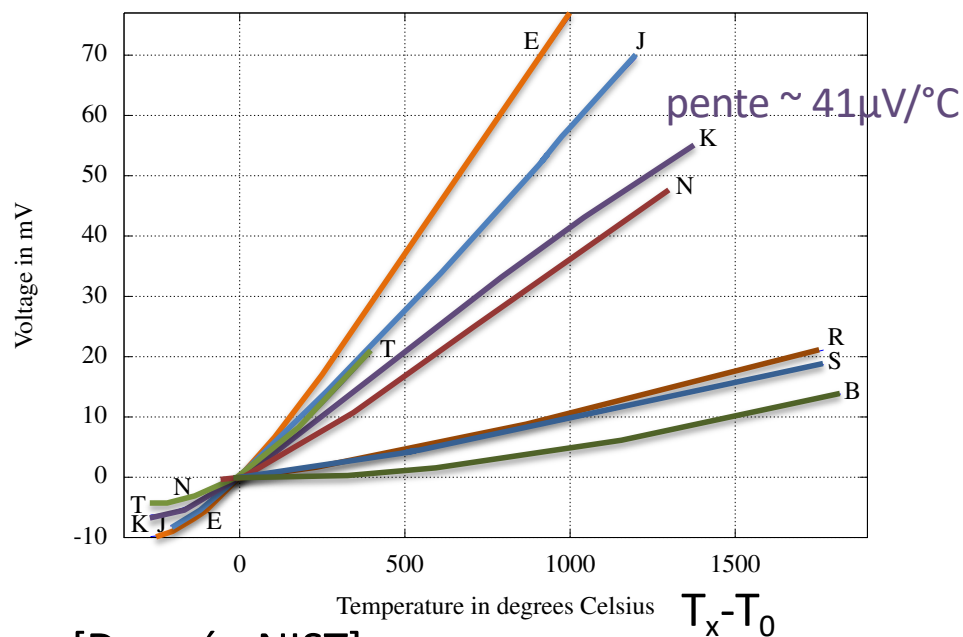
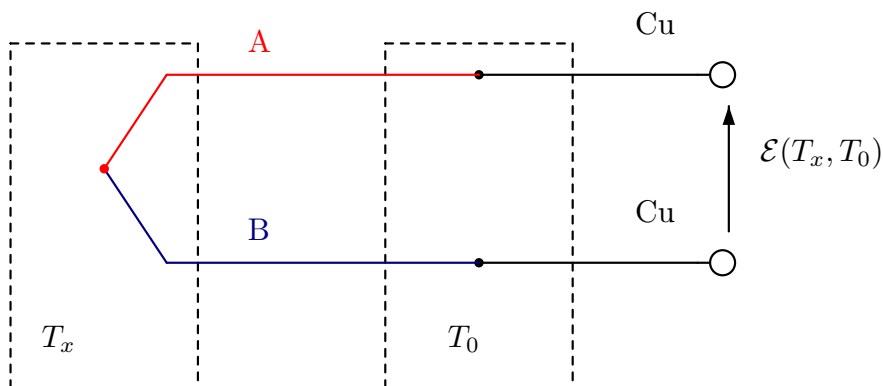
-59mV/pH à 25°C

-0,2mV/pH/°C

$|Z_c| < 1 \text{ M}\Omega$  à 25°C

[Campbell sci. CSIM-11]

# Exemple: thermocouples



[Donnée NIST]

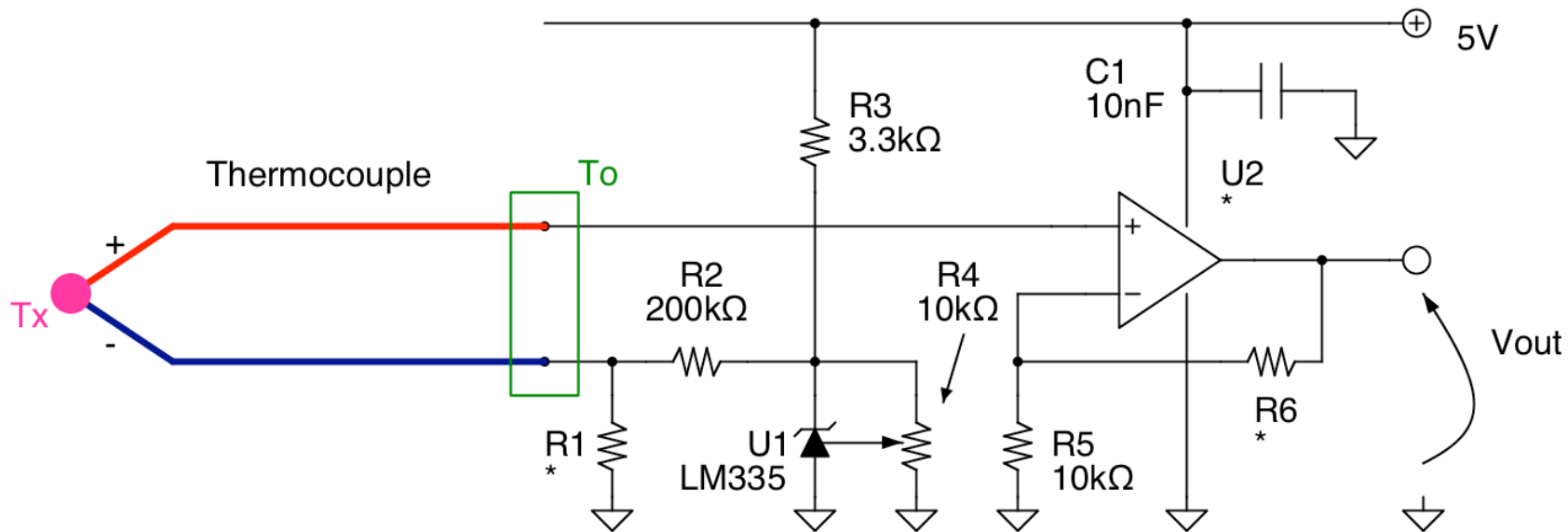
- **Effet Seebeck**

- Mesure  $T_x - T_0$
- « Compensation soudure froide »
- Très résistantes
- Temp.  $T_0$  pas extrême
- Temp.  $T_x$  extrême

- E Chromel (nickel-chrome)/Constantan (cuivre-nickel)
- K Chromel (nickel-chrome)/Alumel (aluminium-nickel)
- J Fer/Constantan
- S Platine-rhodium (10%)/Platine
- R Platine-rhodium (13%)/Platine
- B Platine-rhodium (30%)/Platine-rhodium (6%)
- N Nicrosil (nickel-chrome-silicium)/Nisil (nickel-silicium)
- T Cuivre/Constantan

# Compens. soudure froide

BUT : avoir une tension  $V_{out}$  qui dépend **uniquement** de Tx  
 Beaucoup de solutions possibles, un exemple :

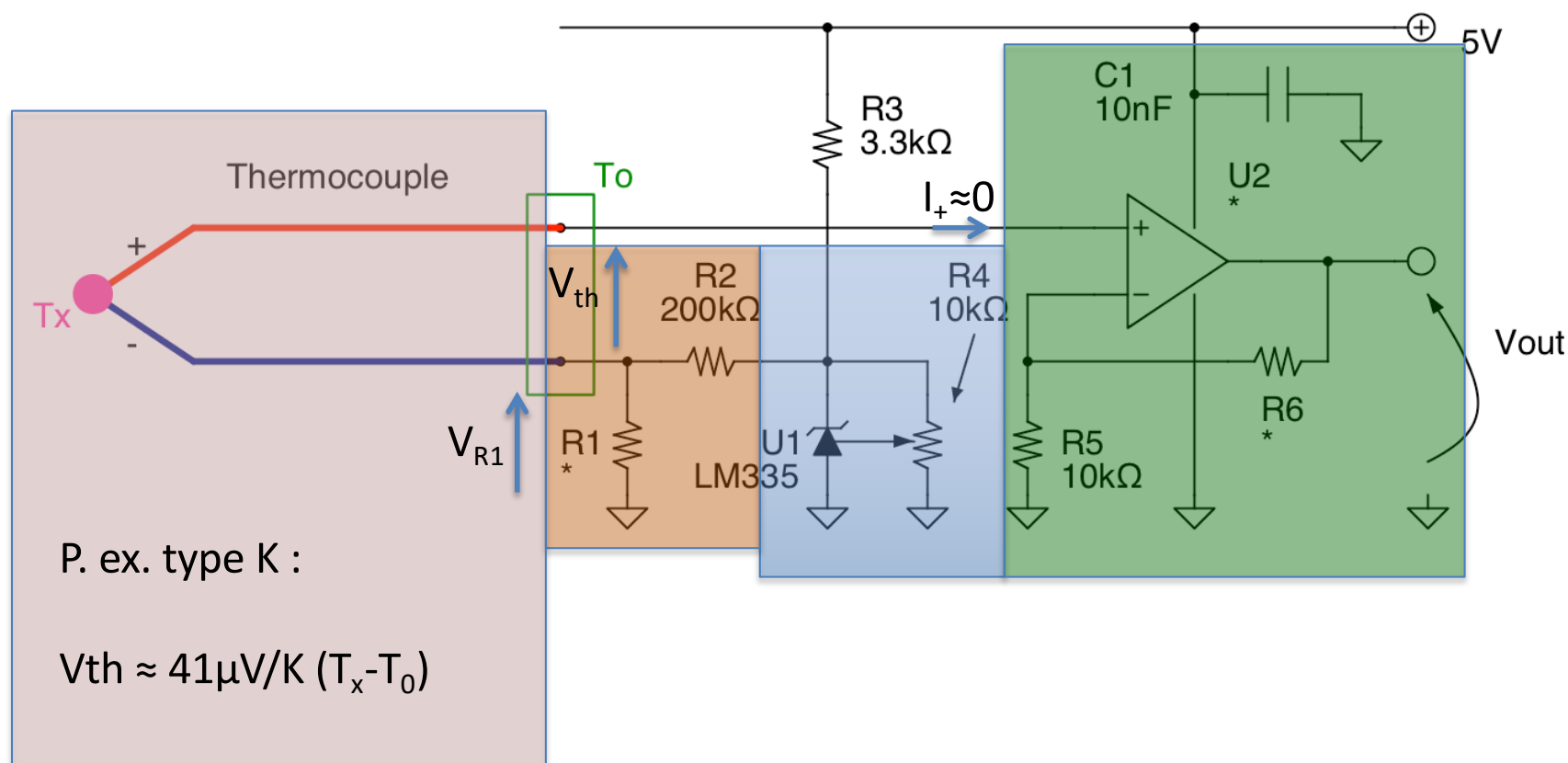


Première règle de l'analyse des circuits : **Pas de panique !**

*...mais par contre il faut la faire.*

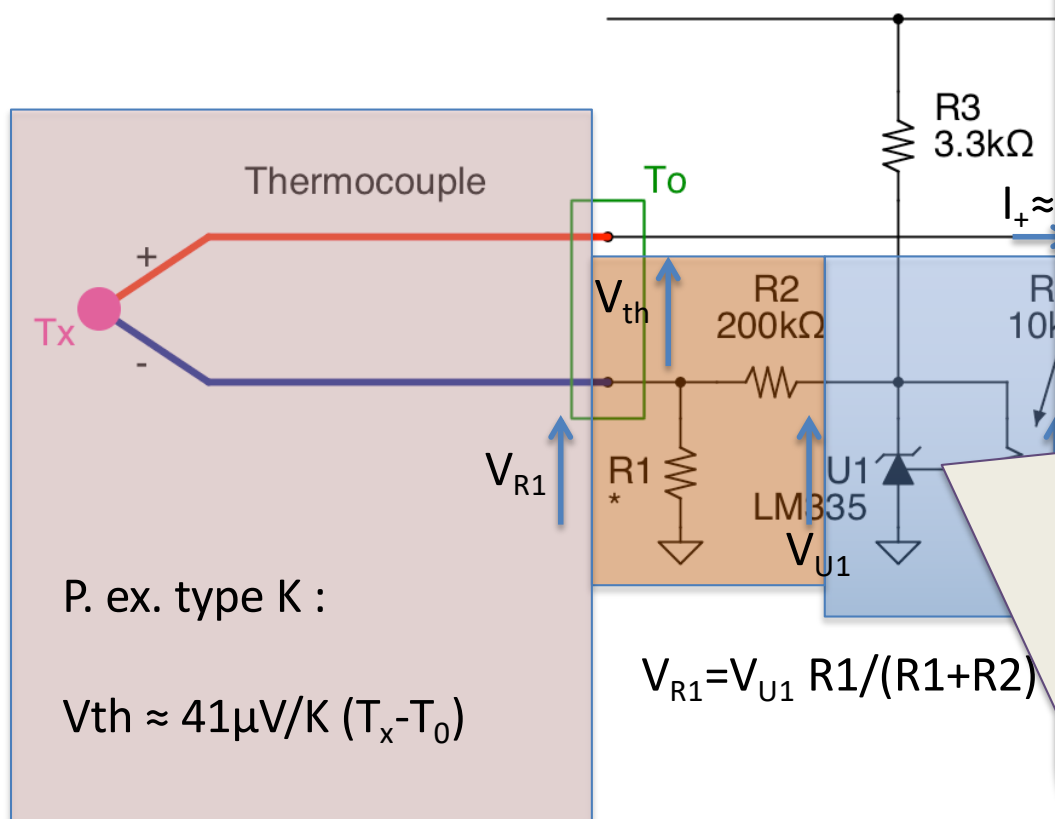
# Compens. soudure froide

BUT: avoir une tension  $V_{out}$  qui dépend **uniquement** de  $T_x$   
 Beaucoup de solutions possibles, un exemple :



# Compens. soudure froide

BUT: avoir une tension  $V_{out}$  qui dépend **uniquement** de  $T_x$   
 Beaucoup de solutions possibles, u



LM135, LM135A, LM235, LM235A, LM335, LM335A  
 SNIS160E - MAY 1999 - REVISED FEBRUARY 2015

## LMx35, LMx35A Precision Temperature Sensors

### 1 Features

- Directly Calibrated to the Kelvin Temperature Scale
- 1°C Initial Accuracy Available
- Operates from 400  $\mu\text{A}$  to 5 mA
- Less than 1- $\Omega$  Dynamic Impedance
- Easily Calibrated
- Wide Operating Temperature Range
- 200°C Overrange
- Low Cost

### 2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

### 3 Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at 10 mV/°K. With less than 1- $\Omega$  dynamic impedance, the device operates over a current range of 400  $\mu\text{A}$  to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C, the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to 150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry are especially easy.

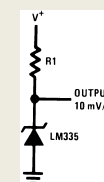
The LM135 operates over a -55°C to 150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to 125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to 100°C. The LMx35 devices are available packaged in hermetic TO transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

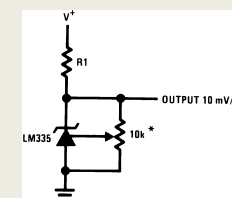
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM135	TO-46 (3)	4.699 mm × 4.699 mm
LM135A	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
LM235	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
LM235A	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
LM335	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
LM335A	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Basic Temperature Sensor Simplified Schematic



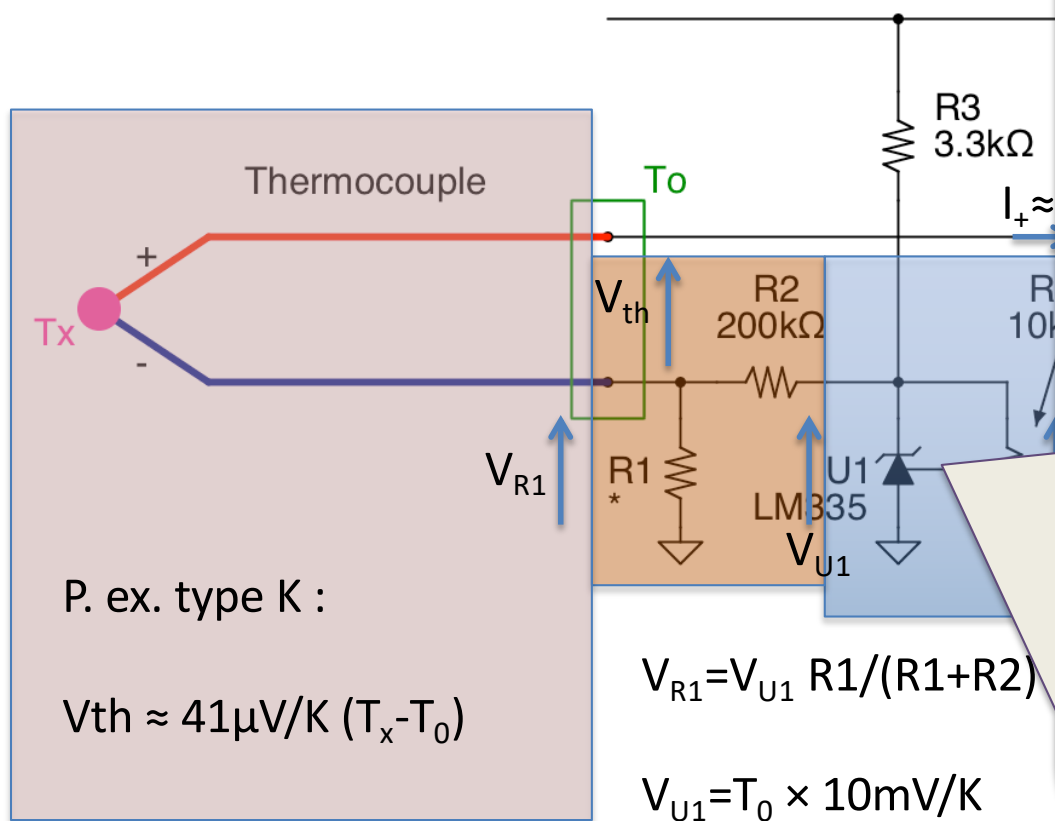
#### Calibrated Sensor



[Datasheet LM135-LM335]

# Compens. soudure froide

BUT: avoir une tension  $V_{out}$  qui dépend **uniquement** de  $T_x$   
 Beaucoup de solutions possibles, u



TEXAS  
INSTRUMENTS

LM135, LM135A, LM235, LM235A, LM335, LM335A  
 SNIS160E - MAY 1999 - REVISED FEBRUARY 2015

## LMx35, LMx35A Precision Temperature Sensors

### 1 Features

- Directly Calibrated to the Kelvin Temperature Scale
- 1°C Initial Accuracy Available
- Operates from 400  $\mu\text{A}$  to 5 mA
- Less than 1- $\Omega$  Dynamic Impedance
- Easily Calibrated
- Wide Operating Temperature Range
- 200°C Overrange
- Low Cost

### 3 Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at 10 mV/°K. With less than 1- $\Omega$  dynamic impedance, the device operates over a current range of 400  $\mu\text{A}$  to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C, the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to 150°C

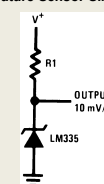
The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at 10 mV/°K. With less than 1- $\Omega$  dynamic impedance,

### Device Information<sup>(1)</sup>

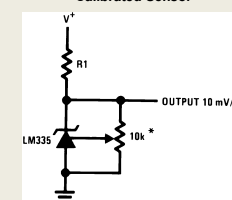
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM135		
LM135A	TO-46 (3)	4.699 mm × 4.699 mm
LM235		
LM235A	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
LM335		
LM335A	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

### Basic Temperature Sensor Simplified Schematic



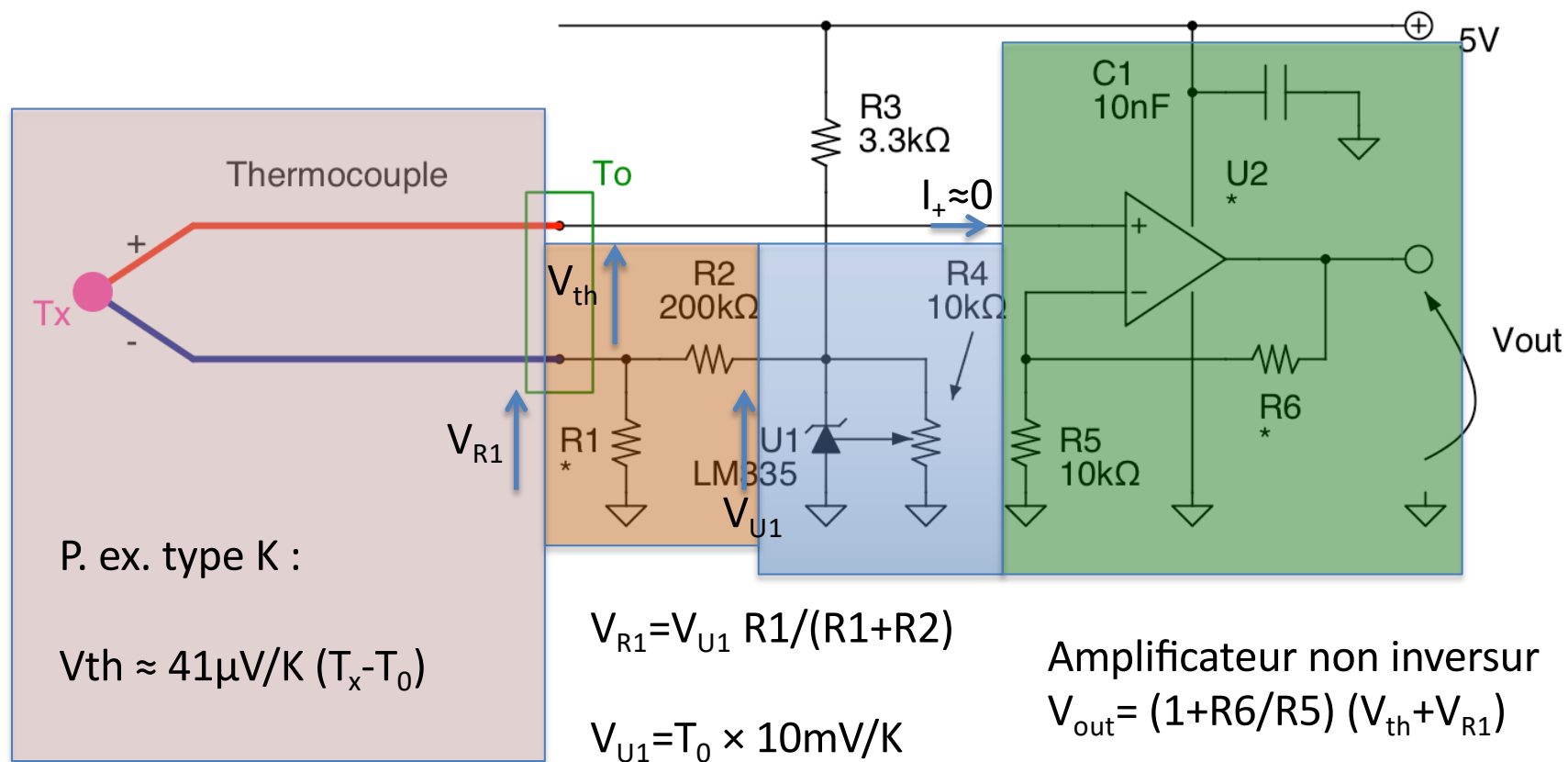
### Calibrated Sensor



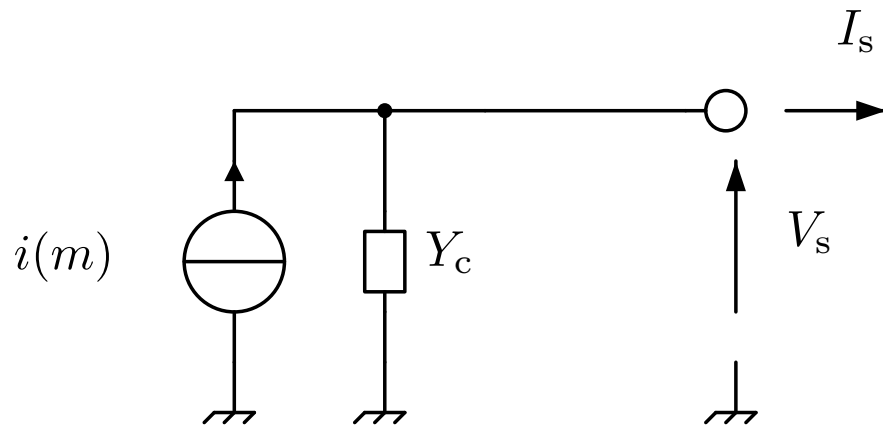
[Datasheet LM335]

# Compens. soudure froide

BUT: avoir une tension  $V_{out}$  qui dépend **uniquement** de  $T_x$   
 Beaucoup de solutions possibles, un exemple :

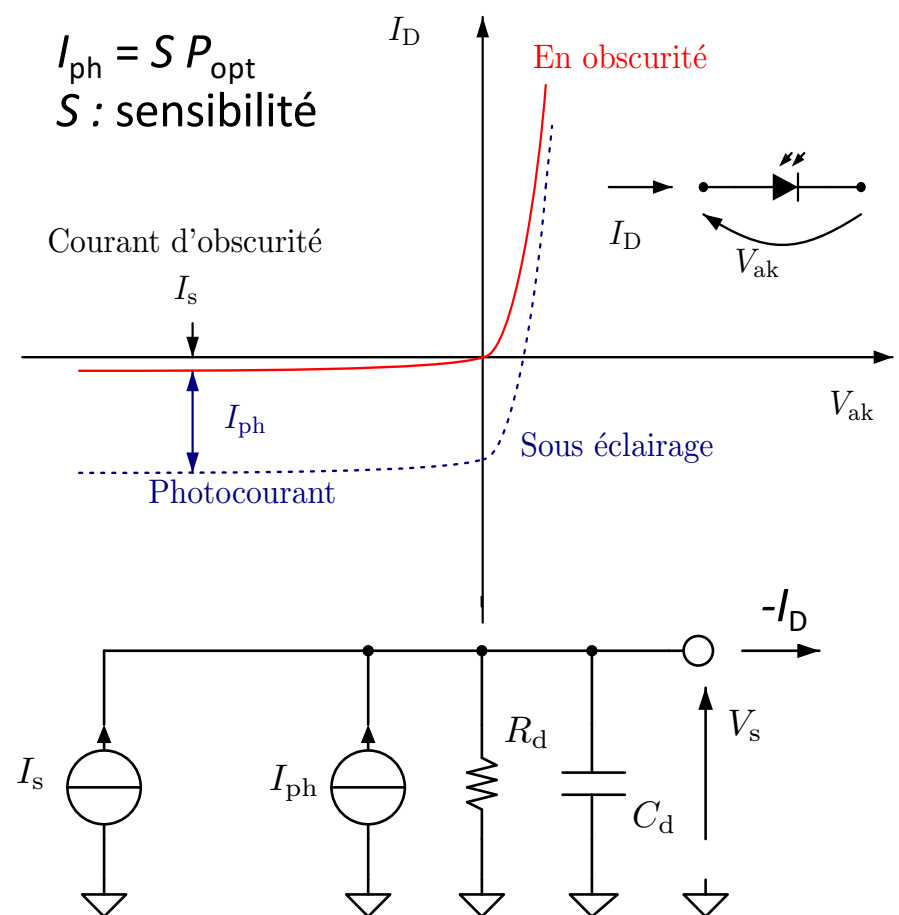


- **Modèle électrique**



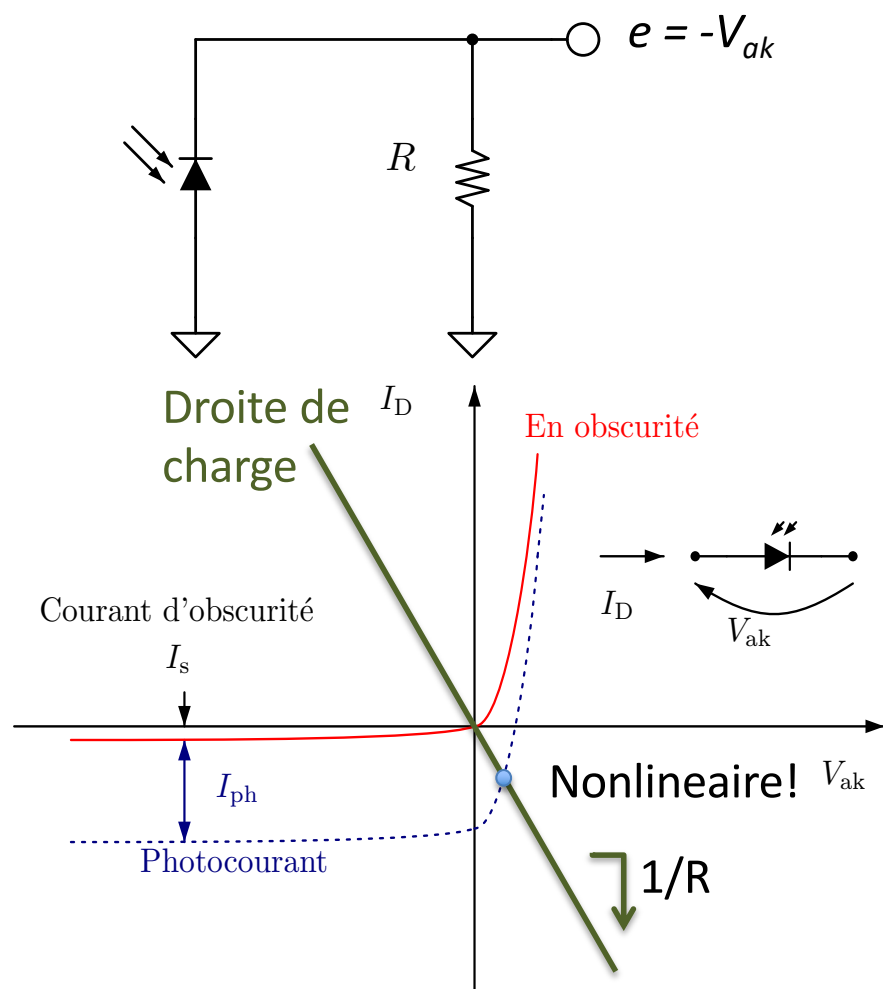
- Éq. Norton
- Admittance  $Y_c = 1/Z_c$

- **Exemple : Photodiode**

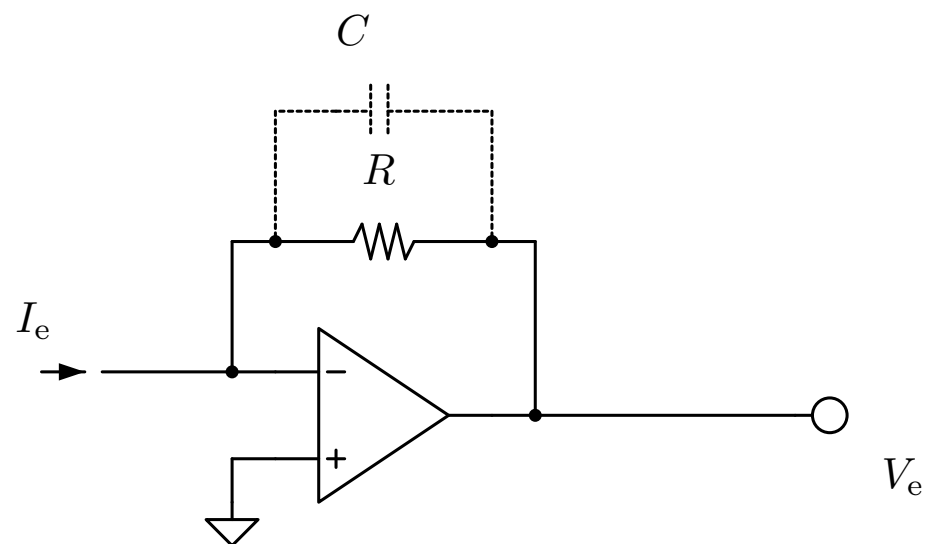


# Conditionneur I->V

- Résistance



- Trans-résistance



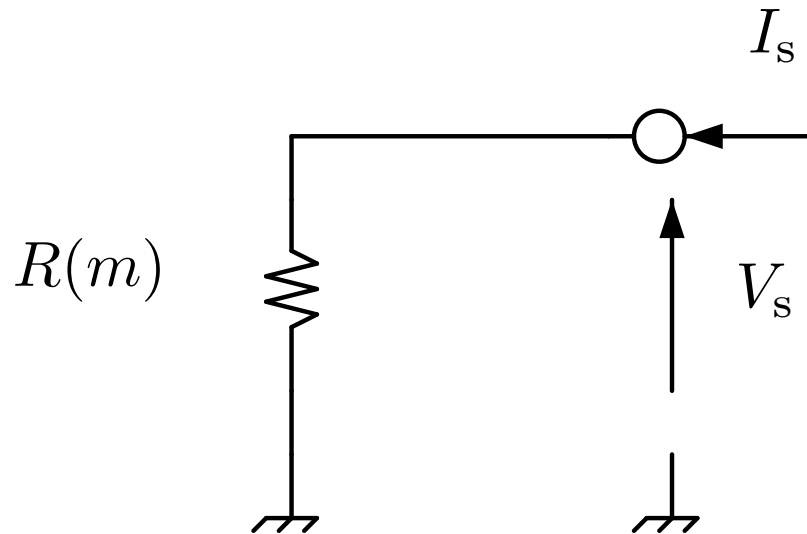
$$V_e = - R \times I_e$$

Tension nulle à l'entrée

C : stabilité

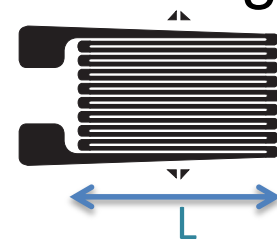
# 3 - Capteurs résistifs

- **Modèle**



- **Exemples**

- Jauge de contrainte

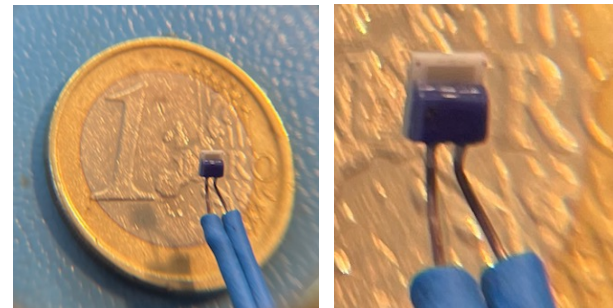


$$\varepsilon = \Delta L/L$$

$$\Delta R/R = K \varepsilon$$

[Omega strain gages specification chart]

- Thermistance Pt100

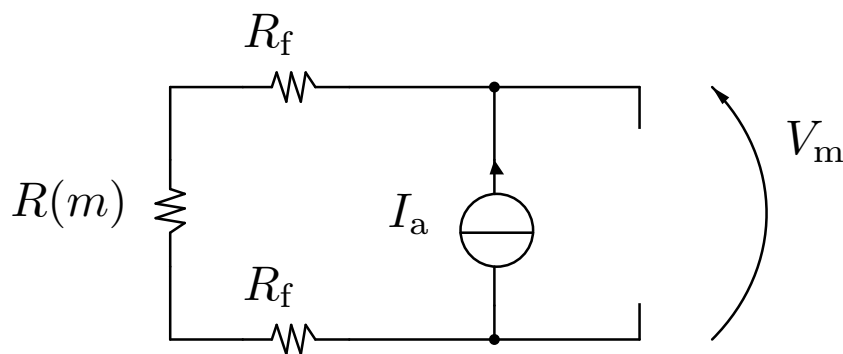


$$R(t_x) = R_0(1 + \alpha t_x)$$

$$\alpha = 3.85 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

# Mesures « 2 et 4 fils »

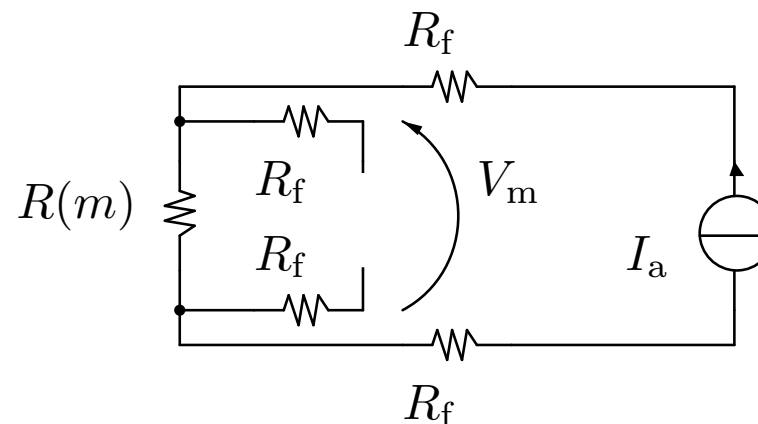
- 2 fils



$$V_m / I_a = R(m) + 2R_f$$

$R_f$  : résistance fils,  
connecteurs  
(peu contrôlables)

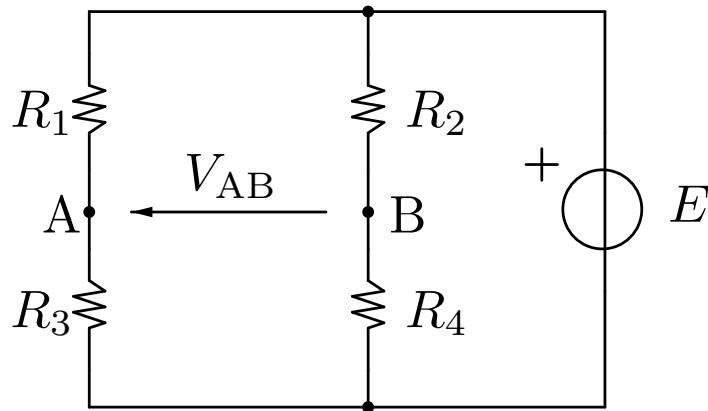
- 4 fils (Kelvin)



- « Diviser pour mieux régner »
- Plus cher !
- Elimine erreur dû à  $R_f$

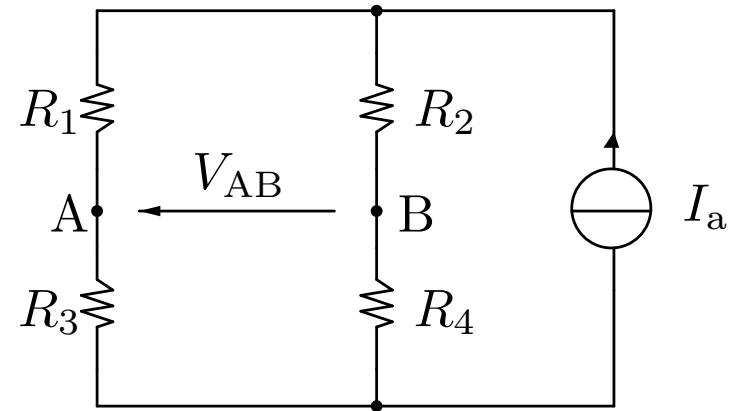
# Pont de Wheatstone 1/2

- **Exc. en tension**



$$V_{AB} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} E$$

- **Exc. en courant**



$$V_{AB} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} I_a$$

But : mesurer une **variation** de résistance  $\Delta R$

# Pont de Wheatstone 2/2

- **Un seul capteur**

$$R_2 = R_0 + \Delta R_2(m)$$

$$R_1 = R_3 = R_4 = R_0$$

– Exc. tension

$$V_{AB} = \frac{\Delta R_2(m)}{R_0} \times \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_2(m)}{2R_0}} \times \frac{E}{4} \approx \frac{\Delta R_2(m)}{R_0} \times \frac{E}{4}$$

Terme non-linéaire !

– Exc. courant

$$V_{AB} = \Delta R_2(m) \times \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_2(m)}{4R_0}} \times \frac{I_a}{4} \approx \Delta R_2 \frac{I_a}{4}$$

Terme non-linéaire plus petit !

- **4 capteurs**

$$\begin{cases} R_1 = R_0 - \Delta R(m) \\ R_2 = R_0 + \Delta R(m) \\ R_3 = R_0 + \Delta R(m) \\ R_4 = R_0 - \Delta R(m) \end{cases} \quad \text{Push-pull}$$

$$V_{AB} = \frac{\Delta R}{R_0} E \quad \text{Linéaire !}$$

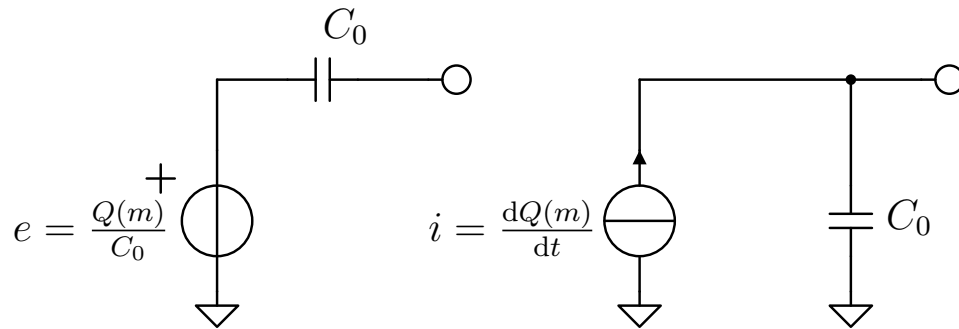
$$V_{AB} = \Delta R I_a$$

Ex. : cellule de charge

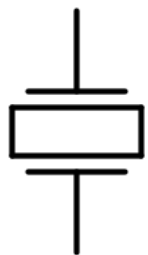


# Phelma 4 - Capt. générateurs de charge

## • Modèles



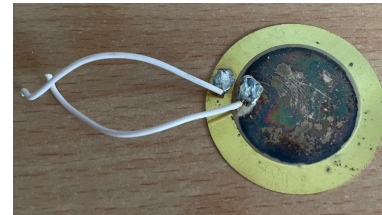
## • Symbole



Essentiellement un condensateur  
Apparition d'une polarisation  
Charges de surface  
**PAS DE SIGNAUX D.C.**

## • Exemples

### – C. piézoélectriques



Microphones,  
Accéléromètres,  
Capteurs de  
force...

Matériaux : Quartz, PZT (titano-zirconates de plomb), Titanate de baryum...

### – C. pyroélectriques

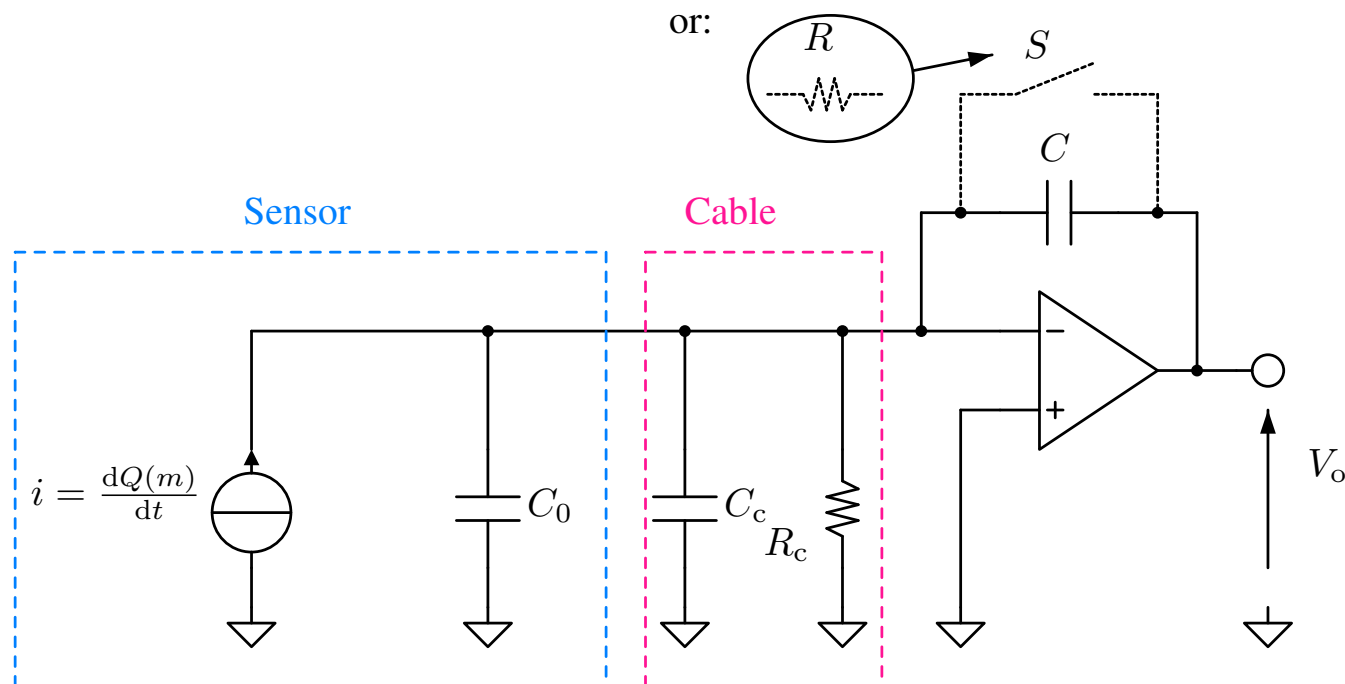


Capteurs de présence  
Infrarouge  $\lambda=5\mu\text{m} - 14\mu\text{m}$

Matériaux : Tourmaline,  
GaN, Quartz, Tantalate de  
lithium.....

[Murata IRA-S200ST01A01]

# Conv. charge/tension



Absence de R

$$V_o = -\frac{Q(m)}{C}$$

Présence de R

$$V_o(p) = -\frac{Q(p)}{C} \frac{pRC}{1 + pRC}$$

Fonction passe-haut

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

[Bucci, ISTE/Wiley, 2017]

Attention :

- Courants polarisation AOP
- Stabilité

# Préparation TD2

- **Faire QCM1 formatif sur Chamilo !**
- **TD2 Une partie « à la maison »**
  - Travail individuel
  - Réponse aux questions en TD2
  - Pas de correction en séance
  - Correction sur Chamilo
- **Une partie en séance**
  - Venez avec vos questions !
  - N’attendez pas passivement la fin de la séance
  - Travail en groupe

# Questions ?