

# Projet Détection de flux

ROY-MAMER Valentin / BERNASCONI Nils

Sorbonne Université- UE 2EE200  
*Capteurs et Interfaces Analogiques-Numériques*

# **Compte Rendu - Mini-Projet**

**Mesure de Température et Détection de Reflux dans les  
Soupapes**

**Valentin ROY-MAMER 21409420**

**Nils BERNASCONI 21409721**

## 1. Objectif du Mini-Projet

L'objectif de ce mini-projet de concevoir, réaliser et valider un système électronique permettant de :

Détecter le sens d'un flux d'air dans un tube grâce à une LED.

Mesurer la différence de température  $\Delta T$  entre deux thermistances CTN situées aux extrémités du tube, et fournir une tension analogique proportionnelle à  $\Delta T$ , comprise entre 0 et 5 V.

Le cahier des charges imposait deux sorties principales :

Sortie n°1 : signal lumineux (LED rouge / verte) indiquant le sens du flux d'air.

Sortie n°2 : tension analogique VOUT entre 0V et 5V permettant de calculer  $\Delta T$

## 2. Analyse et Conception du Circuit

### 2.1 Comportement des CTN

La résistance d'une CTN suit la loi :

$$R_{CTN}(T) = R_0 \exp[\beta \cdot (1/T - 1/T_0)]$$

À  $T_0=298K$ ,  $R_{CTN}=R_0=5k\Omega$ . Pour une température de 302 K (29 °C), on obtient  $R_{CTN} = 4,24k\Omega$ .

### 2.2 Pont de Wheatstone

Dans le pont de wheatstone, on remplace pour la partie expérimentale les CTN1 et CTN2 par des résistances fixes afin de produire une tension différentielle proportionnelle à  $\Delta T = T_1 - T_2$  pour de petites variations autour de  $T_0$ .

La linéarité est satisfaisante pour  $|\Delta T| < 15^\circ C$  environ, ce qui correspond à la plage de mesure visée. Les résistances du pont ont été choisies égales à  $R_0=4,7k$  pour garantir l'équilibre à  $T_0$ .

Valeurs utilisées :

CTN2 : 4,7k $\Omega$

CTN1 : 4,7k $\Omega$

### 2.3 Amplificateur Différentiel

La tension différentielle issue du pont est de l'ordre de quelques dizaines de millivolts pour  $\Delta T = 1^\circ C$ . Un amplificateur différentiel à AOP est utilisé pour amplifier et centrer la sortie sur 2,5 V. Le gain est ajusté par une résistance 20 k $\Omega$  faite avec des résistances 10 k $\Omega$ .

$G = 20k/10k = 2$ . La tension de sortie est  $V_{OUT} = 2,50 + 2 \times (V_+ - V_-)$

### 2.4 Étage Comparateur et Détection de Sens de Flux

La détection du sens du flux repose sur la comparaison des tensions issues des deux branches du pont. Un comparateur produit un signal logique haut ou bas selon le signe de  $\Delta T$  :

- $\Delta T > 0$  (CTN1 plus chaude que CTN2) -> flux de gauche à droite -> LED verte allumée.
- $\Delta T < 0$  (CTN2 plus chaude) -> flux de droite à gauche -> LED rouge allumée.
- $\Delta T$  proche de 0 (pas de flux détectable) -> les deux LED éteintes.

Les résistances du réseau comparateur (9,4kΩ,0,2kΩ,2,4kΩ) définissent les seuils des trigger afin d'obtenir des seuils respectifs de 2,4V et 2,6V.

### 2.5 Étage de Mise à l'Échelle 0–5 V (Sortie n°2)

La sortie de l'amplificateur différentiel est entre [0V ; 5V] via un montage non-inverseur suivi d'un décalage de niveau. La relation  $V_{OUT}/\Delta T$  est non linéaire car elle dépend de la réponse exponentielle des CTN. Pour de petites variations autour de  $T_0$ , on peut approximer:

$$V_{OUT} = 2,50 \pm 0,06 \times \Delta T.$$

Les résistances de protection 1kΩ en série avec les LED limitent le courant. Étant donné que les comparateurs sont alimentés en 12V, leur tension saturée est proche de 12V. Le courant est donc limité à  $(12-2)/1k=10mA$ , ce qui reste largement en dessous du maximum de 30mA admissible par les diodes

## 3. Schéma Blocs du Système

Le circuit complet est organisé en cinq blocs fonctionnels enchaînés :

Bloc 1 : Capteurs composés de deux CTN placées aux extrémités du tube.

Bloc 2 : Pont de Wheatstone avec résistance 4,7 kΩ associées aux CTN et qui fournit une tension différentielle.

Bloc 3 : Amplificateur différentiel qui amplifie  $\Delta V$  et centre la sortie sur 2,5V.

Bloc 4 : Comparateur qui pilote les LED rouge et verte via résistances 1kΩ.

Bloc 5 : Tension  $V_{OUT}$  0-5V proportionnelle à  $\Delta T$ , compatible CAN 0–5V.

## 4. Schématique et Dimensionnement

Le schéma manuscrit ci-dessous récapitule l'ensemble du câblage :

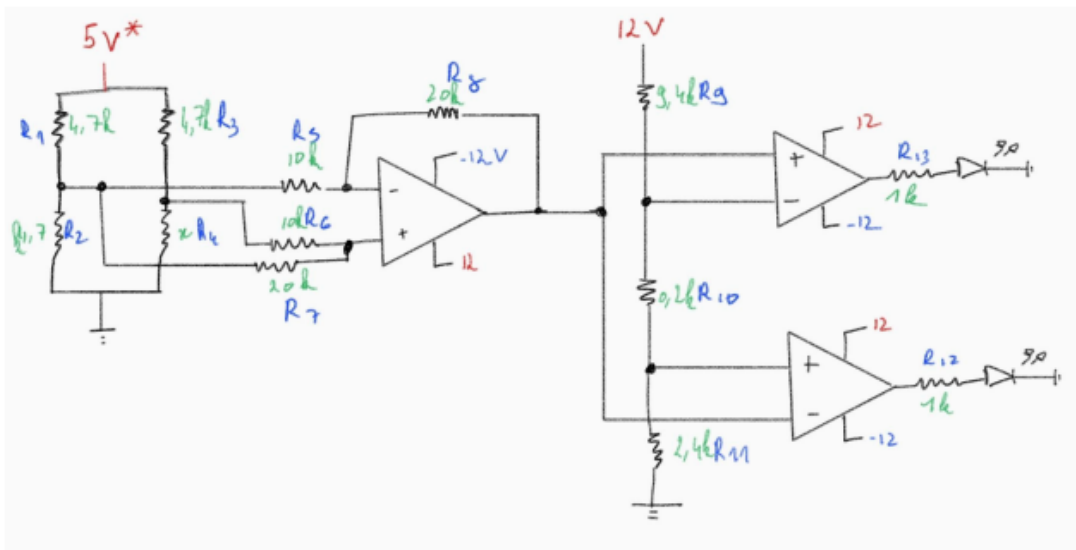
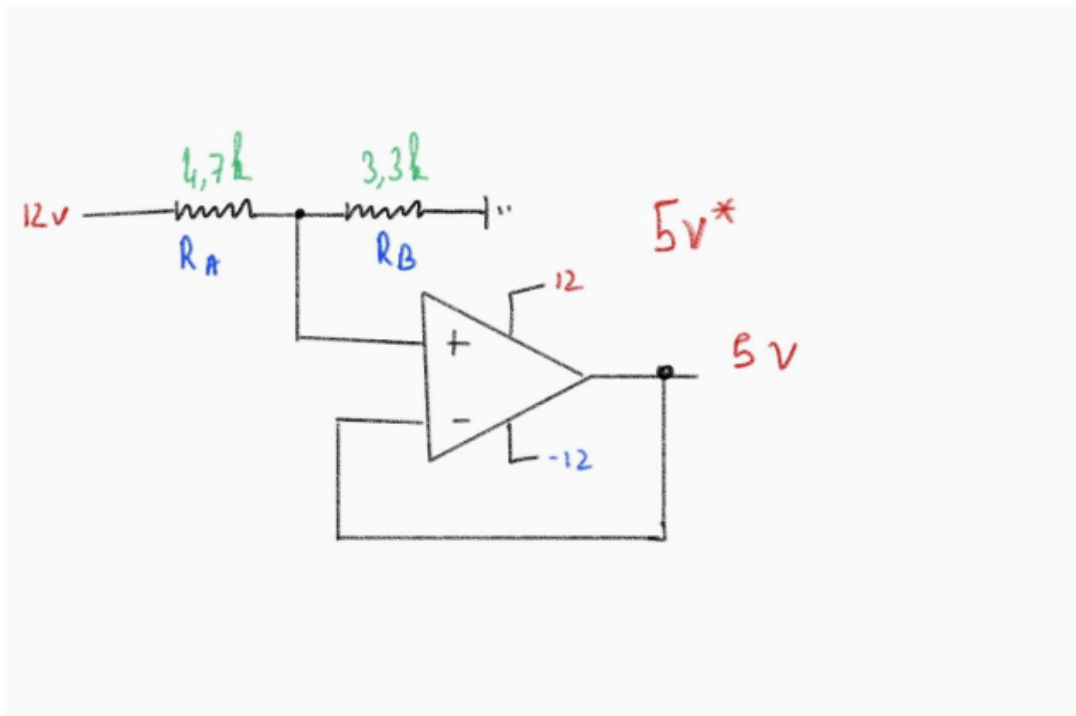


Schéma du suiveur utilisé pour transformer les 12V en 5V:



Changer R2 et R4 par CTN1 et CTN2 pour le circuit final.

**Récapitulatif des composants utilisés :**

Référence	Valeur / Type	Fonction
-----------	---------------	----------

R1	4,7 k $\Omega$	Branche haute pont CTN2
R2,R4	4,7 k $\Omega$ CTN	Branche haute pont CTN1
R3	4,7k $\Omega$	Référence basse pont
R5, R6	10k $\Omega$	Résistances ampli diff.
R7,R8	20 k $\Omega$	Réglage du gain
R9, R10, R11	9,4 k $\Omega$ / 0,2 k $\Omega$ / 2,4 k $\Omega$	Réseau comparateur
R12, R13	1 k $\Omega$	Protection LED
U1, U2	TL082	Ampli diff. + Comparateur
CTN1, CTN2	5k $\Omega$ 25 °C, $\beta = 3\ 700\ K$	Capteurs de température

## 5. Résultats Expérimentaux et Validation

### 5.1 Validation du Pont de Wheatstone

Les mesures à l'ohmmètre des CTN ont confirmé les valeurs théoriques :

- Sans flux d'air : CTN1 = CTN2 = 5k $\Omega$  -> pont équilibré-> Vdiff = 0V.
- Avec flux d'air : déséquilibre détectable dès  $\Delta T = 2\ ^\circ C$ .

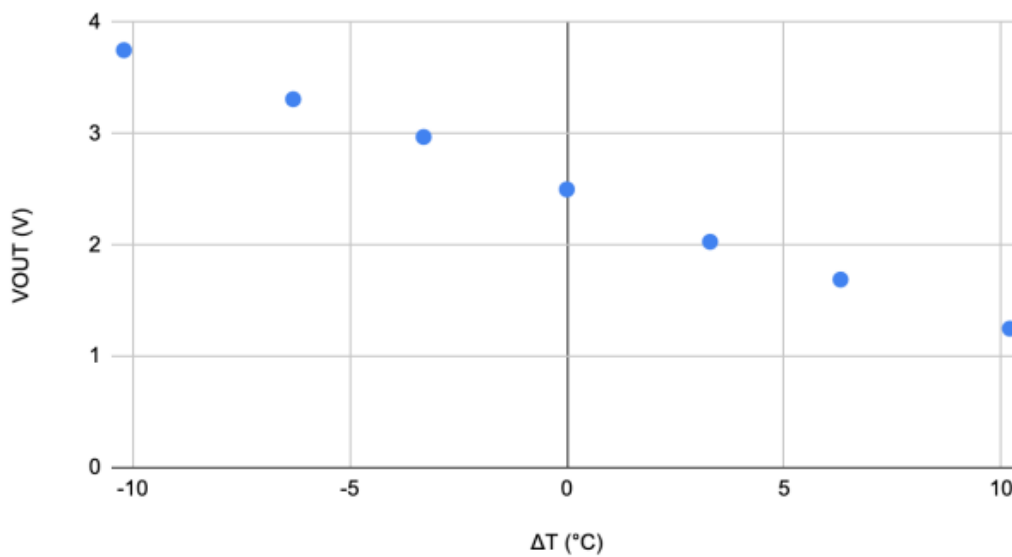
### 5.2 Simulation avec Résistances Fixes

Les CTN ont été remplacées par des résistances fixes de 4,7 k $\Omega$  pour simuler la température  $T_0 = 298\ K$ .

CTN1	CTN2	V+	V-	$\Delta V$	VOUT théorique	$\Delta T$
4,7k	4,7k	2,5	2,5	0	2,500	0
3,9k	4,7k	2,267	2,5	-0,233	2,03	+3,3
3,3k	4,7k	2,094	2,5	-0,406	1,69	+6,3
2,7k	4,7k	1,875	2,5	-0,625	1,25	+10,2
4,7k	3,9k	2,5	2,267	+0,233	2,97	-3,3
4,7k	3,3k	2,5	2,094	+0,406	3,31	-6,3
4,7k	2,7k	2,5	1,875	+0,625	3,75	-10,2

Sur la plage de mesure visée [ $-10^\circ C$  ;  $+10^\circ C$ ], la relation  $V_{OUT}/\Delta T$  est approximativement linéaire , avec une pente d'environ 0,12 V/ $^\circ C$ .

### VOUT (V) par rapport à $\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )



### 5.3 Détection du Sens de Flux

Le seuil de détection du flux a été mesuré à  $\Delta T_{\text{min}}=2^{\circ}\text{C}$ , conformément aux exigences du cahier des charges.

Situation	LED verte	LED rouge
Flux gauche $\rightarrow$ droite ( $\Delta T > 2^{\circ}\text{C}$ )	Allumée	Éteinte
Flux droite $\rightarrow$ gauche ( $\Delta T < -2^{\circ}\text{C}$ )	Éteinte	Allumée
Pas de flux ( $ \Delta T  < 2^{\circ}\text{C}$ )	Éteinte	Éteinte

### 5.4 Test en Condition Réel

Une fois le circuit validé sur résistances fixes, le tube a été connectée. Les résultats sont cohérents avec les simulations : la détection de flux est effective dès que la différence de température dépasse le seuil de  $2^{\circ}\text{C}$ , et la tension de sortie VOUT varie linéairement avec  $\Delta T$  dans la plage  $[-15^{\circ}\text{C}; +15^{\circ}\text{C}]$ .

### 5.5 Test en Condition Réelle

BLOC	CALCUL	PUISSANCE
Pont de Wheatstone (5V, $2 \times 4,7\text{k}\Omega$ + $2 \times \text{CTN} \approx 5\text{k}\Omega$ )	$2 \times 5^2 / 9700$	5,2 mW

2 x TL082 ( $\pm 12V$ , 3,6mA/CI)	2 x 24 x 3,6mA	173 mW
2 LEDs (VLED=2V, R=1k $\Omega$ , V=5V)	2 x 2 x 10mA	40 mW
Diviseur comparateurs (9,4k $\Omega$ +0,2k $\Omega$ +2,4k $\Omega$ , 5V)	5 x 0,41mA	2 mW
TOTAL	220 mW	

## 6. Datasheet

Paramètre	Valeur
Alimentation DC	$\pm 12V + 5V$
Taille du circuit	80cm <sup>2</sup>
Puissance consommée (hors chauffe)	220mW
Signal lumineux (sens flux)	LED verte = G→D ; LED rouge = D→G ; aucune = pas de flux
Seuil minimum de détection $\Delta T$	2°C
Plage de $\Delta T$ mesurable	-15 à +15°C
Tension analogique sortie n°2	VOUT $\in$ [0V ; 5V]
Incertitude sur $\Delta T$	$\pm 0,5^\circ C$
Nombre d'AOP utilisés	4

## 7. Conclusion

Le système réalisé répond aux deux exigences principales du cahier des charges :

La détection du sens de flux est opérationnelle avec un seuil de sensibilité de 2 °C.

La sortie analogique VOUT permet de calculer  $\Delta T$  avec une incertitude de  $\pm 0,5$  °C, dans la plage [-15 °C ; +15 °C], compatible avec un CAN 0-5 V.

Les principales difficultés rencontrées ont été le dimensionnement du gain de l'amplificateur différentiel pour couvrir la plage [0V ; 5V] sans saturation, ainsi que le réglage du seuil d'hystérésis du comparateur pour éviter les fausses détections lorsque le flux est nul.