

# MP04 : Capteurs de grandeurs mécaniques

Armél JOUAN, Fabien BAUDRIBOS - B01

18 février 2021

## Contents

<b>1</b>	<b>Capteur de position : LVDT</b>	<b>2</b>
1.1	Principe . . . . .	2
1.2	Exploitation . . . . .	3
1.3	Remarques / Questions . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Capteur de vitesse : banc Doppler</b>	<b>4</b>
2.1	Principe . . . . .	4
2.2	Exploitation . . . . .	5
2.3	Remarques / Questions . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Capteur de masse : balance à jauge de contrainte</b>	<b>6</b>
3.1	Montage . . . . .	6
3.2	Exploitation . . . . .	7
3.3	Remarques / Questions . . . . .	7

## Introduction

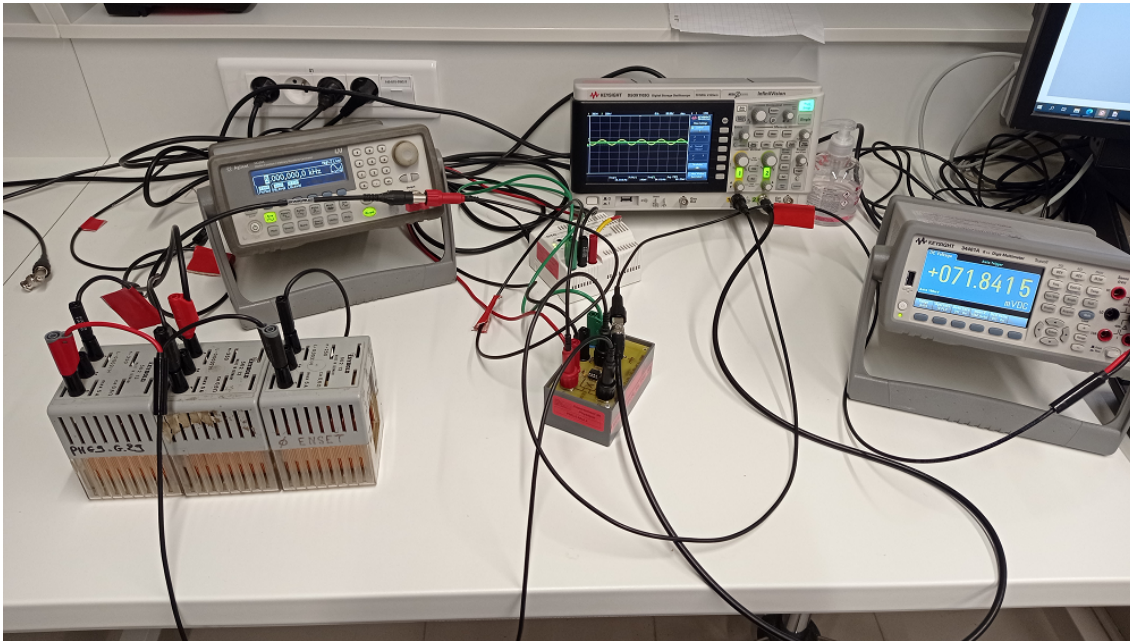
Un capteur mesure une grandeur physique en la transformant en une autre grandeur que l'on sait exploiter (tension, courant). On s'intéresse ici à des capteurs de grandeurs mécaniques (position, vitesse, masse) dont on étudiera les propriétés : linéarité, précision, résolution, sensibilité, justesse.

# 1 Capteur de position : LVDT

## 1.1 Principe

Matériel :

- 3 bobines identiques de 250 spires
- barreau en fer doux de 15 cm de long
- ensemble multiplieur - filtre passe bas (RC de fréquence de coupure  $\simeq 100$  Hz.)
- GBF
- multimètre



On accole les 3 bobines, et on alimente la bobine centrale (circuit primaire) avec un signal sinusoïdal  $U_e$  ( $V_{pp} = 10$  V ;  $f = 5,0$  kHz). Le champ magnétique variable créé au sein de cette bobine est alors canalisé par le noyau de fer doux dans les 2 autres bobines (circuits secondaires), et il y a alors apparition, par induction électromagnétique, de tensions induites  $U_1$  et  $U_2$  dans ces bobines. On raccorde les deux bobines secondaires, et on récupère la tension  $U_s = U_1 - U_2$ , que l'on multiplie à  $U_e$  pour pouvoir réaliser une détection synchrone à l'aide du filtre passe-bas, à la sortie duquel on obtient la tension  $U_{out}$  qui est l'image de la position du centre du barreau (nulle quand le barreau

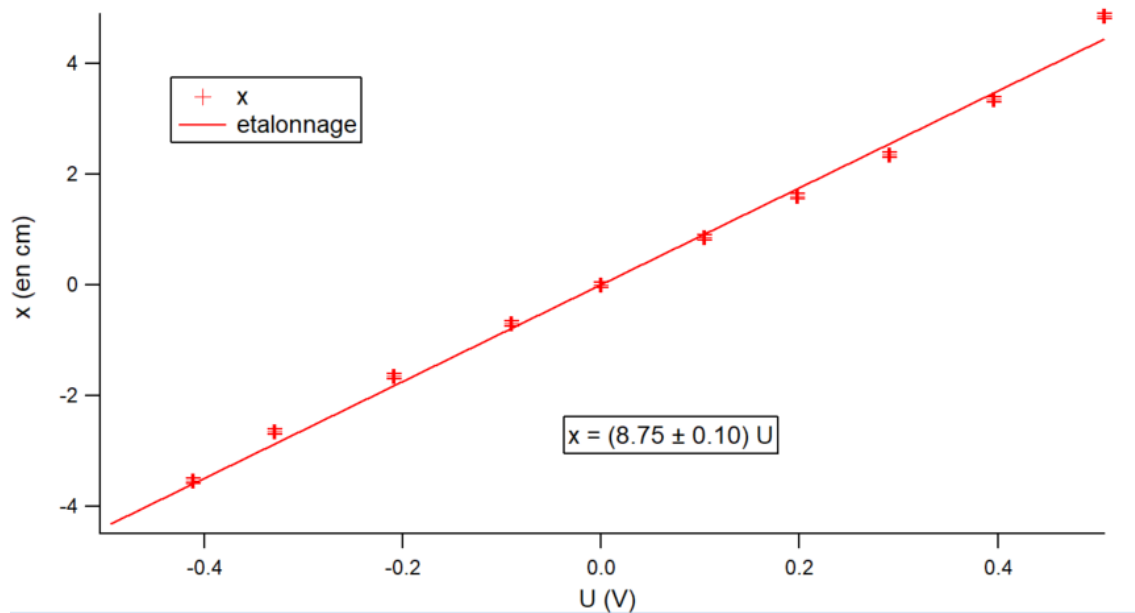
est centré dans le système). En récapitulant, on a :

$$\begin{cases} U_e = U_a \cos(2\pi ft) \\ U_s = U_1 - U_2 = U_b \cos(2\pi ft + \phi) \\ U_{out} = M \frac{U_a U_b}{2} \cos(\phi) \end{cases}$$

où l'on suppose que  $U_b$  évolue linéairement avec l'écart absolu à la position centrale du barreau en fer doux, et avec  $\phi$  qui renseigne sur le sens du déplacement ( $\phi = 0 \Rightarrow x > 0$  et  $\phi = \frac{\pi}{2} \Rightarrow x < 0$ ).

## 1.2 Exploitation

En préparation, on a réalisé un étalonnage position-tension, en mesurant la position du barreau avec un réglet :



Lors du passage, j'ai placé le barreau à une position quelconque, que j'ai ensuite mesurée à l'aide de la tension affichée par le multimètre et la droite d'étalonnage. J'ai ensuite vérifié le résultat obtenu avec le réglet.

- **Sensibilité** : donnée par l'étalonnage ;  $s = (8,75 \pm 0,10) \text{ cm/V}$
- **Résolution** : donnée par l'étalonnage et l'incertitude type de mesure sur  $U_{out}$  (incertitude du voltmètre) ;  $R = s \times \sigma(U_{out}) = 0,1 \text{ mm}$
- **Justesse** : on compare la mesure obtenue à partir de l'étalonnage avec celle obtenue au réglet : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

### 1.3 Remarques / Questions

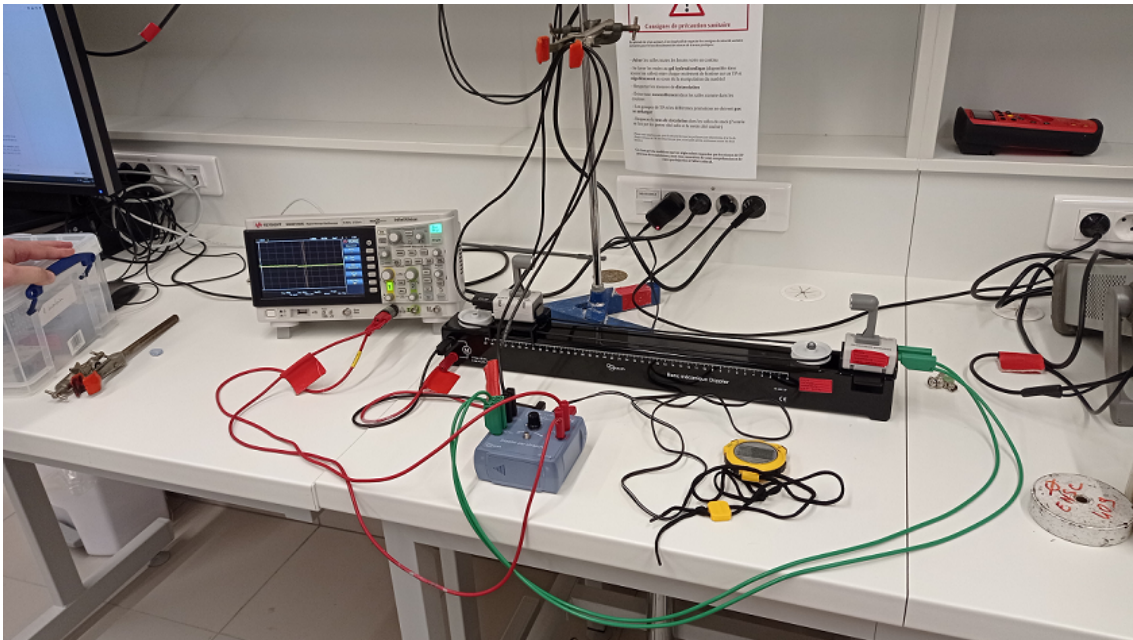
- La précision de l'étalonnage est conditionnée par la précision du réglet : il faudrait trouver un autre moyen de mesurer la position qui permette de s'affranchir de cette incertitude.
- On fait l'hypothèse que la relation entre  $b$  et la position est linéarisable sur la gamme de position considérée.
- *Choix de la fréquence de travail ?* Suffisamment haute pour que le filtre passe-bas soit efficace (le signal à  $2f$  est alors 2 décades au-delà de la fréquence de coupure), mais pas trop élevée pour éviter les effets capacitifs des bobines.
- JBD : il pourrait être intéressant de prendre des mesures avec le barreau sortant des bobines.

## 2 Capteur de vitesse : banc Doppler

### 2.1 Principe

Matériel :

- banc Doppler avec boîtier de commande
- GBF

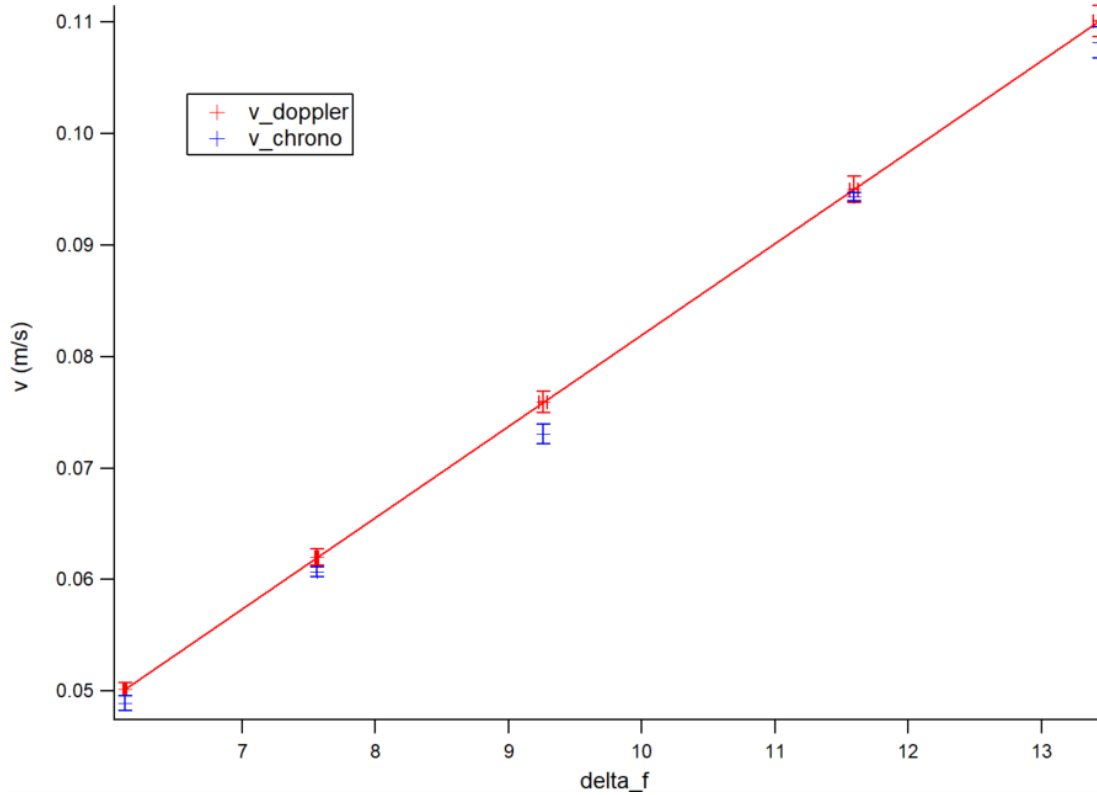


L'émetteur est fixe, et émet un signal  $U_e$  à une fréquence  $f \simeq 43$  kHz. Le récepteur est mobile, et renvoie un signal  $U_r$  à une fréquence  $f + \Delta f$ . Sa vitesse est pilotée par le boîtier, lequel réalise aussi l'opération de multiplication + filtrage et renvoie un signal  $U_{out}$  à la fréquence  $\Delta f$  (battements entre  $U_e$  et  $U_r$ ). Dans l'approximation de petites vitesses ( $v \ll c_{son}$ ), la vitesse du récepteur est donnée par :

$$v = \lambda \times \Delta f$$

## 2.2 Exploitation

En préparation, on mesure  $\lambda = (0,82 \pm 0,01)$  cm, puis pour une série de vitesses, on mesure  $\Delta f$  à l'oscilloscope, et  $\Delta t$  au chronomètre (pour une certaine distance, ici entre les graduations 30 cm et 5 cm du banc). On réalise les mesures plusieurs fois pour chaque vitesse afin de réduire l'incertitude sur  $\Delta f$  et  $\Delta t$ . On peut ainsi juger de la justesse du capteur en comparant les vitesses obtenues par effet Doppler et par simple mesure au chronomètre. Lors du passage, j'ai réalisé 3 mesures conjointes de  $\Delta f$  et  $\Delta t$  pour une vitesse quelconque.



- **Résolution** :  $R = \lambda \times \sigma(\Delta f) = 0,03 \text{ cm/s}$
- **Justesse** : on compare la mesure obtenue par effet Doppler avec celle obtenue au chronomètre : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

## 2.3 Remarques / Questions

- Privilégier des fourches optiques à un chronomètre pour la mesure de  $\Delta t$
- JBD : penser à étudier rapidement les caractéristiques voulues pour le passe-bas du boîtier

# 3 Capteur de masse : balance à jauge de contrainte

## 3.1 Montage

Matériel :

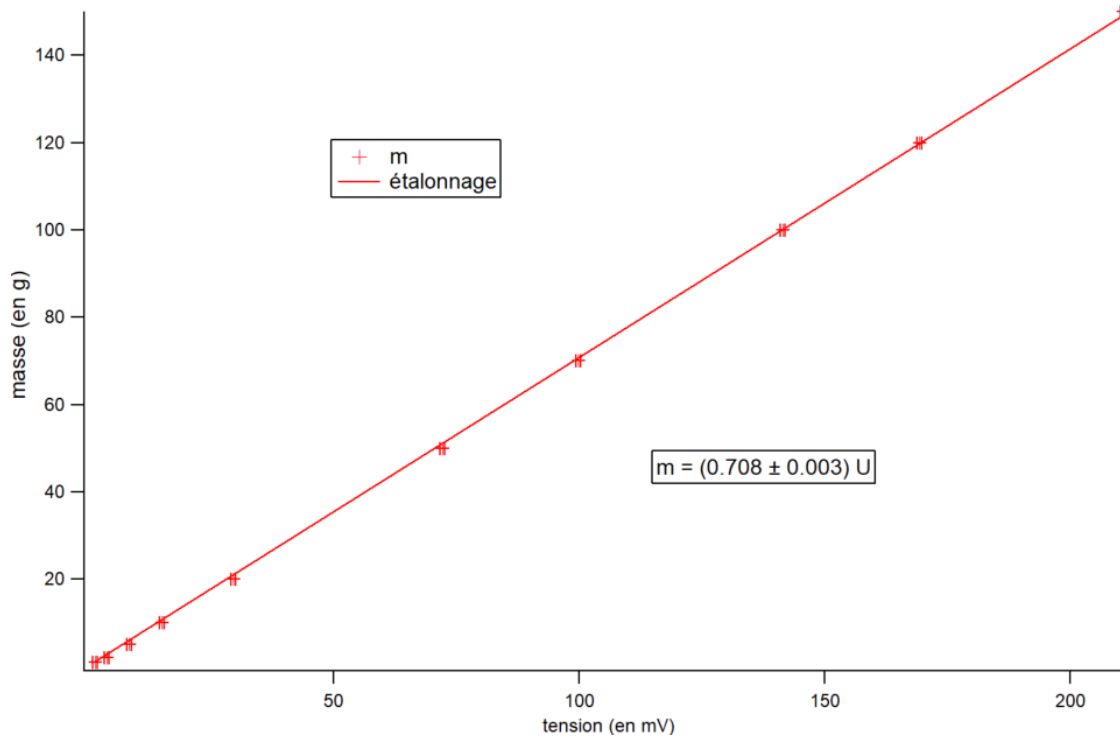
- Jauge de contrainte
- plaquette pont de Wheatstone ( $R_a = 0,986 \text{ k}\Omega$ ,  $R_b = 0,989 \text{ k}\Omega$ , résistances de haute précision)
- Plaquette multiplieur - filtre passe bas (RC de fréquence de coupure  $\simeq 100 \text{ Hz}$ .)
- alimentation +15V/-15V prise entre 0 et 15 V pour l'ensemble de la carte comportant les deux plaquettes.
- multimètre

On utilise une jauge de contrainte : sa déformation (causée par le poids de l'objet à peser) entraîne une variation de sa résistance  $\Delta R$ , que l'on suppose proportionnelle à la contrainte. Cette variation de résistance étant très faible, on utilise un pont de Wheatstone pour pouvoir la détecter, et on réalise de nouveau une détection synchrone. On obtient en sortie une tension  $U_{out} \propto \Delta R \propto m$ .

Le réglage de l'ensemble est assez fastidieux : il faut faire en sorte qu'à vide, on ait bien une tension de sortie nulle, ce que l'on réalise en accordant la résistance variable  $R_v$ . On le fait dans un premier temps en alimentation continue, avant l'amplificateur en sortie du pont de Wheatstone, puis en sortie de cet amplificateur ; on passe ensuite en régime variable (1 kHz, 20 V pic à pic) et on essaie d'ajuster au mieux le zéro en sortie de l'ensemble multiplieur + passe bas. Après quoi, on réalise la mesure en lisant la tension associée à la masse que l'on pèse.

### 3.2 Exploitation

En préparation, on a réalisé l'étalonnage de la balance avec une autre balance, et ce pour différentes masselotes. Lors du passage, j'ai pesé un stylo avec la balance à jauge de contrainte et avec l'autre balance pour pouvoir juger de la justesse du système.



- **Sensibilité** : donnée par l'étalonnage ;  $s = (0,708 \pm 0,003) \text{ kg/mV}$
- **Résolution** : donnée par l'étalonnage et l'incertitude type de mesure sur  $U_{out}$  (incertitude du voltmètre) ;  $R = s \times \sigma(U_{out}) = 0,4 \text{ g}$
- **Justesse** : on compare la mesure obtenue à partir de l'étalonnage avec celle obtenue avec la balance : si les intervalles d'incertitudes se recoupent, on peut dire que le capteur est juste.

### 3.3 Remarques / Questions

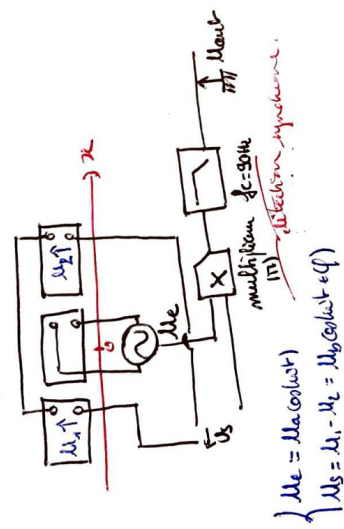
- On a utilisé un fil de pêche pour accrocher les masses au réglet de la jauge, et ainsi s'efforcer d'appliquer la contrainte de manière similaire à chaque mesure.
- Fonctionnement de la jauge de contrainte ? Pourquoi ne doit-on pas dépasser une certaine masse ?



TP04 : Capteurs de grandeurs mécaniques

I - Capteur de pont - LVDT

1) Montage



2) Explication

Effet D'effet :  $U_e = \lambda \cdot \Delta f$   
 où  $\lambda = 0,82 \pm 0,01 \text{ cm}$

Résolution :  $R_2 = \sigma(\Delta f) \times \lambda = 0,03 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$   
 Justesse :  $\Delta f = \pm \text{Hz}$   
 $N_{eff} = \pm \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $\sigma_{mesur} = \pm \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

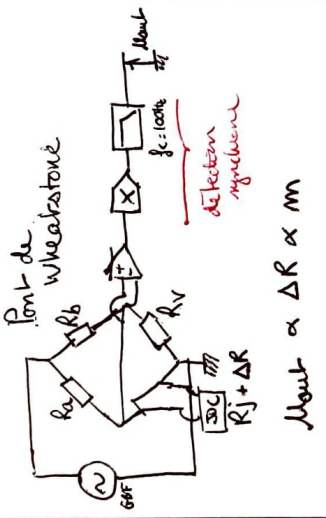
$M_{out} = 71 \frac{M_e \cdot U_5}{U_5} \cos(\varphi)$   
 où  $M_b$  varie linéairement avec  $x$ .

2) Explication

Étalonnage :  $b_2 = 8,75 \pm 0,10 \text{ cm/V}$   
 Résolution :  $R_1 = \frac{\sigma(U_{out})}{U_{ref}} = 0,1 \text{ mm}$   
 Justesse :  $M_{out} = \pm \text{V}$   
 $M_{ref} = \pm \text{cm}$   
 $M_{ref} = \pm 0,01 \text{ cm}$

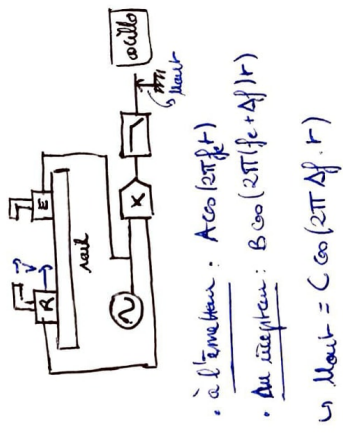
III - Capteur de masse : balance à jauge de contrainte

1) Montage



II - Capteur de vitesse : effet Doppler

1) Montage



2) Explication

Étalonnage :  $b_3 = 0,708 \pm 0,005 \text{ mV}$   
 Résolution :  $R_3 = \sigma(M_{out}) \times b_3 = 0,4 \text{ g}$   
 Justesse :  $M_{out} = \pm \text{mV}$   
 $M_{ref} = \pm \text{g}$   
 $M_{balance} = \pm \text{g}$