

Compte-rendu du montage de physique n°04 : Capteurs de grandeurs mécaniques.

Binôme 07 :

Tijani Id Barkach

Vincent Faragout

Correcteur :

Jean-Baptiste Desmoulins

Table des matières

Introduction	3
1 Capteur de position.....	4
1.1 Présentation.....	4
1.2 Manipulations réalisées.	7
1.2.1 Courbe d'étalonnage.....	7
1.2.2 Manipulation à effectuer.....	7
2 Balance à jauge de contrainte.	8
2.1 Présentation.....	8
2.2 Mesures réalisées.	9
2.2.1 Courbe d'étalonnage.....	9
2.2.2 Manipulations effectuées lors du montage.	10
3 Chute d'un aimant dans un tube.....	11
3.1 Présentation.....	11
3.2 Mesures réalisées.	12
3.2.1 Étalonnage.....	12
3.2.2 Détermination de la vitesse.	13
4 Questions et Remarques.....	14
5 Tableau.....	16
Références.....	16

Introduction

Un capteur mesure une grandeur physique en la transformant en une grandeur que l'on sait analyser (une tension, un courant, ...)

Ils doivent aussi avoir certaines qualités : ne pas perturber la mesure, être si possible linéaire et être bien étalonné.

L'objectif de ce montage est d'illustrer les caractéristiques de capteurs grâce à diverses expériences. Comme on s'intéresse uniquement aux capteurs de grandeurs mécaniques, on étudiera un capteur de position, de vitesse et de masse.

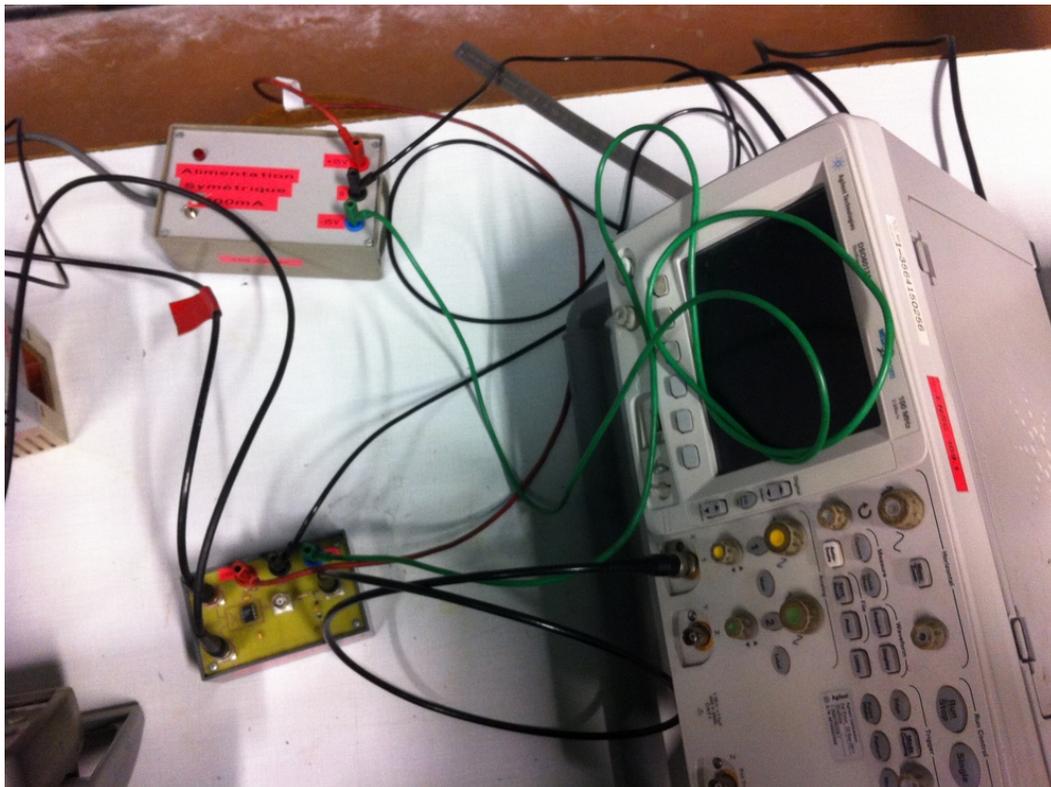
1 Capteur de position.

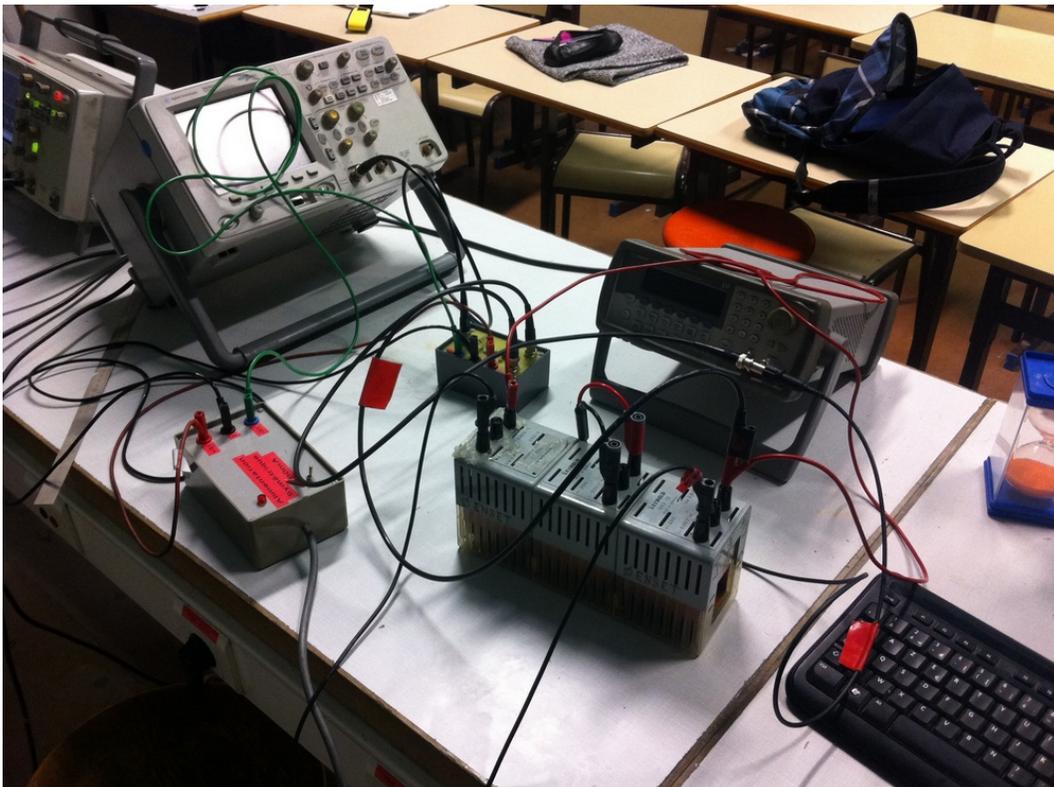
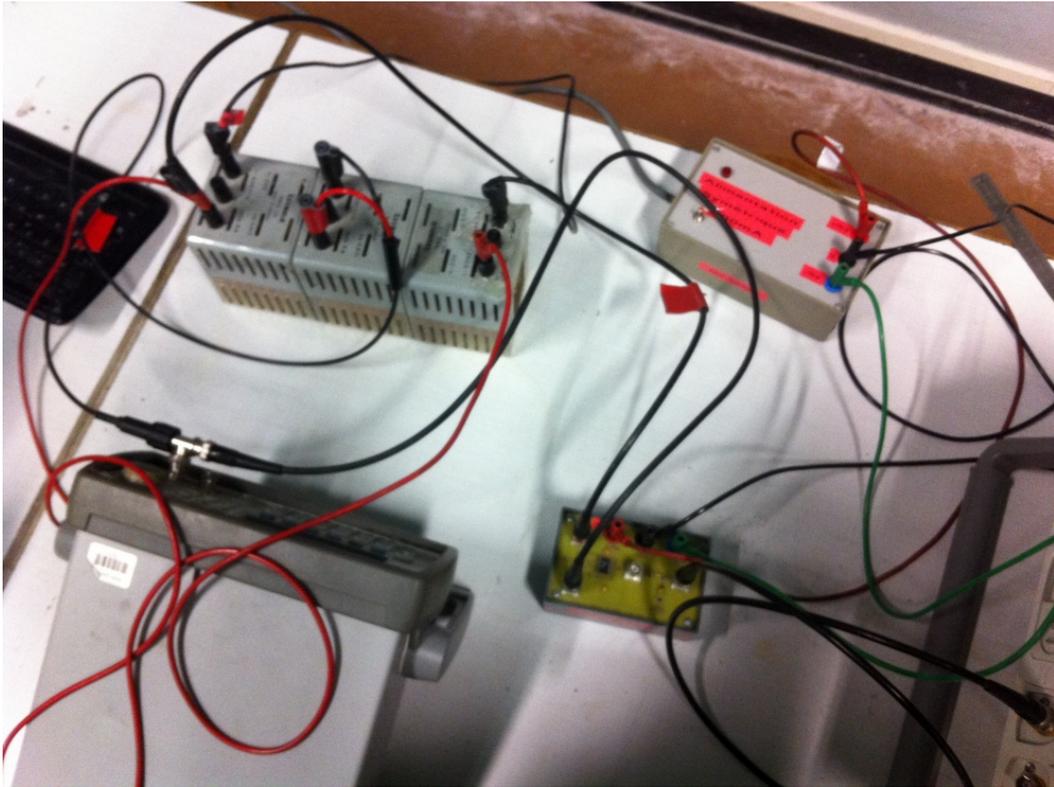
1.1 Présentation.

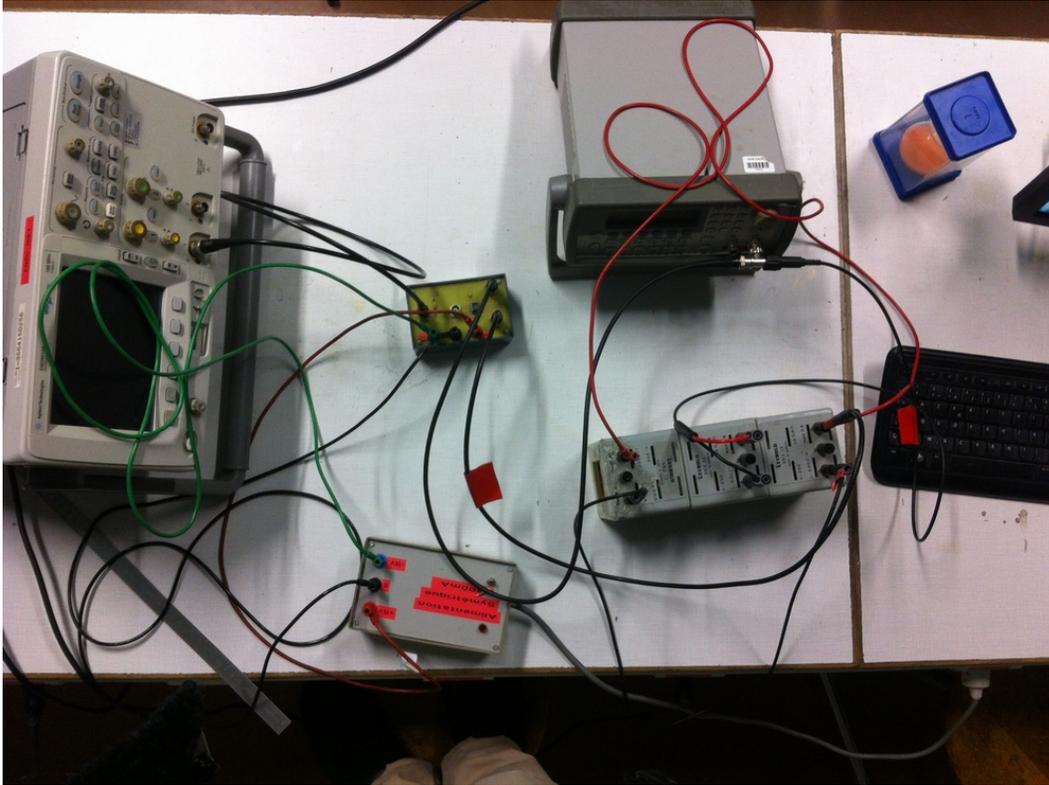
- On réalise de manière artisanale un capteur de position dans cette première partie. On a besoin pour cela de 3 bobines de 250 spires, un GBF, un multiplieur, un filtre RC (de fréquence de coupure $f_c = 100\text{Hz}$ et d'un noyau de fer doux.

Le but de cette manipulation sera de déterminer la position du noyau de fer doux à l'intérieur des 3 bobines.

Voici le montage du capteur :







- On applique un courant sinusoïdal dans la bobine du centre. Ce courant crée un champ magnétique sinusoïdal au sein de cette bobine. Ce champ magnétique est localisé, canalisé et amplifié dans le noyau de fer doux. Si le noyau de fer doux est présent à l'intérieur des deux autres bobines alors par induction, comme le champ magnétique présent dans l'enceinte est variable, les bobines s'opposent à ce champ en créant une tension induite. Il en résulte une tension U_1 et U_2 aux bornes des deux bobines externes.
- En branchant les deux bobines en série et en opposition de phase on a : $U_S = U_1 - U_2$. De manière à ce que lorsque le noyau de fer doux est au centre U_S soit nulle. Et lorsque le noyau de fer doux est excentré sur la bobine 1, $U_1 > U_2 \Rightarrow U_S > 0$. Et inversement quand il est excentré sur la bobine 2.
On peut donc écrire : $U_S = U_1 - U_2 = U_b * \cos(\omega t + \varphi)$ avec $\varphi = 0$ si le noyau est dans un sens et $\varphi = \pi$ si le noyau est dans l'autre sens.
- En multipliant la tension d'entrée et de sortie et en filtrant la composante à pulsation double, on a : $U_{out} = \frac{U_a * U_b}{2} * \cos(\varphi) \propto U_b$.
- La grandeur qui nous intéresse est directement proportionnelle à la tension de sortie. En effet, comme l'induction répond à des équations linéaires, U_b évolue linéairement avec l'écart à la position centrale.
- Donc si on étalonne bien le capteur, on aura directement avec la tension de sortie U_{out} l'écart à la position centrale.

1.2 Manipulations réalisées.

1.2.1 Courbe d'étalonnage.

Comme on l'a vu avant, il faut étalonner le capteur pour ensuite pouvoir déterminer une position inconnue. C'est ce qu'on fait ici en traçant une courbe d'étalonnage.

- Pour différentes positions du noyau de fer doux, on mesure la tension U_{out} . On mesure la position à partir de la première spire de la première bobine. L'erreur sur la lecture du réglet est estimée à 1mm environ. L'erreur sur la tension est lue sur l'oscilloscope en faisant attention à la dynamique de l'oscillo.
- On trace donc la distance en fonction de la tension et on obtient donc une droite qui confirme la linéarité du problème :

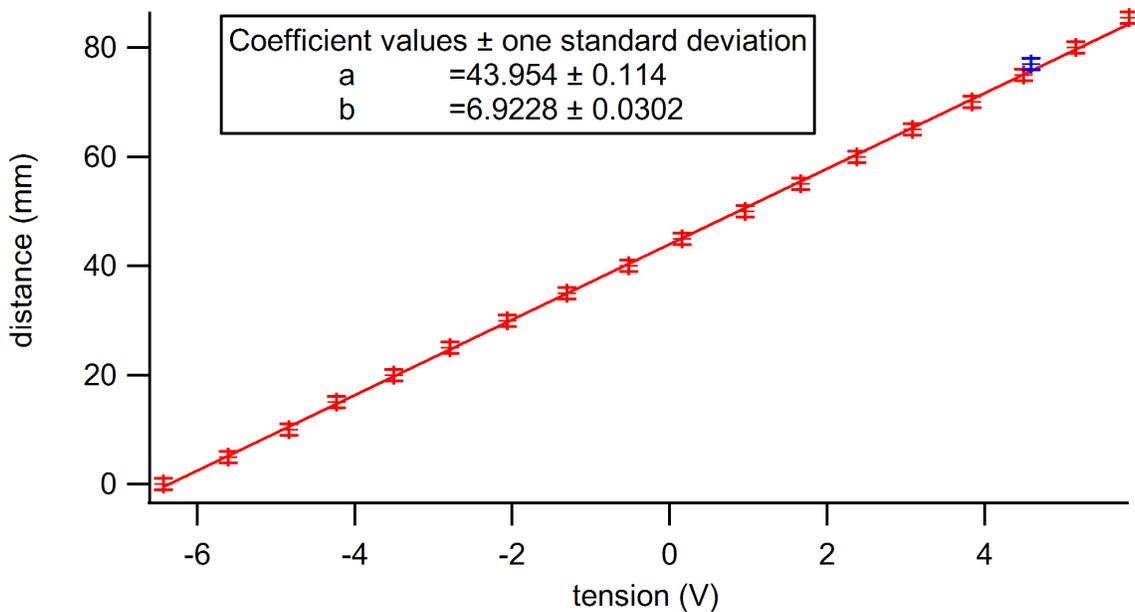


FIGURE 1: Courbe d'étalonnage

1.2.2 Manipulation à effectuer.

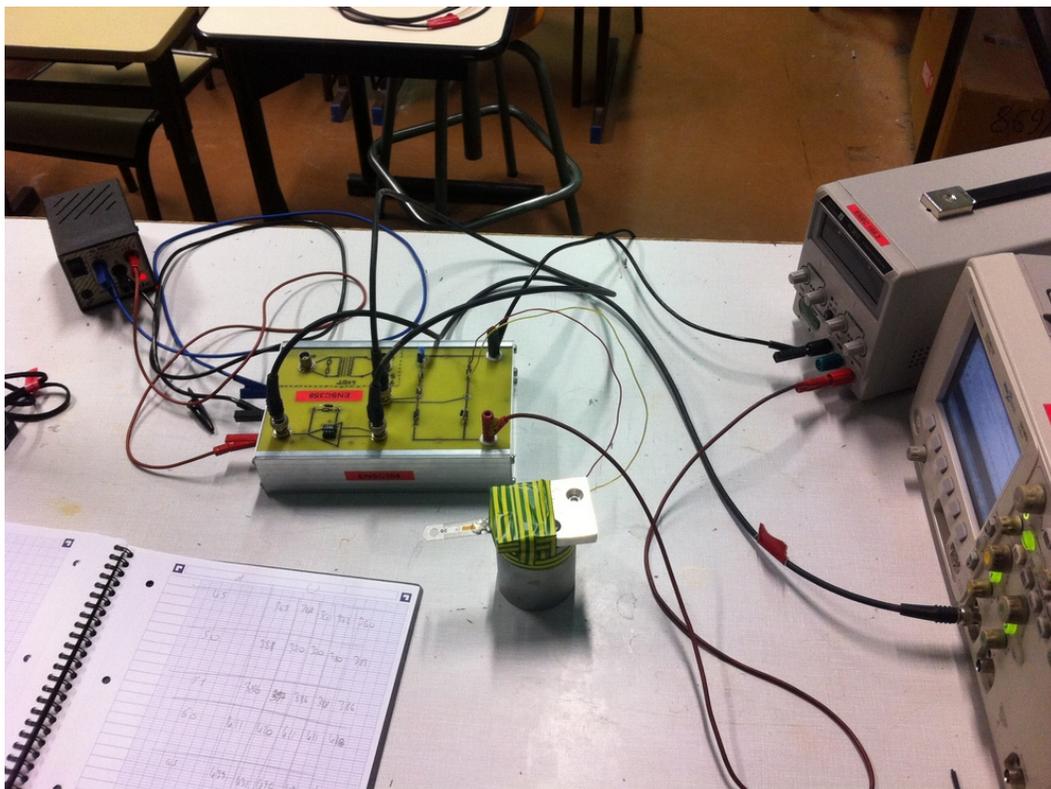
Pendant le montage on a fait deux choses :

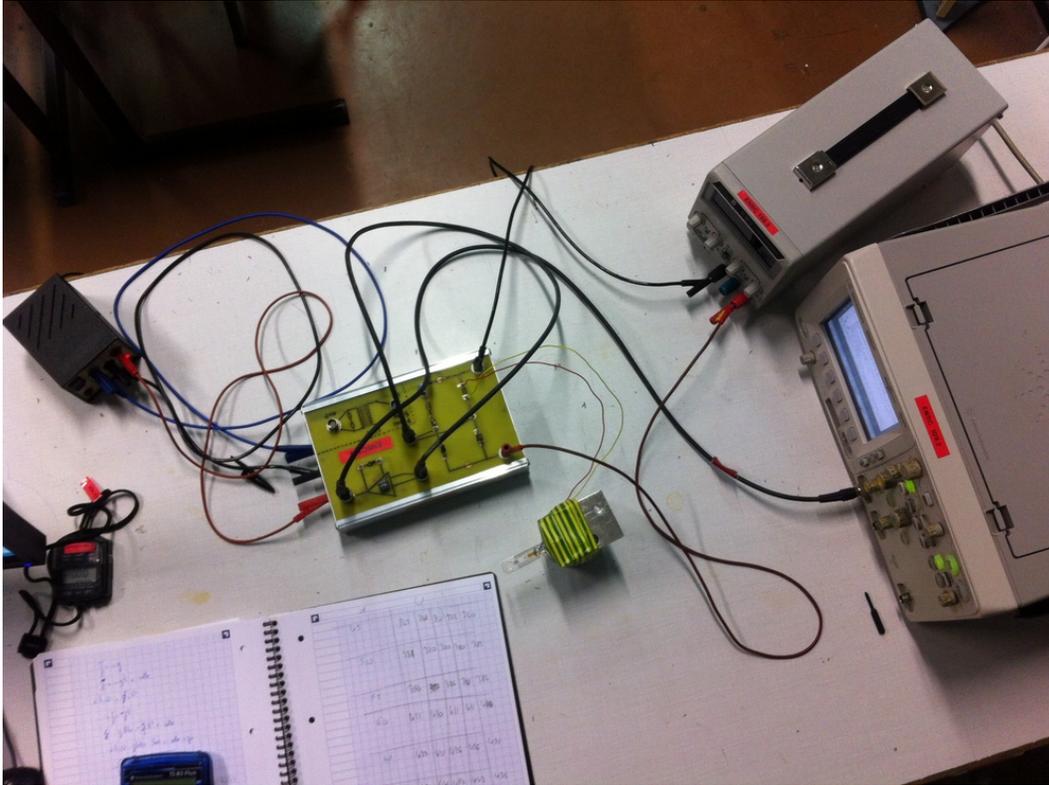
- on a rajouté 1 point à la courbe d'étalonnage.
- on a placé le noyau de fer doux à l'intérieur des bobines à une position inconnue. On regarde donc la tension obtenue et avec la courbe d'étalonnage on peut trouver la position du noyau de fer doux par rapport à la première spire de la première bobine. On vérifie ensuite avec le réglet.

2 Balance à jauge de contrainte.

2.1 Présentation.

- Ce capteur va nous permettre de mesurer des masses. Le système comporte un bout de réglet en acier de quelques cm de longueur pincé dans un support métallique assez lourd pour avoir un système stable. Une jauge de contrainte est collé au réglet. Un trou permet d'accrocher des masses au bout du réglet pour faire fléchir légèrement ce dernier et donc exercer une contrainte. On a en plus besoin d'une alimentation $+15/-15V$ pour alimenter les deux parties de la maquette. Nous avons pris au début deux alimentations mais ça ne fonctionnait pas très bien du coup, il y avait trop de bruit. Il faut donc faire attention à ne prendre qu'une alimentation ce qui est bien suffisant pour alimenter les 2 parties de la maquette avec le pont de résistance et l'amplificateur opérationnel. Par ailleurs, c'est une manip qui est assez sensible à la température ce qui peut expliquer pas mal de différence entre la préparation et le jour J.





- On utilise ici une jauge résistive. La variation de sa résistance est donc fonction de sa déformation. Or elle est collée au réglet donc sous l'action d'une contrainte (ici un poids), le réglet se déforme, la jauge aussi. Et la résistance varie proportionnellement à la contrainte.
- Par contre la variation de résistance relative de la jauge est très faible. Du coup, on intègre la jauge à un pont de résistance et la sortie est envoyé à un amplificateur différentiel de tension à gain élevé.

$R_j \approx 120\Omega$ sans contrainte sur la jauge.

R_1 et $R_2 = 5000\Omega$: résistances de précision à 0,1%, limitant l'échauffement.

R_v : résistance variable (autour de 120Ω).

On a donc : $U_s = U_{dec} + A * (U_a - U_b) = A * e * \left(\frac{R_v}{R_1 + R_v} - \frac{R_j}{R_2 + R_j} \right) + U_{dec}$ avec U_{dec} la tension de décalage lié à l'amplificateur opérationnel.

- Au repos, on ajuste R_v tel que $R_v = R_j$. On a donc :

Au repos : $R_v = R_{j0} \Rightarrow U_s = U_{dec}$.

Avec contrainte : $R_j = R_{j0} + \Delta R$ et $R_1 + R_v \approx R_2 + R_j \Rightarrow U_s = U_{dec} + A * e * \frac{\Delta R}{R_1 + R_v}$.

On a donc en relatif une tension proportionnelle à la variation de résistance, donc à la déformation donc à la masse.

2.2 Mesures réalisées.

2.2.1 Courbe d'étalonnage.

Pour réaliser la courbe d'étalonnage on utilise différents poids (ATTENTION A NE PAS DÉPASSER 200 g). On a décider de faire un traitement statistique du fait des mesures délicates et

donc des erreurs assez difficiles à estimer. On fait donc 5 fois la même mesure avec un même poids. Avant chaque mesure on essaye avec la résistance variable de mettre le niveau de tension à 0 V. Et ensuite on place le poids au bout du réglet et on regarde la tension due à la déformation. On refait ces deux mesures 5 fois pour un même poids donc. Pour estimer les erreurs sur la tension on fait donc un traitement statistique et pour l'erreur sur la masse utilisée on utilise la documentation de la balance utilisée. On peut donc ensuite tracer notre courbe d'étalonnage de la tension en fonction de la masse et on obtient une droite :

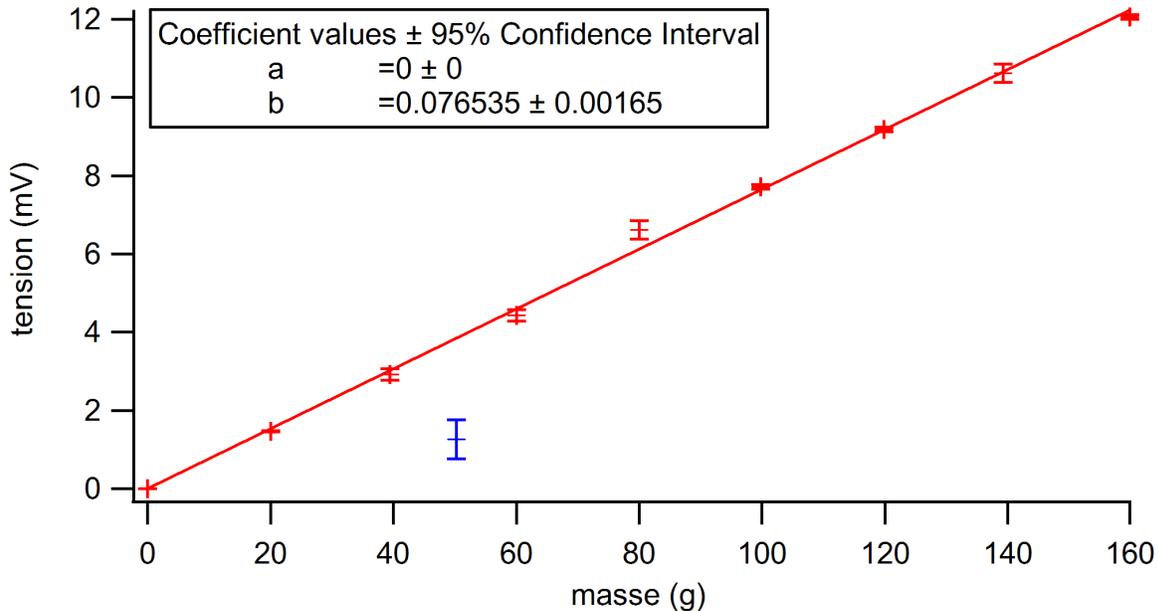


FIGURE 2: Courbe d'étalonnage

2.2.2 Manipulations effectuées lors du montage.

Pendant le montage on a eu quelques problèmes car nous avons donc pris 2 alimentations donc on a quand même voulu reprendre un point pour mettre sur la courbe d'étalonnage en faisant deux fois la mesure avec un même poids connu. Comme attendu, notre point n'est pas retombé du tout sur la courbe de préparation. Ensuite ce qu'il faut faire c'est prendre un objet de masse inconnue, pas trop lourde mais suffisamment quand même et la placer au bout du réglet. Mesurer la tension obtenue et à partir de la courbe d'étalonnage déterminer la masse de cet objet à comparer avec une mesure directe sur une balance.

3 Chute d'un aimant dans un tube.

3.1 Présentation.

- On veut ici étudier un capteur qui va nous permettre de remonter à la vitesse d'un objet qui sera ici un aimant. On utilisera comme capteur de simples bobines de quelques dizaines de spires. En chute libre, l'aimant aura donc une certaine vitesse au niveau de la bobine. La bobine va donc ressentir un champ magnétique variable qui va créer une tension induite.
- Comme tout à l'heure, l'induction est un phénomène linéaire donc on aura proportionnalité entre la vitesse et la tension induite. A partir de là on va pouvoir tracer une courbe d'étalonnage de la vitesse en fonction de la tension.
- Le problème est de connaître la vitesse à un endroit donné. On choisit d'utiliser le modèle de la chute libre dans le tube en plastique. On connaît les équations. Avec une vitesse initiale v_0 on aura : $z(t) = -g\frac{t^2}{2} - v_0t$. Et sans vitesse initiale on a $v(z) = \sqrt{2g(z_0 - z)}$ avec z_0 l'origine du repère. On fait cela car comme la bobine ne peut pas être fixée exactement au bout du tube il faut considérer que l'aimant a une vitesse initiale non nulle si on fixe l'origine du repère au niveau de la bobine.
- Avant d'étalonner on vérifie que notre modèle correspond bien. On trace z en fonction de t . Pour cela, on fixe un capteur à l'extrémité du tube (le plus haut possible). On fixe l'origine des temps à cet extrémité. Du coup l'aimant a une vitesse initiale v_0 . Théoriquement on doit avoir $v_{0théo} = 0.67 \pm 0.03$ m/s.
- On déplace ensuite un deuxième capteur et on pourra connaître z en mesurant la distance entre les deux capteurs et on mesure le temps de chute entre les deux capteurs avec l'oscilloscope. On peut donc ensuite tracer la courbe d'étalonnage et on voit que notre modèle de la chute libre convient assez bien car il y a un bon accord avec notre valeur de v_0 .

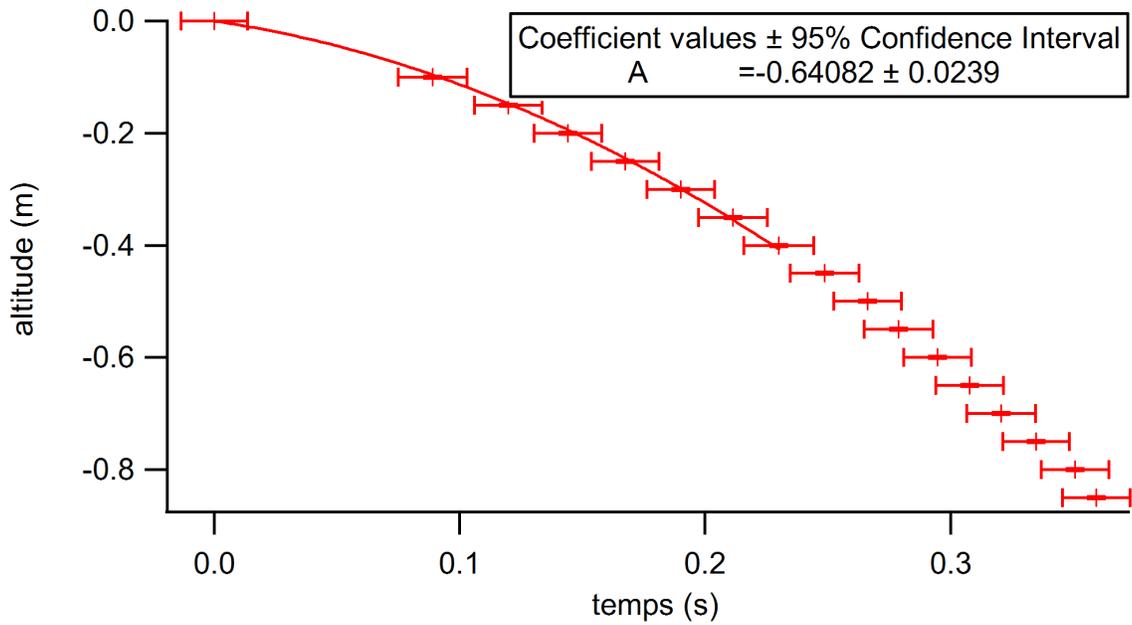


FIGURE 3: Courbe de validation de la chute libre.

– On peut donc essayer de déterminer une vitesse avec ce capteur.

3.2 Mesures réalisées.

3.2.1 Étalonnage.

On ne va maintenant utiliser plus qu'une seule bobine. Pour différentes valeurs de la vitesse de l'aimant on relève la tension induite avec l'oscilloscope. Et on va tracer la vitesse en fonction de la tension.

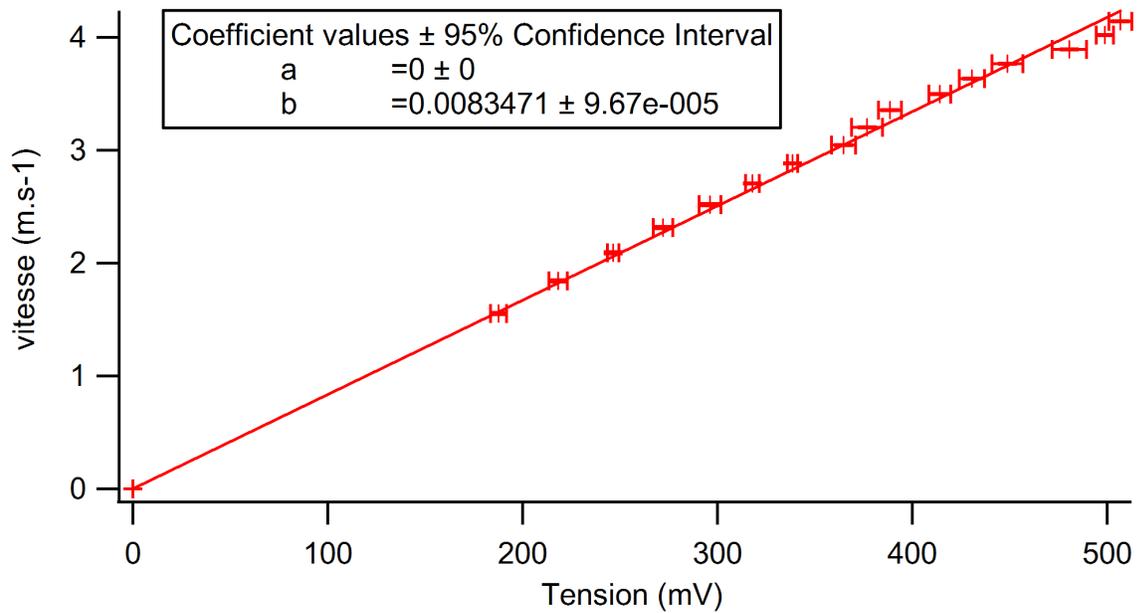


FIGURE 4: Courbe d'étalonnage

3.2.2 Détermination de la vitesse.

Pour déterminer la vitesse dans les autres tubes on suppose que la vitesse est constante dans le tube après une courte distance de régime transitoire. On place donc le capteur n'importe où sur le tube (pas trop haut et pas trop bas quand même) et on va faire chuter l'aimant dans ce tube. On peut donc relever la tension induite et déterminer la vitesse avec la courbe d'étalonnage faite avant. On a obtenu : $v_{laiton} = 0.6$ m/s et $v_{alu} = 0.39$ m/s ce qui est cohérent avec les conductivités de ces tubes car la vitesse varie avec l'inverse de la conductivité.

4 Questions et Remarques.

- Application pour le capteur avec les 3 bobines? Plus pour un asservissement de position que pour une mesure directe. On peut contrôler un verin et avoir une image directe de la position qui nous intéresse.
- Comment choisir la fréquence dans ce même capteur? On a un système inductif donc plus la fréquence est grande plus on aura de signal mais il ne faut pas trop monter pour ne pas avoir un signal trop fort quand même. Et une bobine, quand on monte en fréquence a une impédance de plus en plus grande et donc on a des effets capacitifs car une bobine peut être vu comme beaucoup de condensateur car on a des conducteurs et des isolants qui forment les spires.
- Nombre de spires pour les bobines? Si on veut augmenter le niveau de signal on peut augmenter le nombre de spires à gauche et à droite.
- Intérêt du multiplicateur et du filtre passe-bas? Même effet que la détection synchrone. On a une tension proportionnelle à l'écart à la position centrale \Rightarrow changement de signe. On a l'info de savoir si on est à gauche ou à droite de la position centrale.
- Pour valider la courbe d'étalonnage on a pris une règle, est-ce que ça pose un problème? Si la règle est ferromagnétique il faut faire attention. Il ne faut pas prendre la tension quand la règle est encore à l'intérieur des bobines.
- Remarque : Il faut faire attention à la dynamique de l'oscillo et aux erreurs quand on lit directement sur l'oscillo. Il faut dilater au maximum en gardant le zéro et la marque sur l'écran quand même.
- Sur la deuxième expérience : choix de R1 et R2? Pas trop grandes à priori pour éviter l'auto-échauffement mais assez grand pour avoir du signal qui est très faible.
- Rq : L'AO différentiel sert à amplifier le signal entre la borne - et la borne +. Il est souvent utilisé à la sortie d'un pont.
- Rq : Il serait mieux d'utiliser un voltmètre de précision ce qui est conseillé quand on doit mesurer une tension continue.
- Pour la dernière expérience : pourquoi prendre 2 bobines? Pour valider le modèle de la chute libre.
- Rq : Pour les mesures de cette dernière expérience : plutôt faire dans un tube et comparer deux techniques : mesure de vitesse avec le temps de vol et donc avec deux bobines et la comparer à la vitesse avec la tension induite.
- Jusqu'à quel point on peut dire qu'on a un capteur de vitesse instantanée? Il faudrait que la

bobine soit infiniment fine et que l'aimant soit très petit. On mesure en réalité ici une vitesse moyenne car on a pas des objets infiniment fins.

- Rq : On pourrait donner les gains des capteurs (pente des droites tracées)
- REMARQUE IMPORTANTE : Dans cette dernière manip on s'est posé beaucoup de questions lors de la présentation avec JBD sur les erreurs liées aux effets inductifs qui peuvent entrer en jeu dans les tubes conducteurs alors que dans le tube en plastique dans lequel on fait l'étalonnage on a pas cet effet. IL FAUDRAIT DONC REMPLACER CETTE MANIP PAR L'EFFET DOPPLER POUR GARDER UN CAPTEUR DE VITESSE MAIS SANS INDUCTION.
- Bien utiliser qu'une seule alimentation pour la deuxième expérience et utiliser un voltmètre de précision pour avoir de meilleures mesures et des erreurs plus facile à estimer pour la première et la deuxième expérience.

5 Tableau.

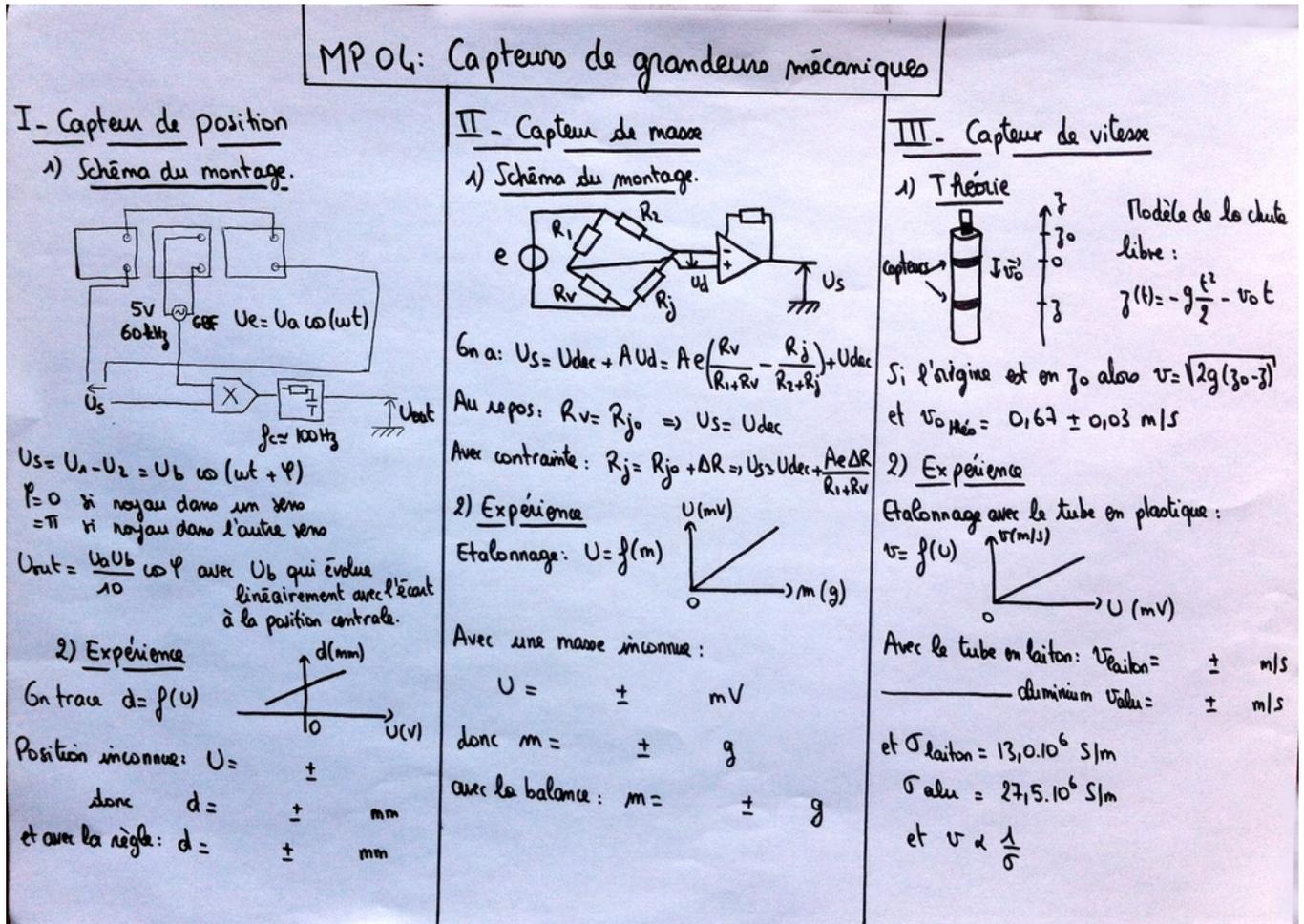


FIGURE 5: Tableau

Références

- [1] 1ère expérience : pas de référence car manip imaginée par JBD donc à retenir.
- [2] 2ème expérience : Notice d'utilisation de la plaquette à jauge de contrainte.
- [3] 3ème expérience : Tp des L3.