

Balance avec jauge de contrainte : capteur de force mécanique

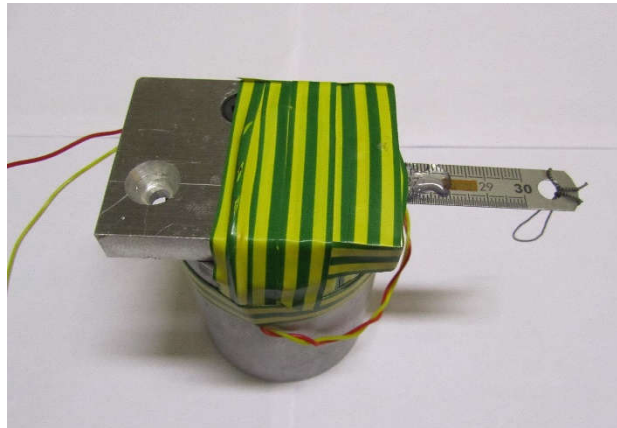
Introduction :

L'objectif de ce système est d'utiliser la variation de résistance d'une jauge de contrainte collée sur une lame d'acier assez souple soumise à une contrainte mécanique pour réaliser un capteur de force.

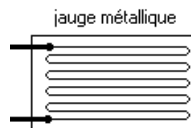
La variation de résistance obtenue par la flexion de la lame n'est pas directement exploitable car trop faible. On va placer cette résistance dans un pont et étudier la tension de déséquilibre résultant de la variation de résistance de la jauge provoquée par la force appliquée. Cette tension sera amplifiée par un amplificateur différentiel.

Le matériel :

- Le système auquel on applique la force à mesurée avec sa jauge de déformation (Ref : **PhG1.A.JaugeContr**).



La jauge de contrainte est destinée à rendre compte d'allongements mécaniques. Dans la plupart des cas, on utilise des jauges résistives (variation de la résistance du capteur fonction de la déformation). Elles sont collées sur le système dont on veut connaître l'allongement. Leurs dimensions usuelles sont de l'ordre du mm au cm. Partant de la déformation, donnée par ce type de capteur, on peut remonter à d'autres grandeurs, suivant les caractéristiques du système étudié (contraintes, couple...). La structure des jauges se présente sous la forme suivante :



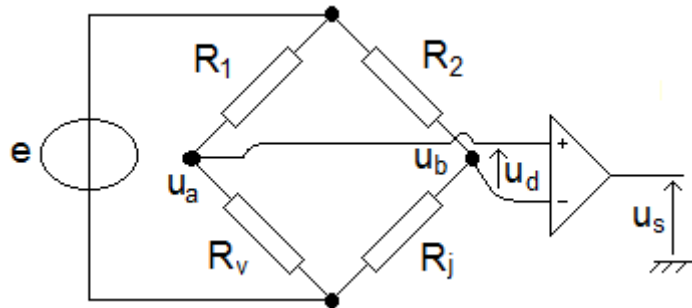
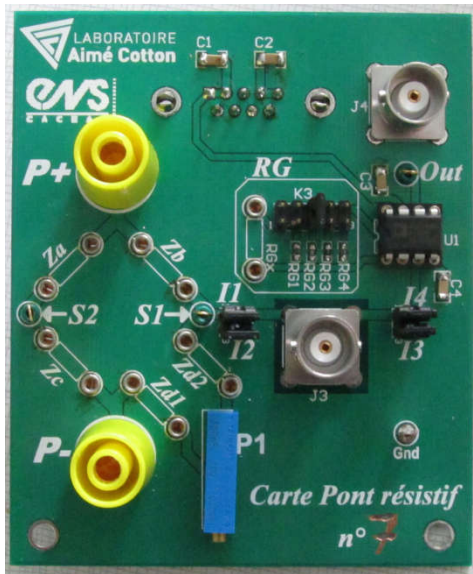
Sur ce dispositif, on utilise une jauge résistive de 120Ω . Sous l'action d'une contrainte, la jauge collée au système étudié va, elle aussi, se déformer. Dans le cas d'une jauge résistive présentant une structure conductrice linéique de longueur l_j , et de résistance R_j , on a

$$\frac{\Delta R_j}{R_j} = K \cdot \frac{\Delta l_j}{l_j}$$

K est le facteur de jauge. K est donc souvent voisin de 2 dans les jauges métalliques.

- Le pont résistif et son amplificateur différentiel (Ref : **PhE6.R.Pont**).

Pour réaliser le pont on va utiliser la carte fille de pont résistif amplifié et la carte mère associée



La variation de résistance relative de la jauge pour les allongements étudiés est très faible. On ne peut pas l'étudier directement. En pratique, la jauge sera intégrée dans un pont de résistances et la sortie sera envoyée sur un amplificateur différentiel de tension à grand gain (ce gain sera noté A et supposé réel à la fréquence de travail). Il présente une tension de décalage U_{dec} . Cet amplificateur différentiel sera réalisé avec un composant AD620. Si u_p est la tension d'entrée appliquée sur l'ampli, la tension de sortie u_s est donnée par

$$u_s = U_{dec} + A \cdot u_d$$

La jauge utilisée a une résistance de R_j voisine de 120Ω . Sans contrainte sur la jauge, $R_j = R_{j0}$. Les résistances R_1 et R_2 sont des résistances de précision à 0,1% (par exemple $R = 1000\Omega$ ou plus si on souhaite limiter l'autoéchauffement). La résistance R_v est une résistance variable dont la valeur est ajustable assez finement, par exemple autour de 120Ω , pour pouvoir amener la tension u_d à 0 sur le voltmètre de mesure.

En sortie de l'amplificateur, la tension u_p est reliée à la tension e par la relation

$$u_s = U_{dec} + A \cdot (u_a - u_b) = U_{dec} + A \cdot e \cdot \left(\frac{R_v}{R_1 + R_v} - \frac{R_j}{R_2 + R_j} \right)$$

On ajuste R_v pour que $u_a - u_b$ s'annule sans déformation de la jauge (au repos). On a alors

$$(R_1 + R_v) \cdot R_{j0} = (R_2 + R_{j0}) \cdot R_v$$

En présence de contrainte sur la jauge, $R_j = R_{j0} + \Delta R$. On supposera que $R_1 + R_v \approx R_2 + R_{j0}$, cette somme de résistance sera notée R_p par la suite. La relation précédente peut alors s'écrire

$$u_s = U_{dec} - A \cdot e \cdot \frac{R_1}{(R_1 + R_v) \cdot (R_1 + R_v)} \cdot \Delta R \approx U_{dec} - A \cdot e \cdot \frac{R_1}{R_p^2} \cdot \Delta R$$

Sur les deux fiches bananes jaunes, on appliquera une tension e soit sous forme continue entre 0 et 15V soit sous la forme d'une tension sinusoïdale de $20V_{pp}$ (sortie d'un GBF 33220A). On peut regarder directement la tension de déséquilibre sur la borne BNC « J3 » ou alors regarder la tension de déséquilibre amplifiée par l'amplificateur différentiel sur la borne BNC « J4 ». Des cavaliers permettent de relier ou non le pont à l'amplificateur différentiel. A priori, travailler ici avec une tension de pont sinusoïdale en vue d'une détection synchrone n'a pas grand intérêt ici. Nous avons donc travaillé avec une tension e continue de 15V.

Les expériences :

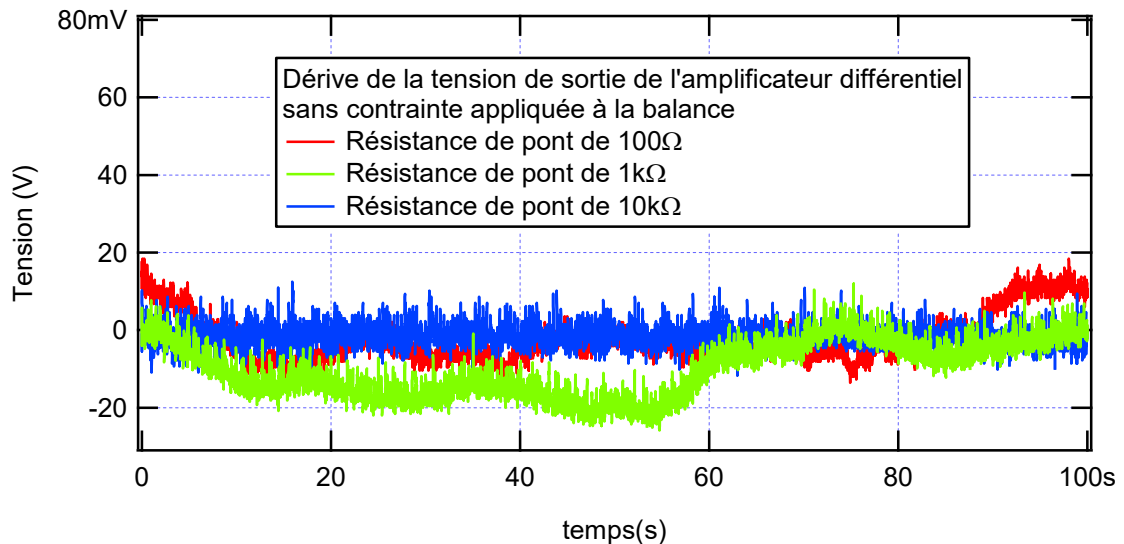
Test préliminaire : dérive de la tension avec la température

Suivant les valeurs de résistances prises pour R_1 et R_2 (prises très proches l'une de l'autre), le courant qui va traverser les deux bras du pont prend des valeurs plus ou moins grandes. Pour des valeurs élevées de résistance, les courants sont faibles et les variations de résistances par autoéchauffement peuvent être jugées assez faibles

pour être négligées. En revanche, le gain du pont sera faible. Pour des valeurs faibles des résistances, le gain sera important et mais les effets d'autoéchauffement seront importants.

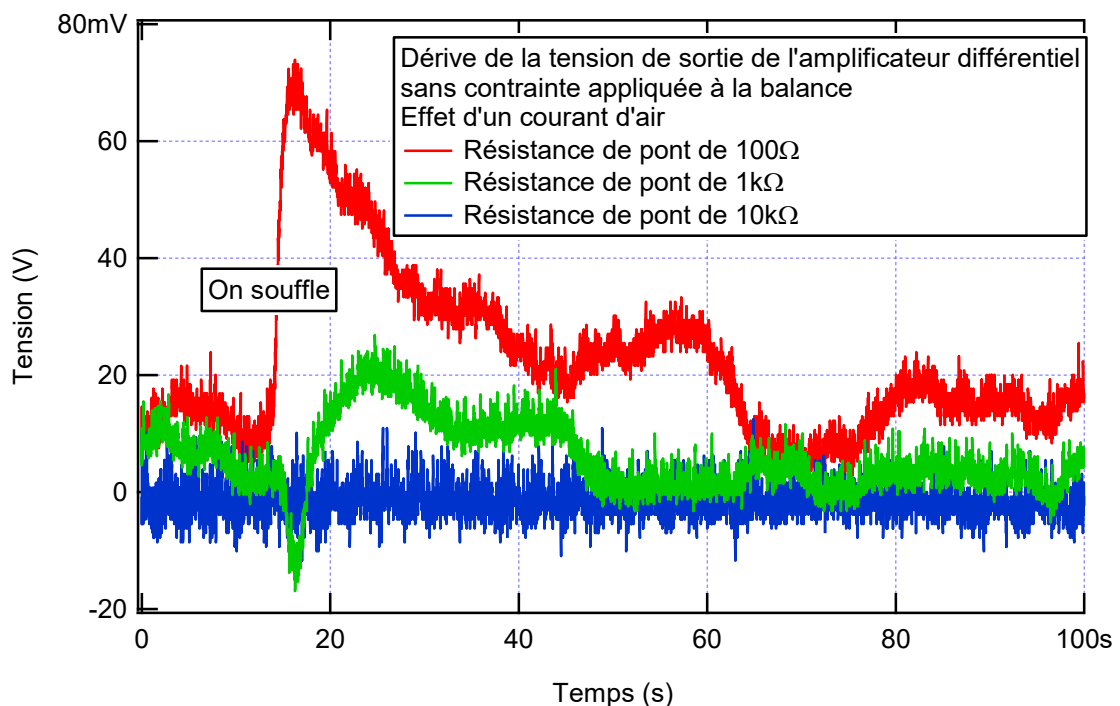
On a équilibré le pont polarisé sous une tension continue de 15V avec des résistances R_1 et R_2 qui valent soit 100Ω (fort gain, fort effet d'autoéchauffement), soit $1k\Omega$ (situation intermédiaire), soit $10k\Omega$ (faible gain et faible effet d'autoéchauffement).

Nous avons relevé le « zéro » fait pour les trois configurations du pont (couple de résistances de 100Ω , $1k\Omega$, $10k\Omega$) ce qui conduit aux signaux suivants :



Pour des valeurs proches de $10k\Omega$ pour R_1 et R_2 , le zéro est plus stable. En revanche, pour $1k\Omega$ et 100Ω , il fluctue beaucoup plus fortement.

Sur la figure suivante on observe ce qui se passe quand on souffle sur le pont :

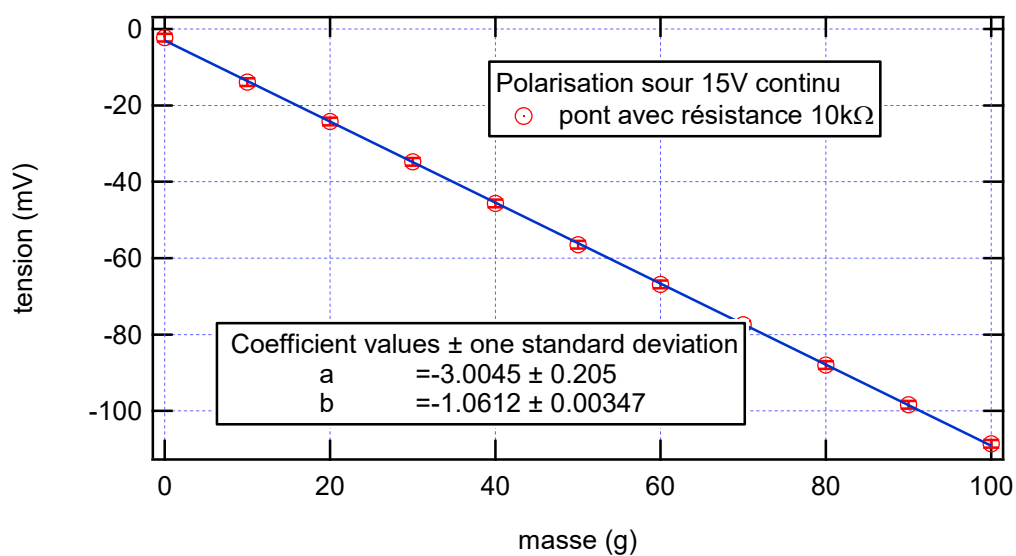
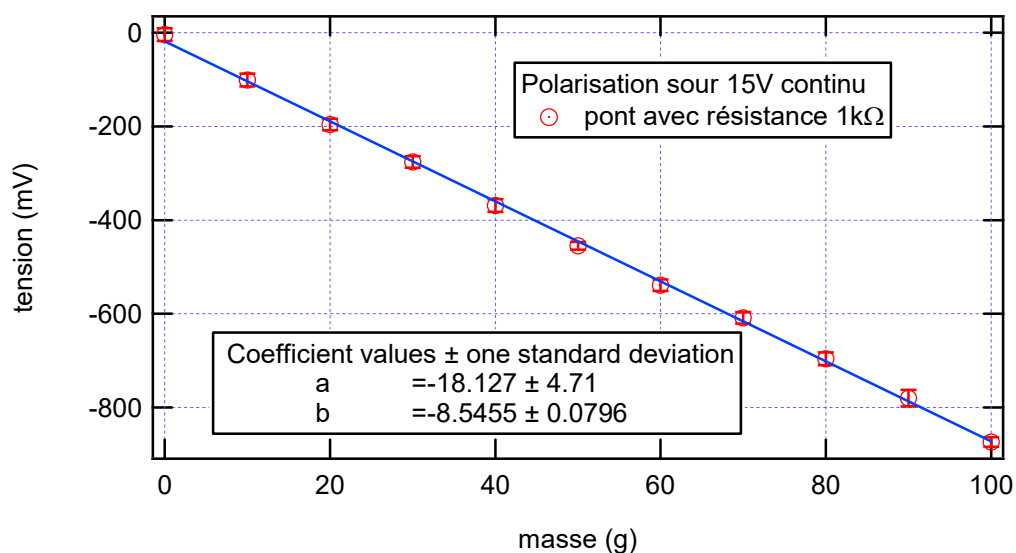
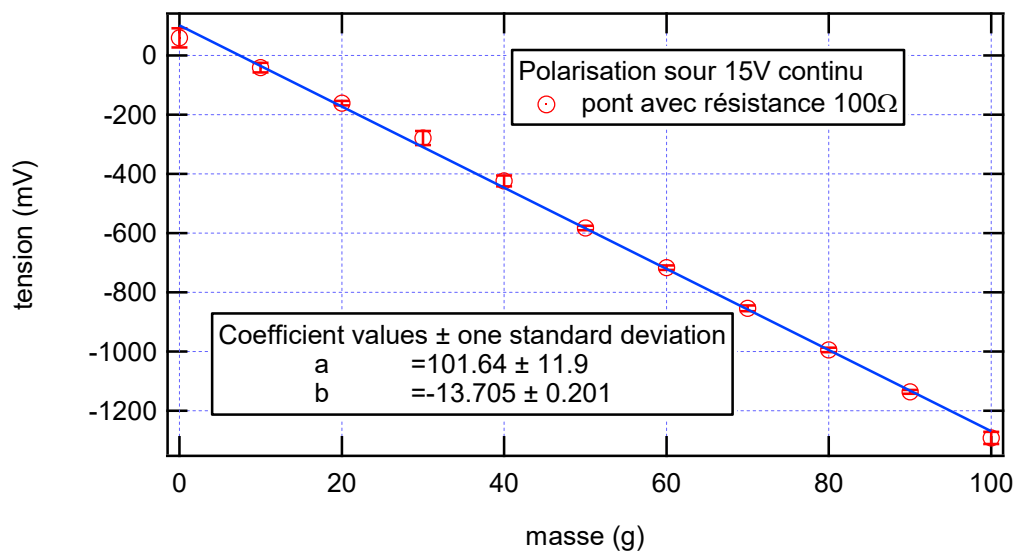


Là encore, on constate que les courants d'air ont beaucoup moins d'effet pour des valeurs de $10k\Omega$

Etalonnage de la balance, reproductibilité des mesures :

On a relevé le signal de l'amplificateur différentiel pour différentes masses après réalisation d'un zéro sans contrainte. L'opération a été réalisée avec des résistances de pont R_1 et R_2 de 100Ω , $1k\Omega$ puis $10k\Omega$ et les données ont été ajustées avec une fonction de type $a+b.x$.

On a obtenu les courbes suivantes :



On constate que le niveau de signal est évidemment plus fort quand la valeur des résistances est faible ce qui est conforme au gain du pont. Dans le cas des valeurs de résistance fortes, les points sont mieux alignés car les

valeurs fluctuent moins. Dans ce cas, avec le système réalisé, la sensibilité est proche de 1mV/g . La résolution est légèrement inférieure au g.

Pour les valeurs plus faibles de résistances, les mesures fluctuent beaucoup plus fortement en raison des effets de variation de température. La sensibilité est plus forte, mais la mesure est plutôt de moins bonne qualité.

Expériences et rédaction du document : J.B. DESMOULINS, avril 2021