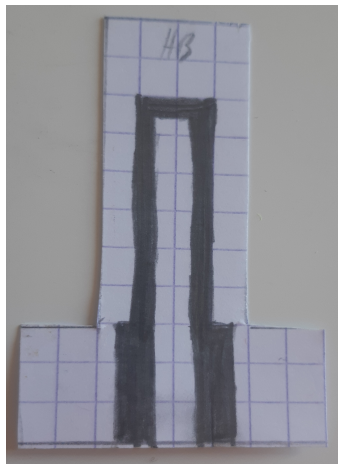

Jauge de déformation "low-tech" en papier et graphite



Caractéristiques principales

- Piezo-résistif
- Mesure de déformation
- Transportable
- Respectueux de l'environnement
- Très peu cher (de l'ordre du centime d'euro)
- Low-tech

Description générale

Ce capteur de déformation repose sur les principes de la physique des systèmes granulaires. La composition extrêmement simple de ce capteur, un dépôt de couches de graphite sur un support en papier, permet d'exploiter le comportement des réseaux de percolation des nano-particules de graphite lorsque ceux-ci sont contraints.

En effet, la résistance de la couche de graphite réside principalement en la résistance intra-grain, directement liée au réseau percolé. Toute modification de ce réseau entraîne une variation de résistance. Le phénomène exploité par ce capteur est la variation linéaire de cette résistance en fonction de la déformation du capteur soumis à une certaine contrainte.

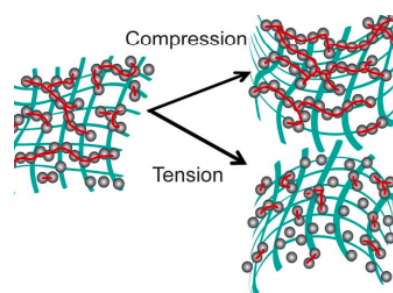


FIGURE 1 – Modification du réseau percolé des particules de graphites sous l'effet d'une déformation

La résistance de la couche de graphite pouvant être élevée, ce document sera accompagné d'une description détaillée d'un circuit d'amplification transimpédance, développé afin de pouvoir utiliser le capteur dans des conditions optimales.

Spécifications générales

Type	Jauge de déformation
Principe	Piézo-résistif, effet tunnel, physique granulaire
Matériaux	Graphite (4H pour le moins gras), fibres cellulosiques végétales
Type de capteur	Passif
Mesurande	Résistance
Applications	Mesures d'extensométrie, balance
Dimensions du capteur	
Dimension du motif de graphite	

Spécifications techniques

	Unité	Min	Typ	Max
Range	Ω	$3 * 10^5$	$1 * 10^6$	$50 * 10^6$
Temps de réponse	s	-	< 1	-
Temps de stabilisation	s	2	5	50
Température	°C	-	21	-
Poids	g	-	< 1	-
Sensibilité	$\frac{\Delta R * l}{\Delta l * R}$	5	15	50

Conditionneur (Amplificateur transimpédance)

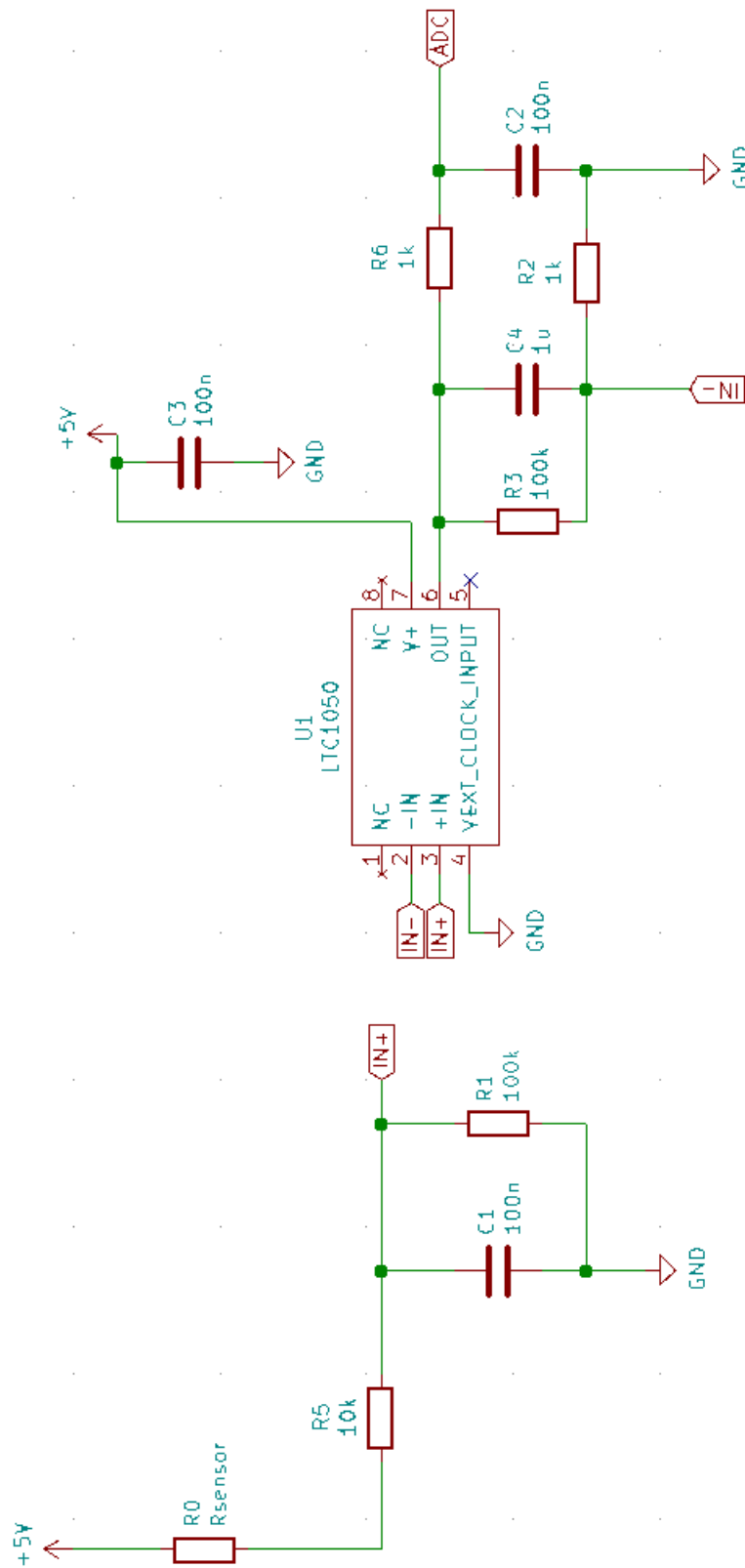


FIGURE 2 – Schéma électrique du conditionneur

$$R_{sensor} = (1 + (R_3/R_{cal})) * R_1 * V_{cc}/V - R_1 - R_5 \quad (1)$$

Avec $R_{cal} = R_2$, $V_{cc} = 5V$ et $V = V_{ADC}$, la valeur de la tension à la sortie du circuit.

R2 Ohm	R_max Ohm	R_min Ohm
1k	50M	9,99M
10k	5,4M	990k
100k	90k	890k
1M	0	440k
10M	0	395k

FIGURE 3 – Influence de R2 sur la plage de résistance mesurable

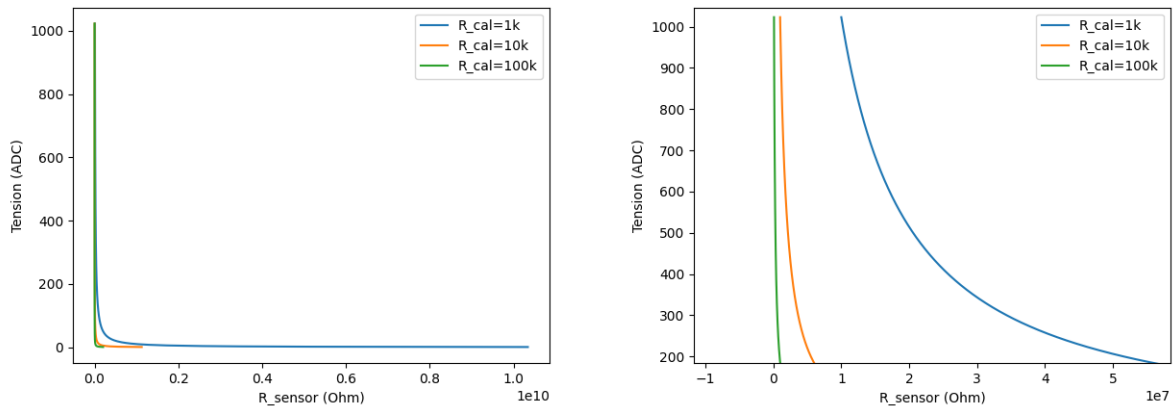


FIGURE 4 – Variation de la tension à la sortie de l'amplificateur (codée sur 10bits) en fonction de la résistance du capteur et pour différentes valeurs de R2.

Influence de la résistance R2

La résistance R2 est la résistance de calibration du gain de l'amplificateur. Elle va ainsi définir la plage de mesure de la résistance du capteur. En se plaçant dans le cas d'une utilisation avec une carte Arduino Uno, on a une résolution en tension de 0,005V. En prenant $V_{max} = 5V$ et $V_{min} = 0,005V$ on peut calculer les plages de résistances mesurables en fonction de la résistance de calibration (tableau 3).

Il est important d'avoir conscience de la variation de la tension à la sortie du circuit du conditionneur en fonction de la résistance que l'on souhaite mesurer. En effet on se rend compte avec la figure 4 que pour les valeurs de résistance les plus faibles, de petites variations de résistances entraînent de grandes variations de tensions et une mesure optimale. C'est d'autant plus vrai que la résistance de calibration est importante. Il est donc nécessaire d'ajuster la résistance de calibration afin de travailler dans la zone de fonctionnement voulue.

Modules additionnels

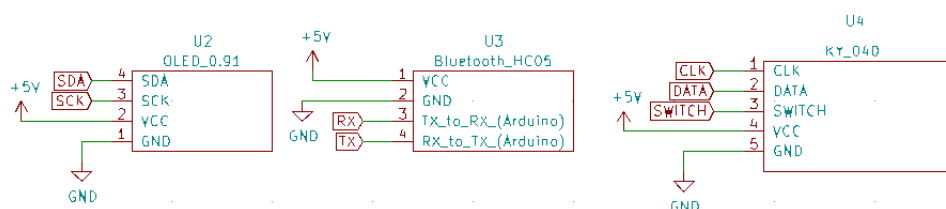


FIGURE 5 – Schéma électrique des modules additionnel. De gauche à droite, écran OLED, module Bluetooth HC05, encodeur rotatoire KY40.

Un shield pouvant s'enfiler sur une carte Arduino Uno et constitué du circuit de conditionnement, ainsi que des modules complémentaires (figure 5 a été développé. La tension de sortie est comprise en 0 et 5V et est convertie par la carte Arduino sur 10 bits.

Étalonnage du capteur

Les propriétés physiques du capteur sont très sensibles à l'environnement extérieur, et se retrouvent facilement modifiées. Il est donc conseillé d'effectuer un étalonnage régulier du capteur, juste avant et pendant son utilisation.

L'étalonnage consiste à trouver le facteur de jauge k tel que,

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \frac{\Delta l}{l}$$

Il existe plusieurs moyen de déterminer ce facteur, comme par exemple en utilisant la théorie des poutres.

En appliquant une force à l'extrémité du capteur tout en fixant l'autre, et en restant dans un contexte de petites déformations, il est facile de remonter à la déformation en assimilant le capteur à une poutre. En effet, la force appliquée à l'extrémité du capteur entraîne une déflexion (m) :

$$\delta = \frac{F * l^3}{3 * E * I} \quad (2)$$

Avec, F la force appliquée (N), l la longueur du capteur (m), E le module de Young du support (Pa) , et I le moment quadratique du capteur (m^4) selon l'axe perpendiculaire à la normale du capteur.

$$I = \frac{L * e^3}{12} \quad (3)$$

Avec L la largeur du capteur (m), et e l'épaisseur (m).

En combinant 2 et 3 on obtient,

$$\delta = \frac{4 * F * L^3}{E * L * e^3}$$

Puis en utilisant la loi de Hook,

$$\sigma = \epsilon * E$$

et la contrainte uniaxiale dirigée dans le sens de la longueur sous une force F appliquée à l'extrémité du capteur,

$$\sigma = \frac{l * F * 6}{L * e^2}$$

on établit :

$$\epsilon = \frac{3 * e}{2 * l^2} * \delta$$

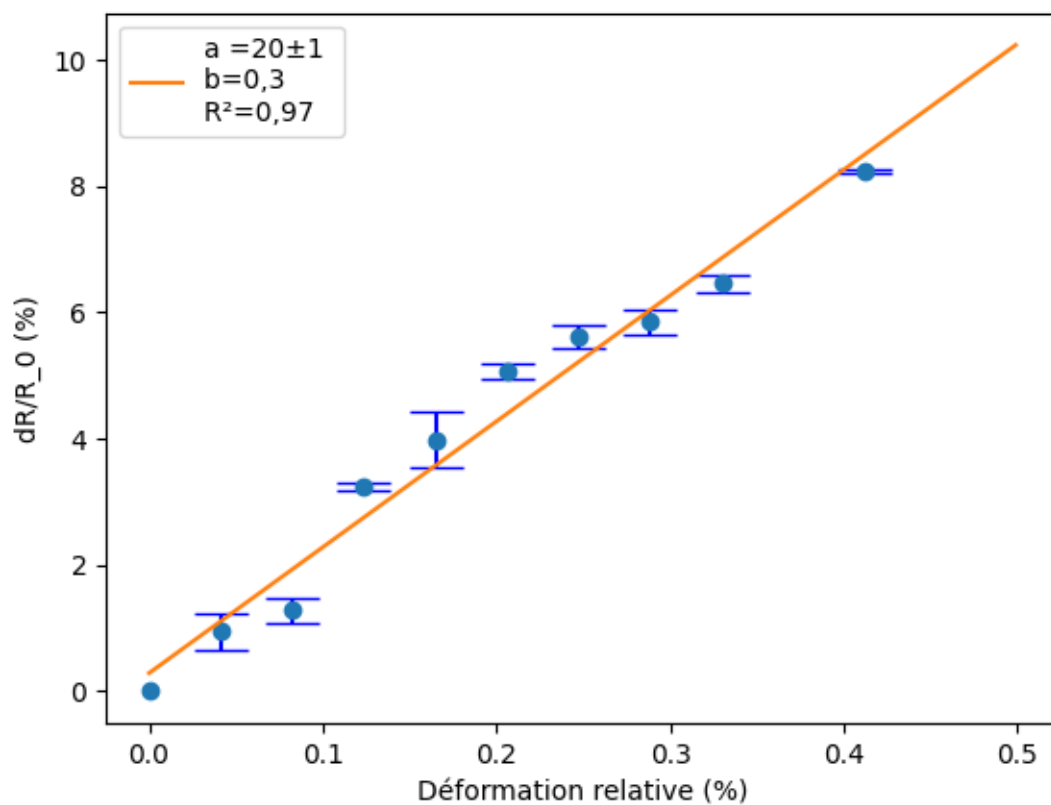
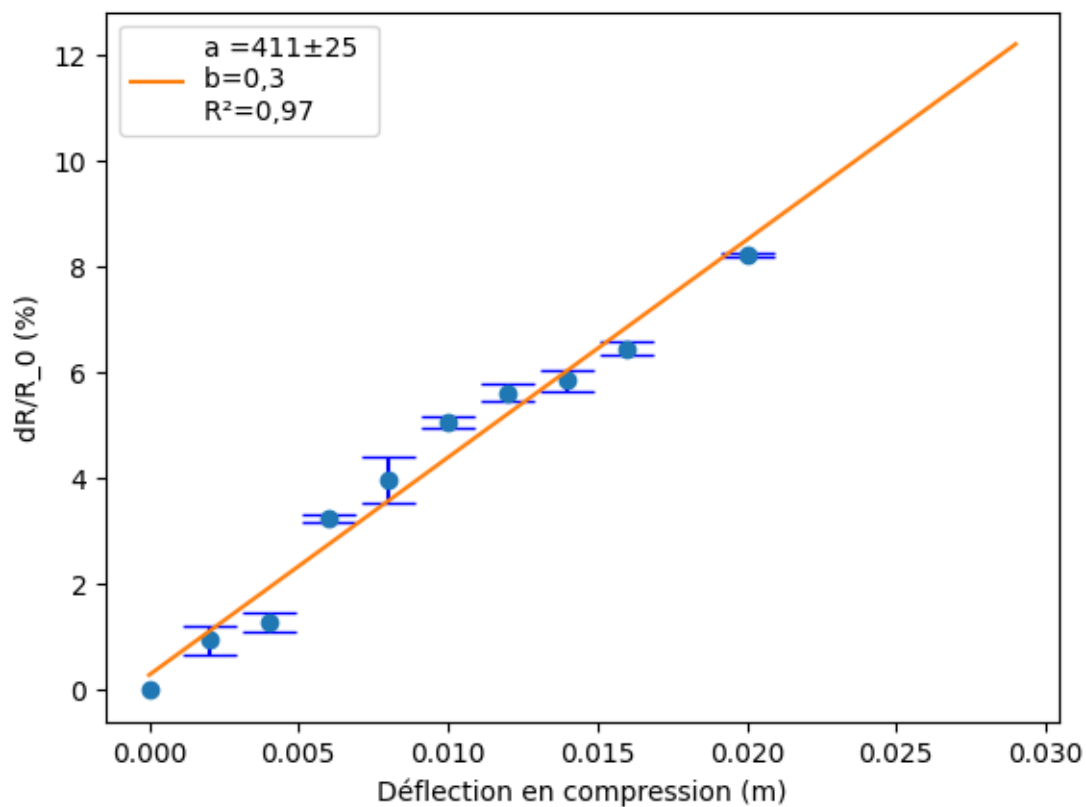


FIGURE 6 – Exemple de courbes d'étalonnages. Capteur de type 1, graphite HB et papier Bristol 205g.