

# Jauge de contrainte graphite

## Caractéristiques principales

- Grande sensibilité
- Faible consommation de courant
- Peu coûteux
- Facile d'utilisation
- Léger et petit
- Temps de réponse faible

## Description

Ce capteur permet de mesurer les variations de résistance du graphite suivant deux types de déformation : compression et tension. Il est constitué d'un morceau de papier souple colorié à l'aide de crayon papier (9H, 2H, HB, 2B, 6B, 9B). La variation de résistance est basée sur les réseaux percolés du graphite. En effet, supposons que le morceau de papier soit placé horizontalement. Si on applique une déformation vers le bas (tension) les particules de graphite vont s'éloigner les unes des autres ce qui va briser certains chemins de percolation qui ne vont donc plus conduire le courant : la résistance augmente. En revanche, si on applique une déformation vers le haut (compression), les particules de graphite vont former de nouveaux chemins de percolation : la résistance diminue.

## Schéma & dimensions

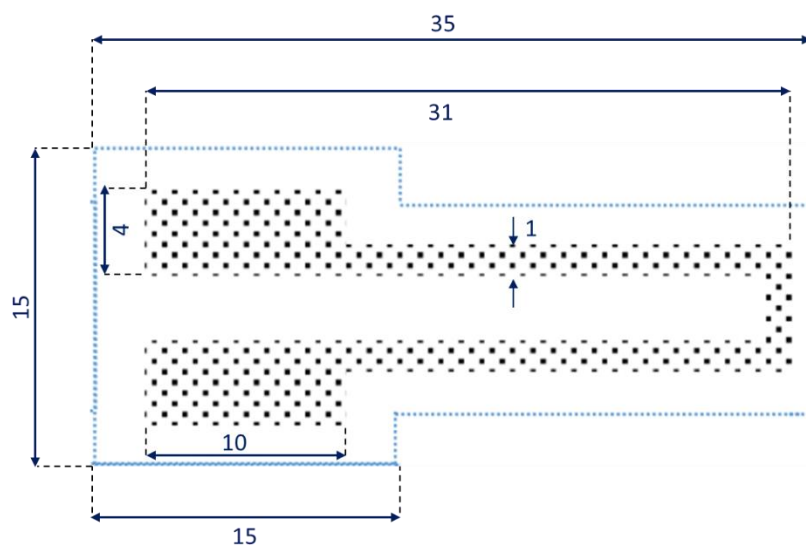


Figure 1 : Schéma du capteur avec ses dimensions (en mm)

Le capteur se présente comme sur le schéma ci-dessus. La partie en pointillé correspond à la partie à colorier. Deux pinces en cuivre sont ensuite placées au niveau des deux extrémités gauches du capteur. Une des pinces doit être reliée à une alimentation, l'autre permet de relever la valeur du courant.

## Spécifications

Type	Jauge de contrainte
Type de capteur	Passif
Alimentation requise <sup>1</sup>	5V
Nature du signal de sortie	Analogique
Mesurande	Déformation
Type de crayon de papier	Tout

## Conditions d'utilisation normales

Test standard d'utilisation	Qualité de l'air	Air normal (80% N <sub>2</sub> , 20% O <sub>2</sub> )
	Température	20 ±2 °C
	Humidité	60 ±5 %

## Caractéristiques électriques

Le capteur est équivalent à une impédance.

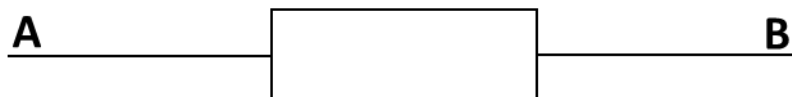


Figure 2 : Schéma équivalent du capteur

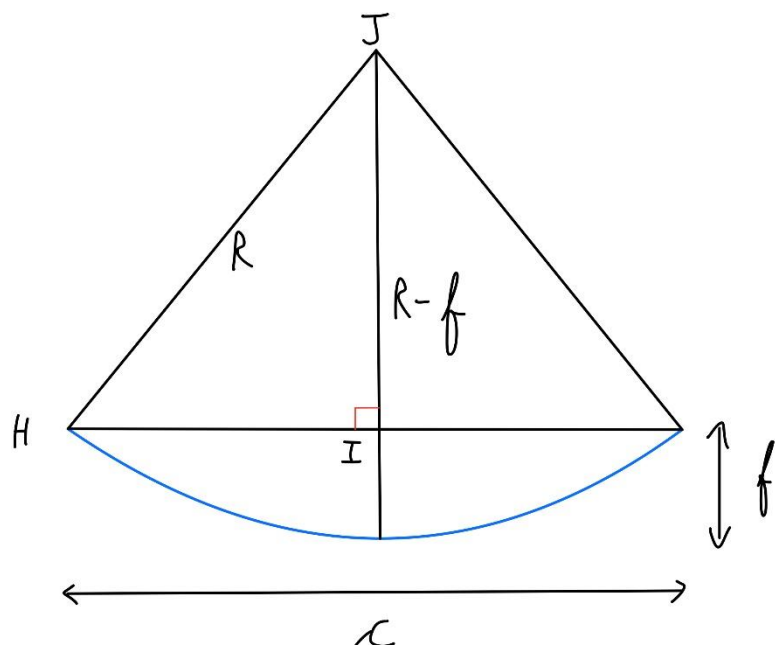
L'impédance du capteur dépend du crayon utilisé mais elle est généralement grande (des dizaines/centaines de MΩ. Il faudra donc veiller à concevoir une chaîne de mesure adaptée à votre utilisation.

---

<sup>1</sup> Veuillez à choisir votre alimentation de sorte à ne pas dépasser les limites de votre chaîne de mesure en cas de court-circuit.

## Caractéristiques de déformation

*Calcul d'un rayon de courbure à partir d'un arc de cercle*



Dans le triangle  $HJI$ , d'après le théorème de Pythagore :

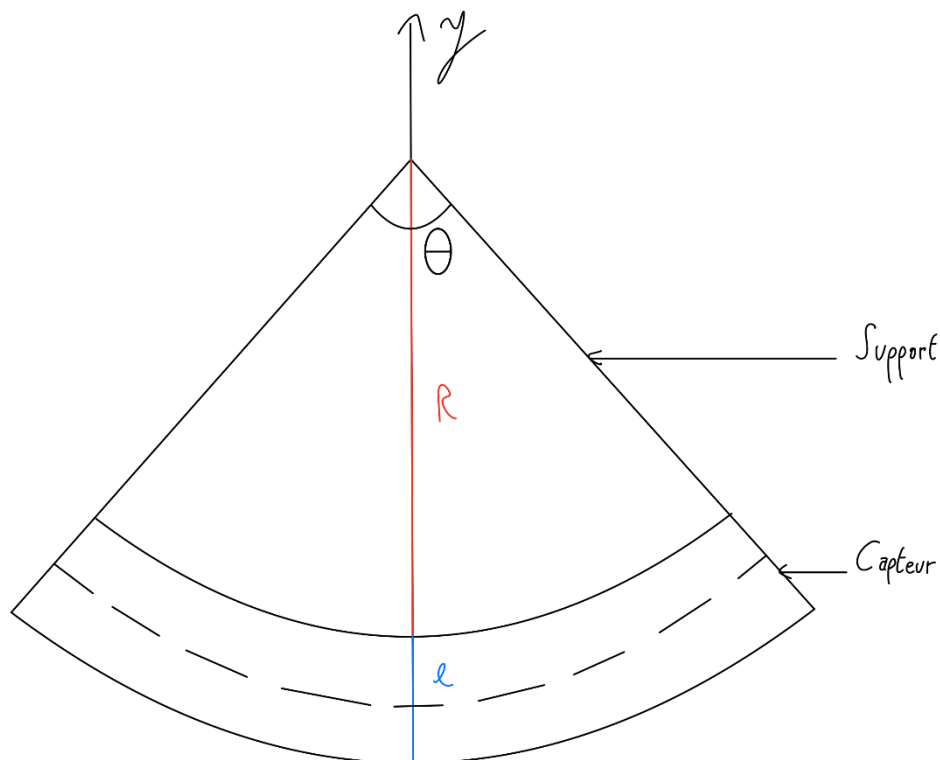
$$HJ^2 = HI^2 + IJ^2$$

$$R^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2 + (R - f)^2$$

$$R^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2 + R^2 - 2Rf + f^2$$

$$R = \frac{f}{2} + \frac{c^2}{8f}$$

*Calcul de la déformation du capteur*



On fait ici l'hypothèse de Bernoulli qui dit que les sections droites restent perpendiculaires au plan médian. Cette hypothèse s'applique ici car la poutre est courte et que la dimension des sections est petite devant la longueur de la poutre.

Pour des arcs concentriques avec pour origine en y le centre du capteur en  $e/2$ , la longueur de l'arc vaut :

$$l(y) = \left(R + \frac{e}{2} - y\right) * \theta$$

Alors,

$$l(0) = \left(R + \frac{e}{2}\right) * \theta$$

Réécrivons maintenant  $l(y)$  avec  $l(0)$  :

$$l(y) = l(0) + \Delta l(y)$$

Or

$$\Delta l(y) = -y * \theta = -\frac{\left(R + \frac{e}{2}\right) * \theta * y}{\left(R + \frac{e}{2}\right)} = -l(0) * \frac{y}{\left(R + \frac{e}{2}\right)}$$

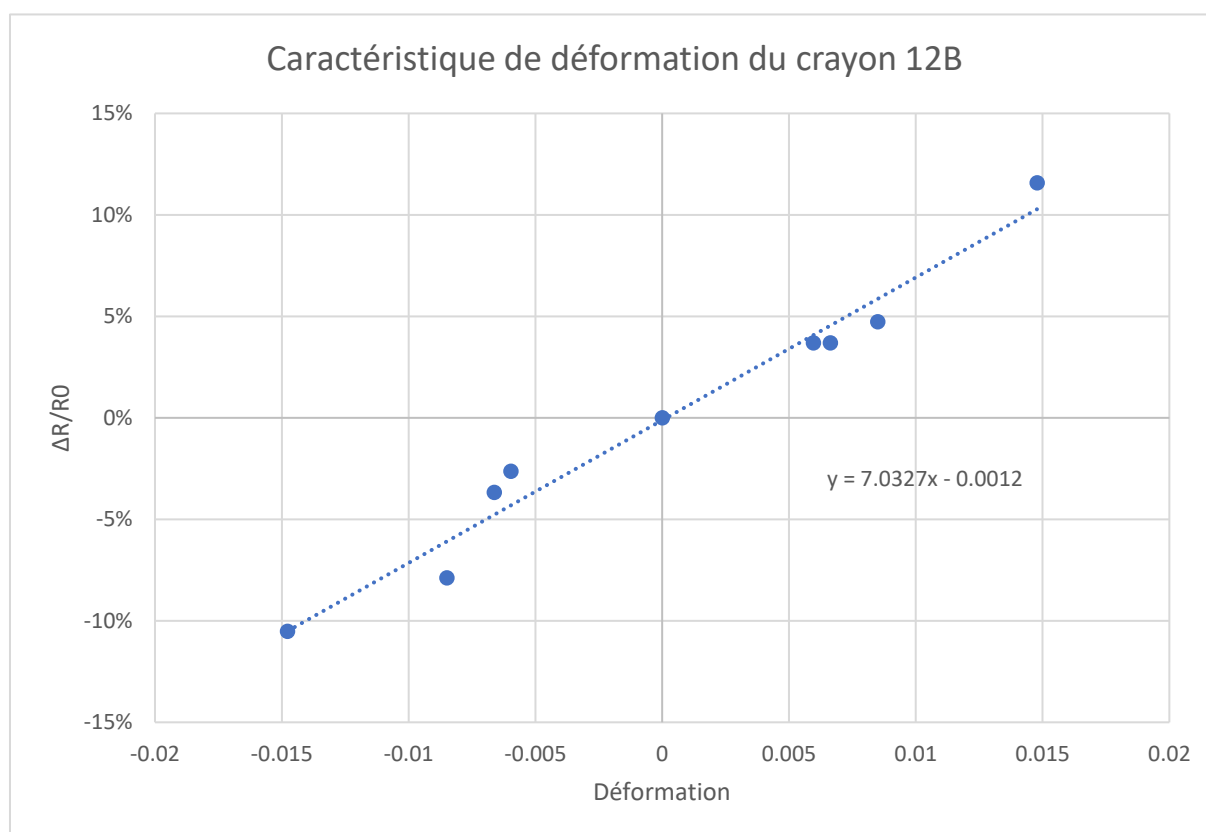
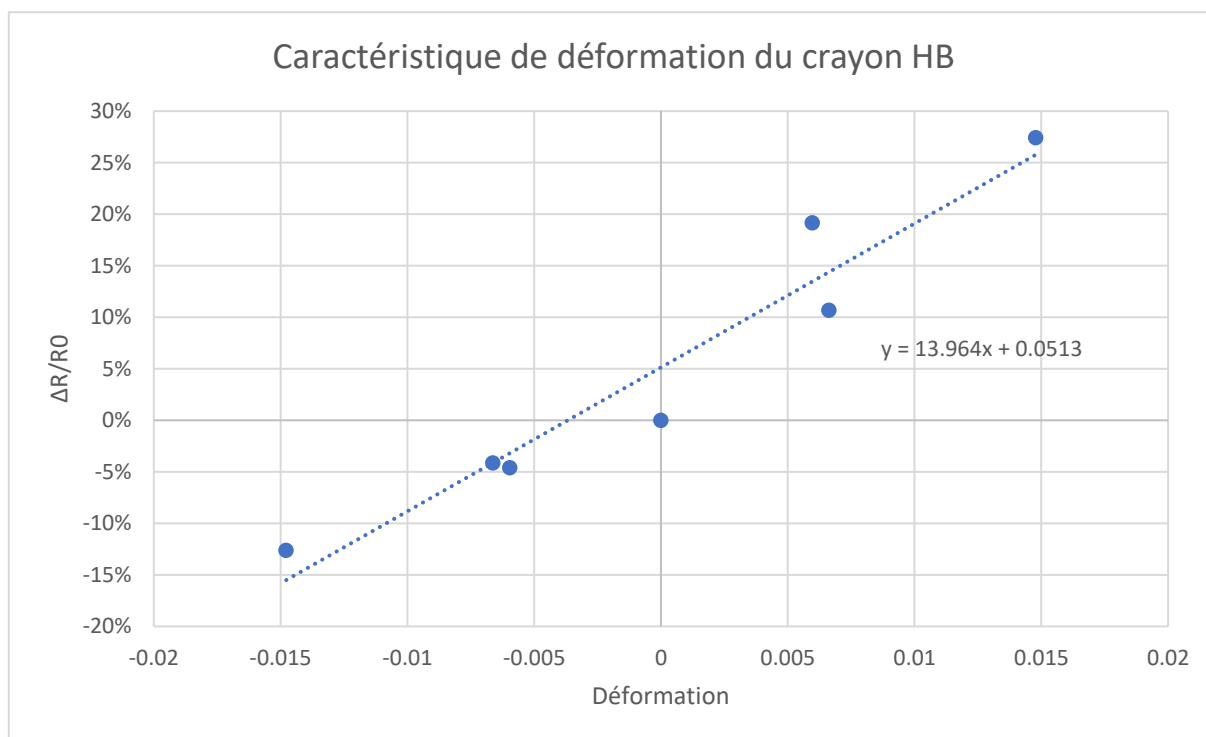
Alors,

$$l(y) = l(0) * \left(1 - \frac{y}{R + \frac{e}{2}}\right)$$

Donc,

$$\begin{aligned}\varepsilon\left(\frac{e}{2}\right) &= \frac{\Delta l}{l(0)} = \frac{l\left(\frac{e}{2}\right) - l(0)}{l(0)} = \frac{l(0) * \left(1 - \frac{\frac{e}{2}}{R + \frac{e}{2}}\right) - l(0)}{l(0)} \\ \varepsilon\left(\frac{e}{2}\right) &= \frac{l(0) * \left(1 - \frac{e}{2R + e}\right) - l(0)}{l(0)} = -\frac{e}{2R + e}\end{aligned}$$

## *Courbes de sensibilité*



## Montage typique

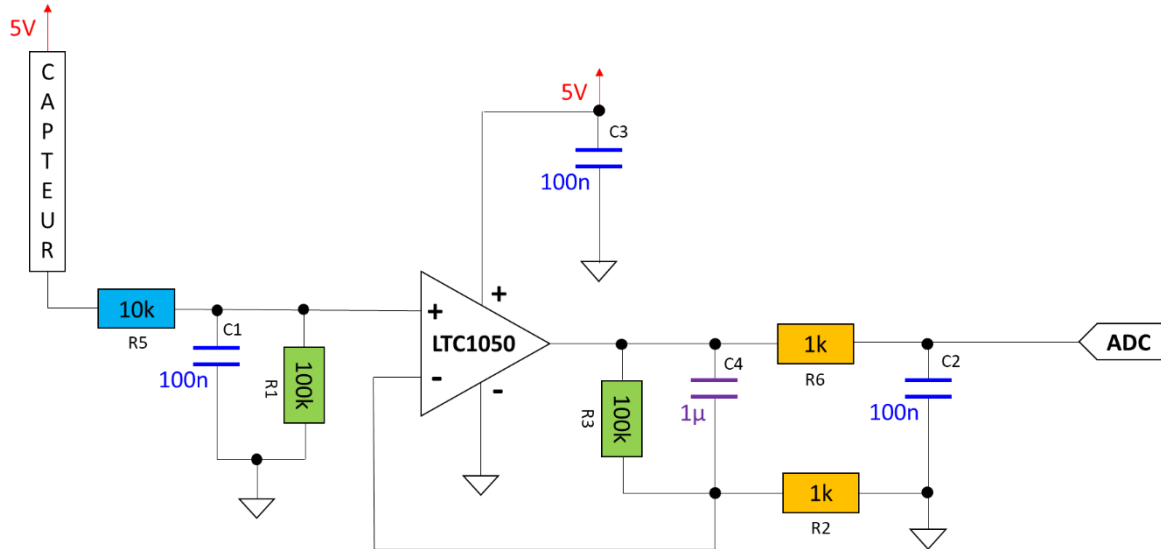


Figure 1 : Schéma d'une application typique du capteur graphite

Le schéma ci-dessus est une application typique de la jauge de contrainte de graphite. Le capteur est branché à un circuit amplificateur transimpédance accompagné d'un filtre passe-bas permettant de limiter le bruit et donc de récupérer seulement les informations utiles. La tension résultante peut ensuite être lue sur un ADC. On peut donc par exemple récupérer la tension sur l'ADC d'une carte Arduino. Il est ensuite possible de calculer la résistance du capteur à partir de la tension mesurée ( $V_{lue}$ ) sur un ADC 5V 10 bits.

Dans le cas de basses fréquences nous avons :

$$R_{capteur} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \frac{R_1 V_{cc}}{\frac{5}{1024} V_{lue}} - R_1 - R_5$$

$$\text{avec } V_{cc} = 5V$$

À haute fréquence nous avons :

$$R_{capteur} = \frac{R_1}{1 + jR_1 C_1 \omega} \left( \frac{1}{1 + jR_6 C_2 \omega} \left( 1 + \frac{R_3}{R_2 (1 + jR_3 C_4 \omega)} \right) \frac{V_{cc}}{\frac{5}{1024} V_{lue}} - 1 \right) - R_5$$

$$\text{avec } V_{cc} = 5V$$