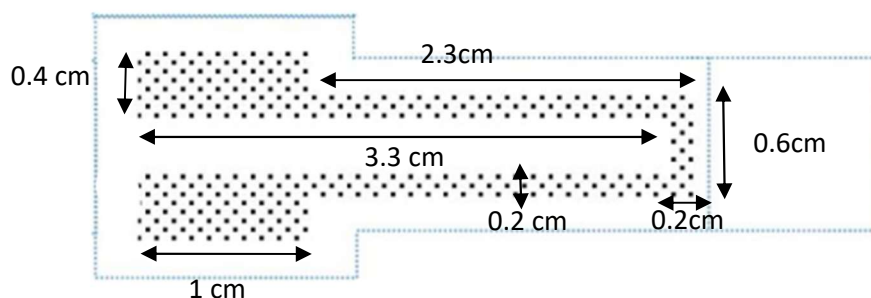


Banc de test et exploitation des mesures

Jauge de contrainte



Les résistances mesurées sont créées à partir de dessins de gabarit imprimés sur du papier suffisamment épais pour résister aux essais de flexion et de compression qui seront effectués. La zone à crayonner est celle en pointillé. Les crayons testés seront HB et B. La dureté des mines est classée comme suit :



Avec : **H** = Dur (ou sec)

B = Gras (ou huileux)

HB = Hard Bold (ou moyen)

F = Pointe fine (milieu de l'échelle)

Les mines sont composées d'argile et de graphite. Une mine tendre, qui se trouve du côté B, contient plus de graphite et moins d'argile qu'une mine dure, du côté H, qui contiendra moins de graphite et plus d'argile.

Le fait de dessiner sur du papier crée une fine couche de graphite percolée, qui est un système granulaire. En fléchissant le papier recouvert de crayon, dans un sens puis dans l'autre, le réseau de graphite se resserre ou se relâche, respectivement. Ainsi, en compression, les électrons se déplacent plus facilement et la résistance diminue. Au contraire, en traction, les électrons ont moins de chemins possibles pour traverser la couche de graphite du papier et la résistance augmente.

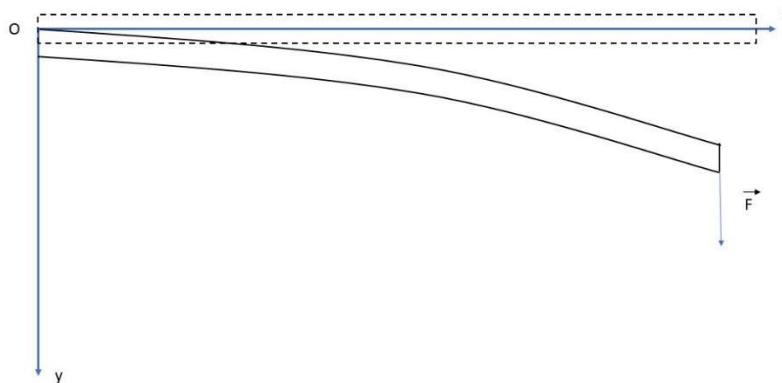
Banc de test

Le banc d'essai utilisé est un banc de test en plastique imprimé en 3D. Il est composé de 7 demi-cercles successifs, dont le rayon de courbure est décroissant. Leurs diamètres respectifs sont les suivants : 4,95, 4,45, 3,95, 3,45, 2,95, 2,45 et 1,95 cm, que nous avons pu mesurer à l'aide d'un pied à coulisse. En partant du demi-cercle le plus grand vers celui qui a le plus petit diamètre, on

pose le papier en traction, ou dans l'autre sens, en compression, et on attend que la résistance renvoyée par le programme associé au programme Arduino d'utilisation de notre capteur se stabilise avant de la noter.



Déformation d'une poutre encastrée soumise à une force perpendiculaire sur l'extrémité libre



On considère notre capteur comme une poutre encastrée à une extrémité (celle tenue par les pinces crocodiles) et soumise à une force à l'autre extrémité. On la considère de section rectangulaire :

- De longueur L le long de l'axe Ox
- D'épaisseur e le long de l'axe Oy
- Et enfin de largeur w le long de l'axe Oz

Avec e et $w \ll L$. La poutre est encastree en $x=0$. Ox est parallele à la direction d'encastrement. A l'extremite de la poutre, ($x=L$), on applique une force \vec{F} dans la direction $y > 0$ qui provoque la flexion de la poutre.

Aucune force n'est appliquee dans la direction Ox . On a donc :

$$\int_{s_x} \sigma_{xx} dy dz = 0$$

$$w \int_0^e E \frac{y - y_0}{R} dy = 0 \quad (w \neq 0)$$

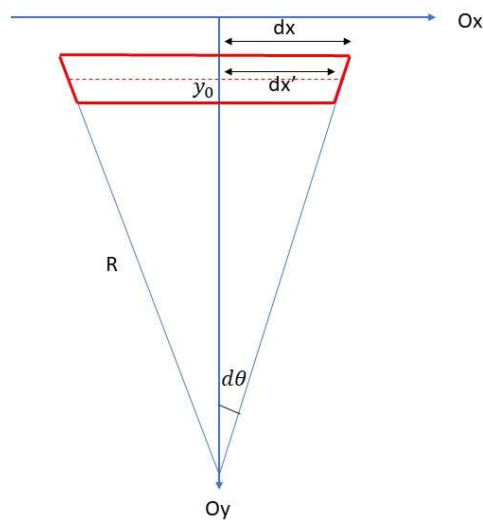
$$\int_0^e (y - y_0) dy = 0$$

$$\left[\frac{y^2}{2} - y_0 y \right]_0^e = 0$$

$$\frac{e^2}{2} - y_0 e = 0$$

$$y_0 = \frac{e}{2}$$

Ainsi, la surface neutre est situee le long de la poutre, en son centre.



En rouge, une tranche mince transversale de la poutre en flexion. R est le rayon de courbure de la flexion. On fait les approximations suivantes :

La flexion est faible : $R \gg L$

La flexion est pure : la poutre n'est soumise à aucune tension ou compression supplémentaire.

R est la courbure de la surface située en $y = y_0$. Ayant $e \ll L$, on s'intéresse à $y < y_0$, car c'est sur cette face que le graphite est déposé en une couche d'épaisseur quasiment nulle. Si la « poutre » subit une force \vec{F} dans la direction $y > 0$, on a $dx' > dx$ pour $y < y_0$, avec dx' la longueur d'un élément qui avait la longueur dx avant la déformation (la longueur de la poutre, en surface, où nous avons déposé le graphite, s'est étirée).

Le rayon de courbure d'une surface pour laquelle $y = \text{cte}$ avant la flexion est $R - (y - y_0)$. On a :

$$\frac{dx'(y)}{R - (y - y_0)} = d\theta$$

Et $d\theta$ faible, donc $\tan d\theta \approx d\theta$.

Or, en $y = y_0$:

$$\frac{dx'(y_0)}{R} = d\theta = \frac{dx}{R}$$

D'où :

$$\frac{dx'}{R - (y - y_0)} = \frac{dx}{R}$$

L'allongement relatif est donc :

$$\frac{dx'}{dx} = \frac{R - (y - y_0)}{R}$$

$$\text{Soit } \frac{dx'}{dx} = 1 - \frac{y - y_0}{R}$$

$$\text{D'où } \varepsilon_{xx}(y) = \frac{dx' - dx}{dx} = -\frac{y - y_0}{R}$$

Or comme démontré plus haut, $y_0 = \frac{e}{2}$.

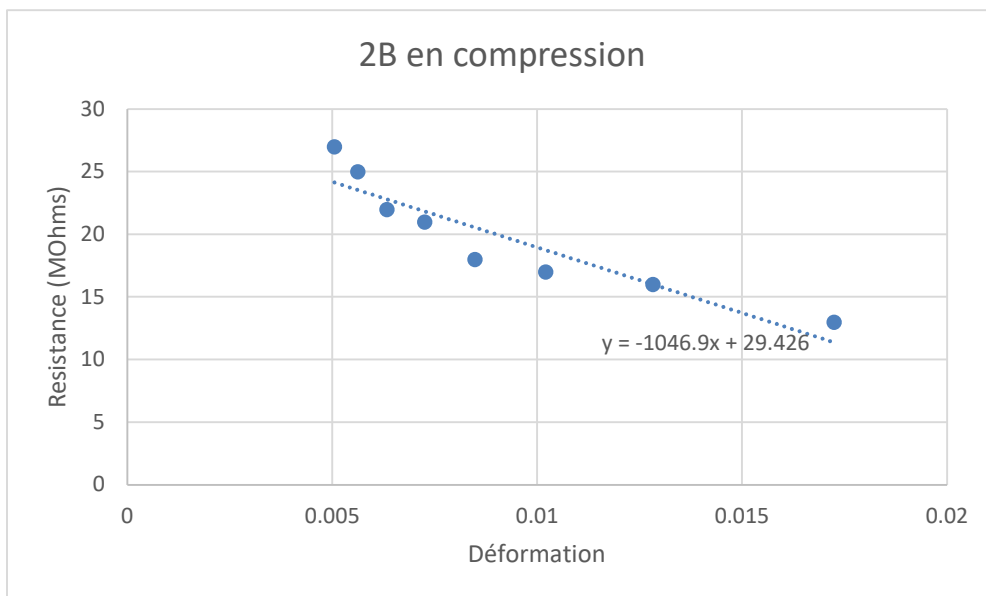
On se place à la surface haute de la poutre, c'est-à-dire à l'origine du repère sur le schéma plus haut, et $y = 0$. On en déduit :

$$\varepsilon_{xx}(0) = \frac{y_0}{R} = \frac{e}{2R}$$

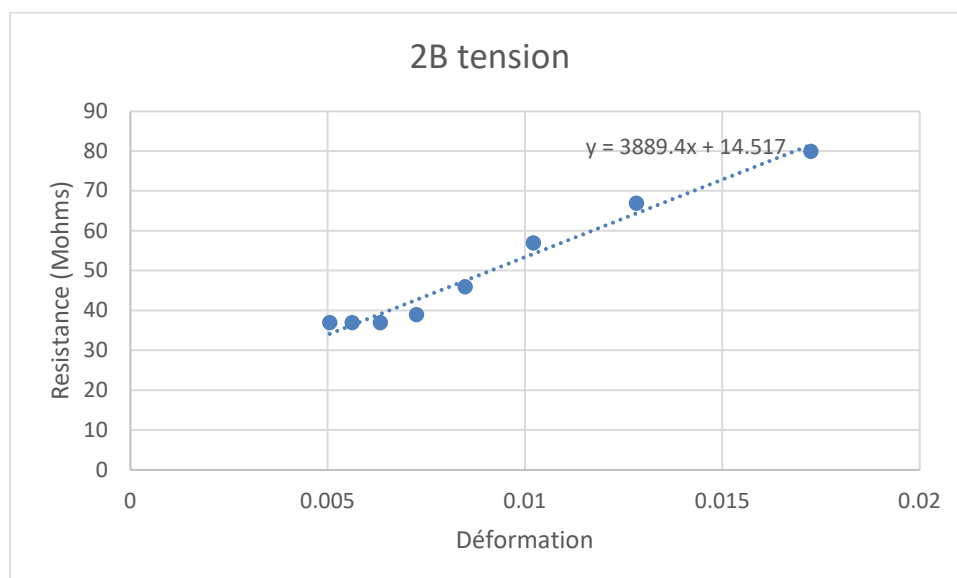
Avec, pour rappel, e l'épaisseur de la jauge et R le rayon de courbure du demi-cercle du banc de test utilisé.

Exploitation des mesures

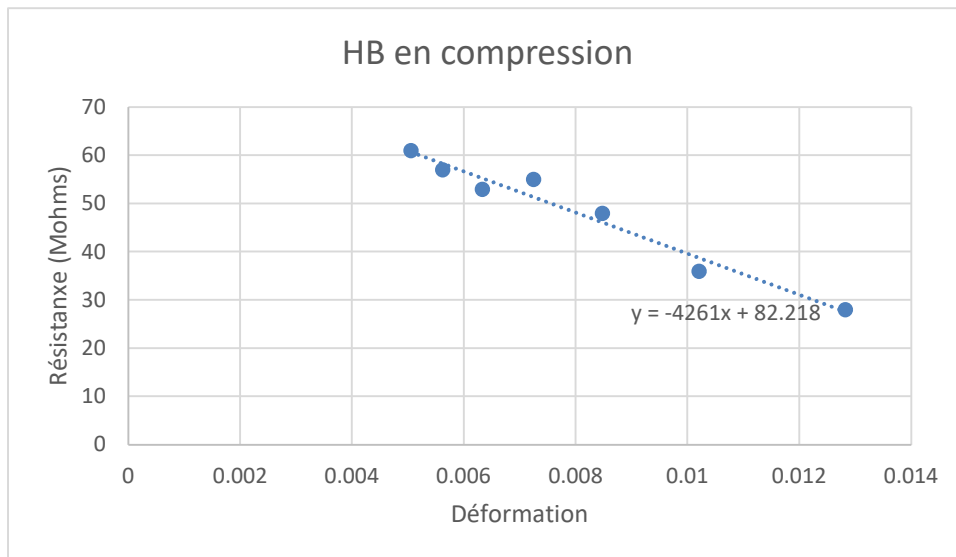
Résistance sans déformation : 30 MOhms



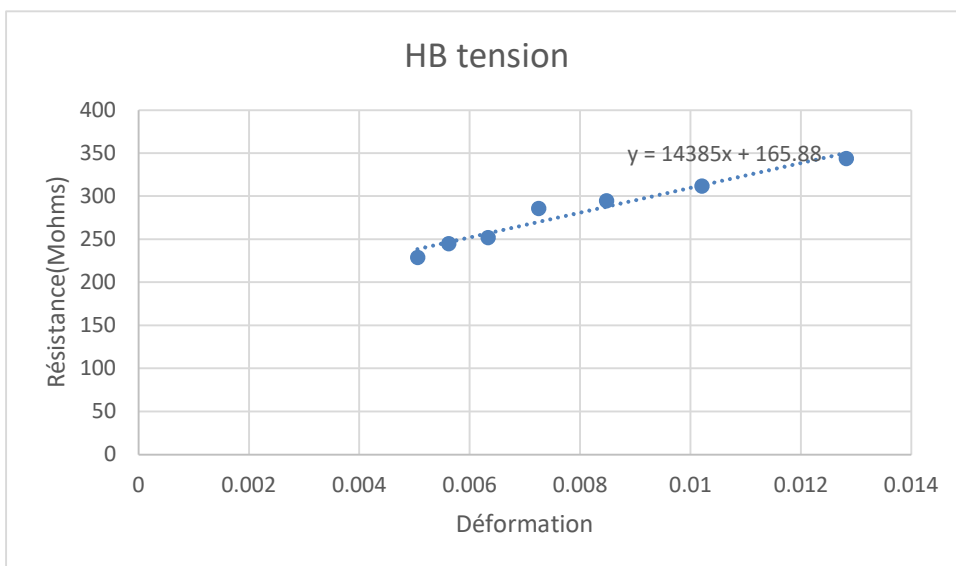
Résistance sans déformation : 21 MOhms



Résistance sans déformation : 67 MOhms



Résistance sans déformation : 178 MOhms



Remarque : Grâce à la courbe de tendance affine que l'on a pour ces courbes, on retrouve bien la valeur de résistance typique (sans déformation) en tant qu'ordonnée à l'origine, c'est-à-dire $\epsilon = 0$. De plus, on constate que la sensibilité (c'est-à-dire la pente des courbes de tendance), est meilleure pour les crayons HB que pour les crayons 2B, comme indiqué dans les travaux sur lesquels nous nous sommes basées pour ce projet. Plus le crayon est dur, moins il y a de jonctions tunnel, et plus elles subissent la déformation.

Limites du capteur

Toutefois, ce capteur présente des limites. En effet, la résistance mesurée dépend fortement de la quantité de crayon appliquée. De plus, le papier subit une déformation progressive, certainement plastique puisque le papier ne revient jamais dans son état initial. Puis, les pinces

crocodiles empêchent un mouvement libre de la poutre et arrachent du crayon là où elles sont positionnées. Ensuite, les calculs ci-dessus sont issus de nombreuses hypothèses et approximations, qui peuvent éloigner le résultat de la réalité physique. Enfin, l'erreur est humaine, et les résultats peuvent dépendre de la façon dont ont été positionné les pinces crocodiles et dont la jauge a été déformée.

Ce document a été rédigé à l'aide du cours sur les flexions faibles des poutres de l'université de Diderot de Paris.

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewihwsbx8p33AhWb8rsIHdwVA8UQFnoECAGQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.msc.univ-paris-diderot.fr%2F~elias%2FENSEIGNEMENT%2FElasticite.pdf&usg=AOvVaw10aQ_3ez7faGEAHaLcRFoC