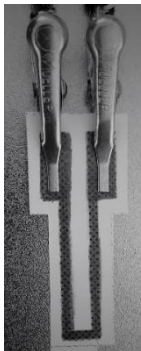


# CAPTEUR GRAPHITE



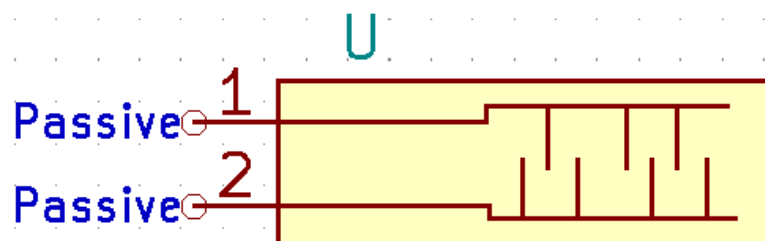
## Caractéristiques générales :

- Réalisation peu coûteuse et rapide
- Facilité d'utilisation : application Android
- Peu encombrant et flexible
- Mesure de résistance en fonction de la déformation

## Description :

Capteur graphite qui s'apparente à une jauge de contrainte à base de graphite. Equivalent à une impédance, il permet de mesurer la variation de résistance en fonction de la déformation appliquée. Le capteur est fabriqué à partir d'une feuille de papier où un contour en forme de « U » est colorié avec un crayon de graphite (préférentiellement un crayon B pour un meilleur dépôt de graphite). De plus, le capteur est relié à un Arduino sur lequel est monté un circuit analogique avec un montage amplificateur transimpédance, un module Bluetooth HC05 et un écran OLED. Les résultats de la mesure sont accessibles sur l'OLED et l'application Android MIT App Inventor (graphe et fichier de sauvegarde des valeurs).

## Description des pins :

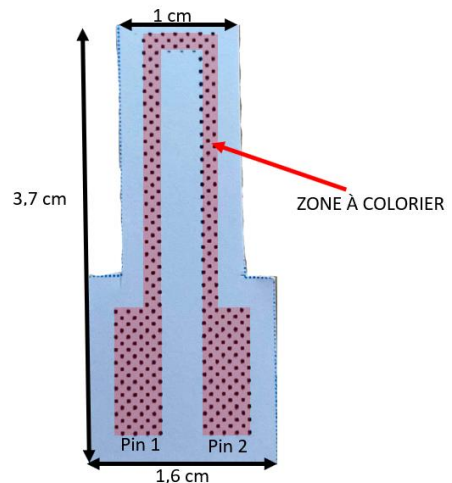


*Figure n°1 : Symbole du capteur sous KiCAD*

NUMERO DE LA PIN	RÔLE
1	Entrée circuit transimpédance
2	+ 5V

## Dimensions :

L'ensemble de la zone rouge représente la zone à colorier. L'extrémité du capteur est reliée au PCB avec deux pinces crocodiles qui mordent les emplacements « Pin 1 » et « Pin 2 », respectivement l'entrée du circuit transimpédance et l'alimentation (+5V).



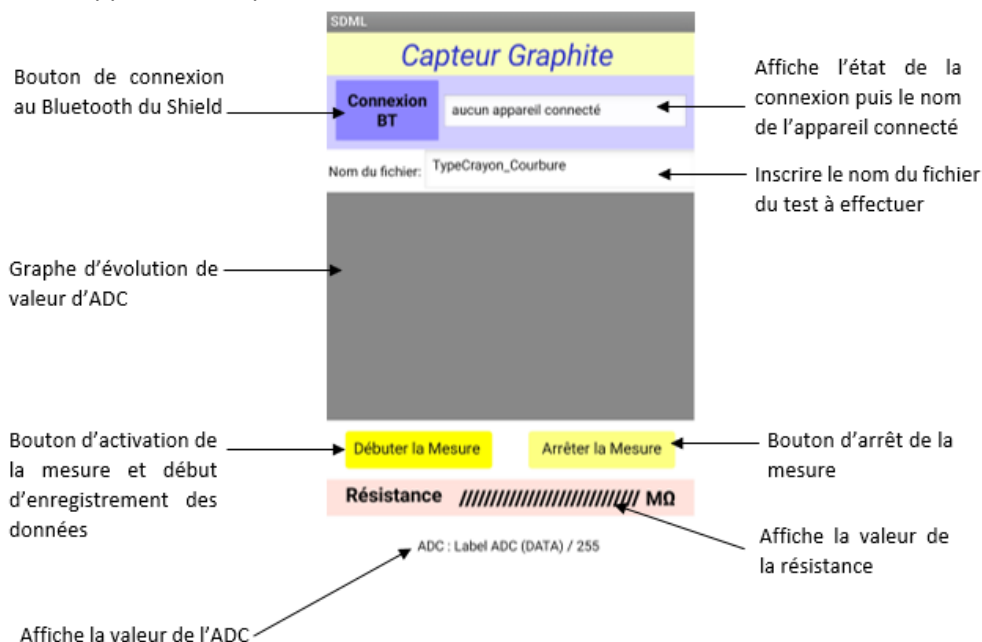
**Figure n°2 :** Photo du capteur avant dépôt de graphite

## Détails techniques :

<b>TYPE</b>	Jauge de contrainte à base de graphite
<b>MATERIAUX</b>	Papier et graphite
<b>MESURANDE</b>	Résistance
<b>TYPE DE CAPTEUR</b>	Capteur passif (équivalent impédance)
<b>MESURE DE LA DEFORMATION</b>	Variation de résistance
<b>EXEMPLES DE TYPES DE CRAYON UTILISABLES</b>	HB B 2B

Le capteur s'utilise avec un téléphone pourvu de l'application développée sur MIT App Inventor. Le code Arduino et l'application sont disponibles sur le GitHub du projet ([https://github.com/MOSH-Insa-Toulouse/2020\\_2021\\_DERGICI\\_LOISON](https://github.com/MOSH-Insa-Toulouse/2020_2021_DERGICI_LOISON)).

L'interface de l'application se présente comme suit :



**Figure n°3 :** Interface de l'application Android d'acquisition des mesures du capteur

### Conditions d'utilisation standard :

	UNITE	VALEUR
TEMPERATURE	°C	20 ± 2

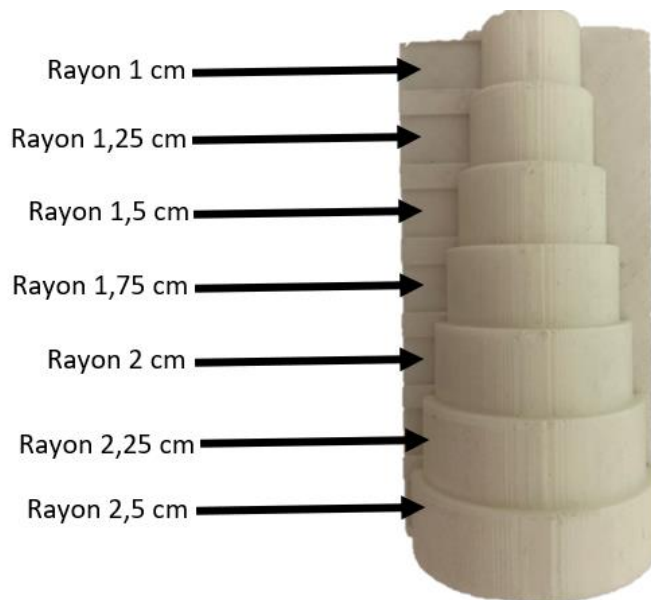
### Caractéristiques électriques :

	UNITE	VALEUR		
		MIN	TYPICAL	MAX
ADC	/	0	≈30	255
Résistance HB	MΩ	83,3	≈117,42	184,58
Résistance B	MΩ	103,31	≈161,49	223
Résistance 2B	MΩ	11,4	≈13,5	16,9

La valeur d'ADC représente la valeur de tension en sortie (0 à +5V) codée sur un bit qui peut prendre les valeurs de 0 à 255.

Le capteur est équivalent à une impédance, on peut le représenter avec le schéma équivalent associé.

### Présentation du banc de test :



Les mesures de variation de résistance suivantes sont obtenues à l'aide d'une suite de demi-cercles de rayons de 1 cm à 2,5 cm.

En imposant une certaine courbure au capteur on obtient une valeur de résistance dépendante de la déformation appliquée. Cette déformation dépend du rayon de courbure du demi-cercle utilisé et de l'épaisseur du papier.

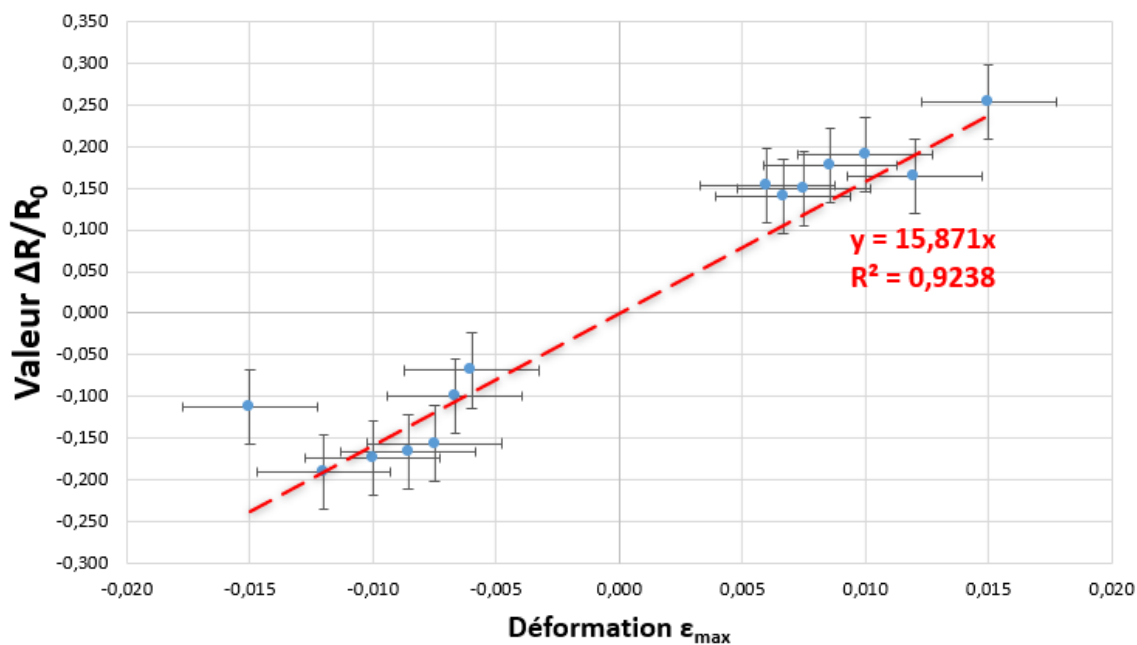
**Figure n°4 :** Photo du banc de test utilisé pour établir les caractéristiques Résistance/Déformation

On définit alors la déformation  $\epsilon_{max}$  comme la déformation obtenue lorsque le capteur suit le plus possible le rayon de courbure du demi-cercle utilisé,  $e$  l'épaisseur du papier et  $R$  le rayon du demi-cercle. Toutes les valeurs de déformations suivantes sont calculées avec la formule :  $\epsilon_{max} = \frac{e}{2 \times R}$

La mesure de résistance s'effectue en commençant par les rayons les plus larges pour éviter de trop abîmer le capteur dès les premières mesures. Entre chaque rayon une valeur de résistance  $R_0$  est relevée pour estimer la résistance du capteur à plat (sans déformation appliquée).

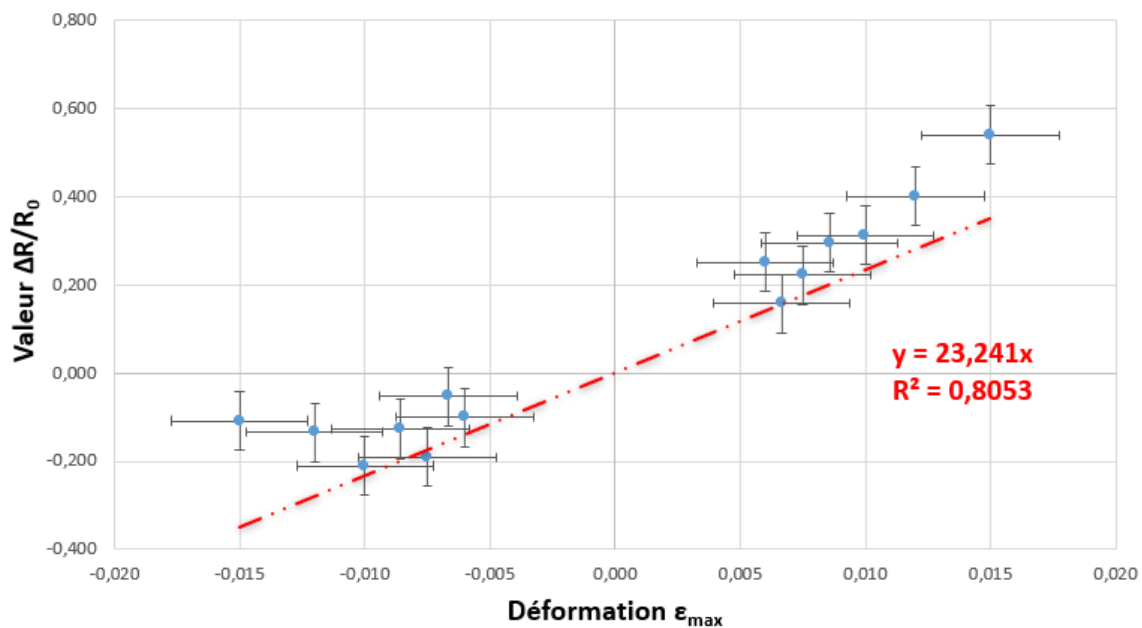
## Variation de la résistance en fonction de la déformation :

### CRAYON 2B - Influence de la déformation

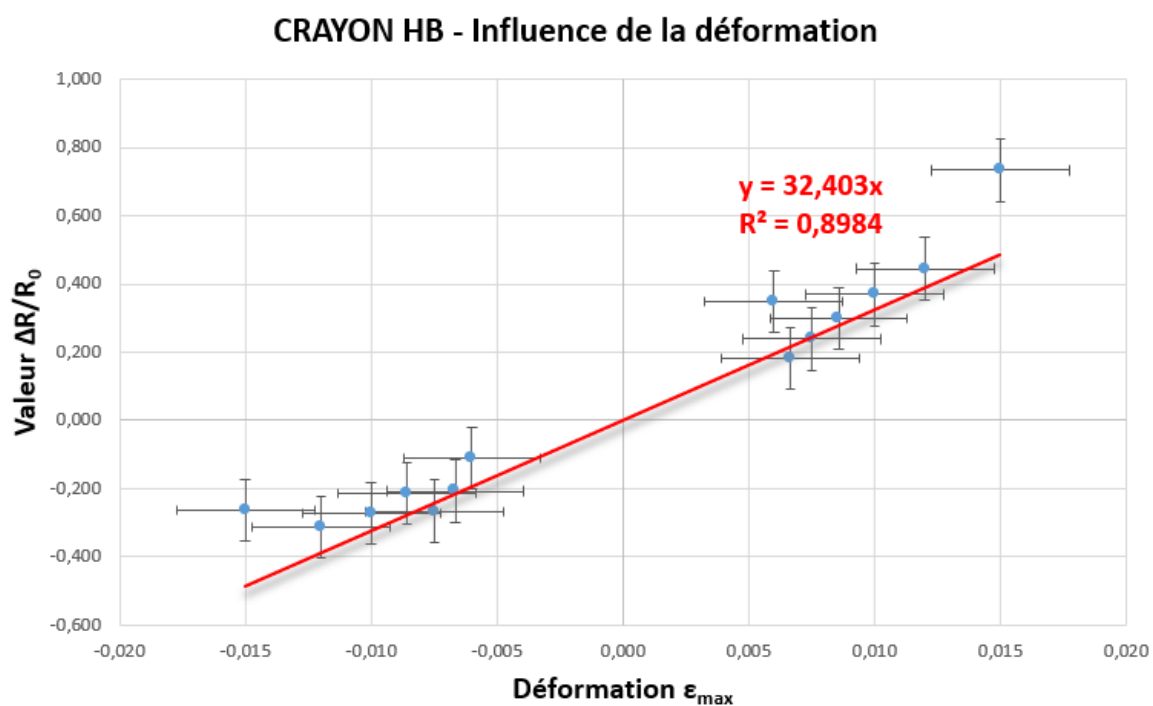


**Figure n°5 :** Caractéristique (Variation de résistance/Déformation) du crayon 2B

### CRAYON B - Influence de la déformation

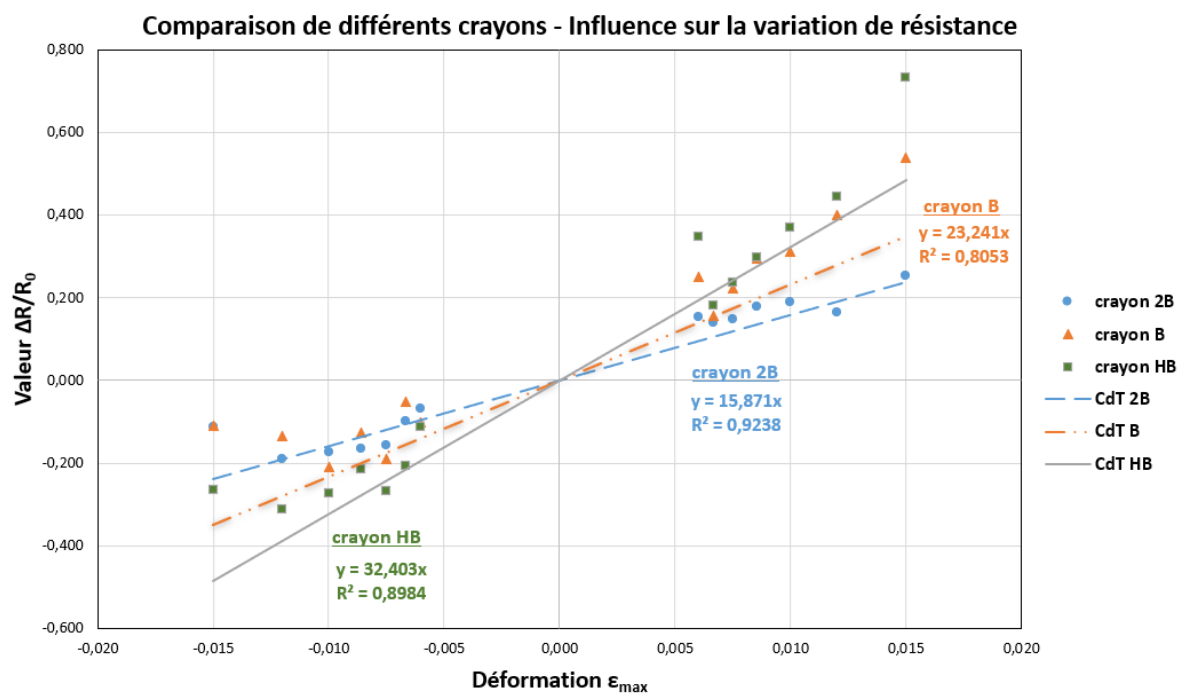


**Figure n°6 :** Caractéristique (Variation de résistance/Déformation) du crayon B



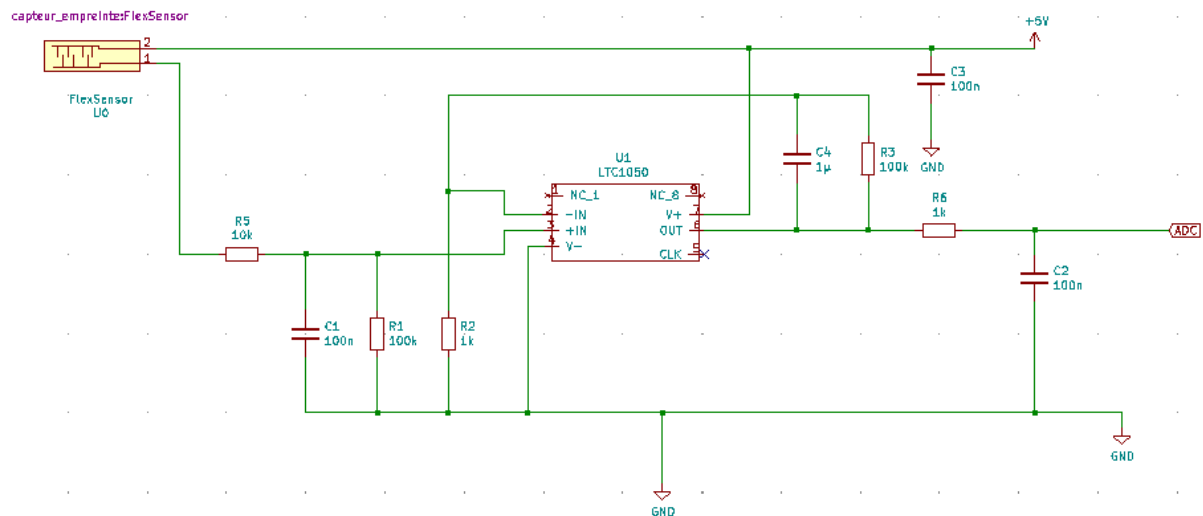
**Figure n°7 :** Caractéristique (Variation de résistance/Déformation) du crayon HB

## Comparaison des variations de résistance en fonction du type de crayon :



**Figure n°8 :** Comparaison des 3 caractéristiques (Variation de résistance/Déformation) différentes

## Exemple d'application typique : utilisation du capteur dans un circuit analogique amplificateur transimpédance



**Figure n°9 :** Schéma du capteur relié à un circuit analogique amplificateur transimpédance sous KiCAD

## Remarques sur les domaines d'utilisation en déformation :

Pour garantir un bon fonctionnement du capteur et une détérioration moindre au cours des mesures il faut réaliser l'étude dans le domaine de déformation qui est linéaire.

On reprend les figures n°5, n°6, n°7 pour déterminer les domaines de déformation fittant le plus la Courbe de Tendence (CdT) linéaire.

TYPE DE CRAYON	DOMAINE DE DÉFORMATION LINÉAIRE
2B	$\varepsilon = \{-0,012; -0,010; -0,007\}$
B	$\varepsilon = \{-0,010; -0,008; +0,007\}$
HB	$\varepsilon = \{-0,008, -0,007; -0,006; +0,007; +0,008; +0,009; +0,010\}$

Remarquons que le crayon de type HB est celui qui offre le domaine de déformation linéaire le plus étendu, avec des valeurs en flexion et déflexion.

Remarquons aussi que pour les mesures avec les crayons de type 2B et B les domaines de déformation linéaire sont plus étroits, avec principalement des valeurs en déflexion.

Dans l'état actuel du capteur, de son shield et de l'application Android associée, pour une utilisation optimale il est préférable d'opter pour un crayon de type HB et d'effectuer l'étude sur le domaine de déformation  $\varepsilon = \{-0,008, -0,007; -0,006; +0,007; +0,008; +0,009; +0,010\}$ .