

## TD1 - Caractéristiques Statiques d'un capteur de pression

Un capteur de pression transforme une pression relative exprimée en PSI (Pound per Squared Inch) en un courant de sortie exprimé en mA. Ce type de sortie en courant est très employé industriellement. En fonctionnement parfait ce capteur délivre un courant proportionnel à la pression. Il délivre en théorie 4 mA pour une pression de 0 PSI et 20 mA pour 40 PSI. Ce capteur présente un certain nombre d'imperfections que nous allons tenter d'estimer. Le capteur est étalonné en faisant des mesures tous les 5 PSI. La valeur de référence est donnée par un autre capteur supposé parfait. Les résultats de l'étalonnage sont décrits par le tableau suivant (Fig. 1) et représentés à la figure (Fig. 2) :

Pression (PSI)	Valeurs mesurées (en mA)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Mesure n° 1	3.81	6.00	8.00	10.06	12.06	14.06	16.06	17.88	19.88
Mesure n° 2	3.94	5.88	8.06	10.06	12.13	14.13	16.13	18.00	19.94
Mesure n° 3	3.81	5.94	8.06	10.06	12.13	14.19	16.06	18.06	20.00
Mesure n° 4	4.00	5.88	8.06	10.06	12.13	14.06	16.00	18.06	19.81
Mesure n° 5	3.94	5.94	8.06	10.06	12.06	14.06	16.06	18.00	19.94
Mesure n° 6	3.88	6.06	8.00	10.13	12.13	14.06	16.00	18.06	19.88
Mesure n° 7	3.81	5.81	8.00	10.19	12.25	14.13	16.13	17.88	19.94
Mesure n° 8	3.88	5.81	8.06	10.00	12.13	14.13	16.00	18.00	19.88

FIGURE 1 – Résultats d'étalonnage du capteur de pression relative

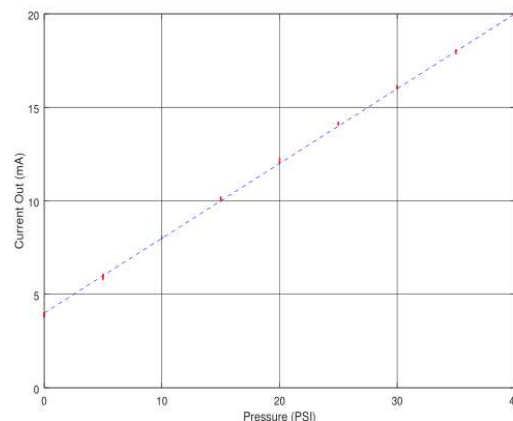


FIGURE 2 – Mesures de pression : ensemble des mesures avec un pas de 5 PSI (rouge) ; la courbe théorique (droite) du capteur est représentée en bleu.

- ✓ Sur votre espace de travail personnel, créez un dossier CapteurTD1.
- ✓ Sur moodle vous avez l'ensemble des documents qui vont vous servir à réaliser ce TD dont un « guide de survie python » où sont présentées différentes fonctions que vous aurez à utiliser.
- ✓ Dans le dossier que vous avez créé, téléchargez les fichiers suivant :
  - td1\_pressure\_measurements.txt → fichier avec les données de mesures de courant en mA
  - td1\_capteurs\_fipa1\_2021.py → fichier Python à compléter pour répondre aux questions du TD

Les calculs seront à faire dans le fichier Python, vous afficherez les courbes avec Python également.

Q1 : Quelle est l'**étendue de mesure** de ce capteur ?

Q2 : Quelle est la valeur de **Pleine échelle** de ce capteur ?

Q3 : Dans le programme Python, définir un vecteur numpy appelé **pressions** où sont définies les différentes valeurs du mesurande de 0 à 40 PSI par pas de 5 PSI. Calculez ensuite la **moyenne des mesures** pour chaque valeur de mesurande.

*Vous utiliserez les indications données dans le guide de survie python pour savoir comment faire*

Affichez le résultat dans une **figure** avec en abscisse les différentes valeurs du mesurande et en ordonnées les courants moyens mesurés. Mettez les labels sur les différents axes.

Q4 : En utilisant les valeurs moyennes calculées précédemment à la question Q3, estimez les **sensibilités du capteur** à 5 PSI, 20 PSI et 35 PSI. Connaissant ces 3 valeurs de sensibilités estimées, que pouvez-vous dire sur la **linéarité** de ce capteur ?

Q5 : En utilisant les données de l'énoncé (figure 2), déterminez l'équation affine de la **courbe caractéristique théorique du capteur** [courants=f(pressions)] qui passe par les **points terminaux**.

Avec python, représentez cette courbe dans une nouvelle **figure** avec en abscisse les différentes valeurs du mesurande et en ordonnées les courants calculés avec cette équation.

Q6 : A partir du tableau de mesures (figure 1), avec Python estimez l'**erreur de fidélité** du capteur pour chaque valeur de mesurande et tracez cette erreur dans une nouvelle **figure**.

*Vous utiliserez les indications données dans le guide de survie python pour savoir quelle est la fonction la plus appropriée pour calculer cette erreur*

Quelle est la valeur de l'**erreur de fidélité maximale** ?

*Vous utiliserez les indications données dans le guide de survie python pour savoir comment faire*

Les erreurs sont ici exprimées dans l'unité de mesure (mA). Cependant, la caractérisation des erreurs d'un capteur prend généralement plus de sens si elle est réalisée dans l'unité du mesurande (PSI). En supposant que ce capteur est linéaire, comment peut-on passer des **erreurs exprimées en mA aux erreurs exprimées en PSI** ?

Q7 : Pour estimer l'erreur de linéarité du capteur, vous allez **approximer la fonction caractéristique** [courants=f(pressions)] par une **droite dite meilleure estimée au sens des moindres carrés** (c'est-à-dire minimisant la somme des erreurs quadratiques).

*Vous devez utiliser la fonction d'approximation polynômiale **polyfit()** de Python à l'ordre 1.*

Estimez ensuite l'**erreur de linéarité** pour chaque valeurs de mesurande puis déterminez l'**erreur de linéarité maximale**.

Q8 : La résolution d'un capteur est la plus petite variation du mesurande détectable par le capteur. En considérant l'erreur de résolution uniquement due aux erreurs de Conversion Analogique Numérique sur 8 bits, déterminez l'**erreur de résolution** de ce capteur.

Q9 : Estimez l'**erreur de justesse** (ou erreur systématique) de ce capteur qui est la combinaison<sup>1</sup> de l'erreur de linéarité et de l'erreur de résolution. Attention aux unités, lorsque les erreurs sont combinées, elles doivent être exprimées dans la même unité.

Q10 : Estimez l'**erreur de précision** de ce capteur.

Q11 : Estimez la **classe de précision** de ce capteur.

Q12 : Dans cet exercice, les erreurs ont été estimées en prenant pour chacune d'elles les valeurs maximales des erreurs. Ces erreurs maximales ont été ensuite combinées pour déterminer l'erreur de précision. Il est aussi possible de faire différemment en conservant les **erreurs sous forme de vecteurs** (ne pas chercher le maximum à chaque fois) et de les combiner. L'erreur de précision est alors aussi un vecteur dont il est possible de chercher le maximum en toute fin de calcul.

Calculez l'**erreur de précision** avec cette nouvelle méthode. Cette nouvelle erreur de précision obtenue est-elle identique, supérieure ou inférieure à celle calculée précédemment à la question Q10 ? Justifiez votre réponse.

N'oubliez pas de sauver votre fichier Python contenant vos calculs, il va vous servir dans les TD suivants.

---

<sup>1</sup> Pour simplifier, l'erreur d'hystérésis du capteur est considérée négligeable. Cependant, dans le monde réel, il faut s'assurer que cette erreur est effectivement négligeable. Rappel : pour mesurer l'erreur d'hystérésis, il faut deux séries de mesures, l'une dans le sens des pressions croissantes et l'autre dans le sens des pressions décroissantes. Si une série de mesures est systématiquement de valeur supérieure à l'autre, l'écart est principalement imputable à l'hystérésis.