

Instrumentation

Joseph Moerschell, Marc Nicollrat

Table of contents

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction | 2 |
| 1.1 | Objectifs | 2 |
| 1.2 | Organisation | 2 |
| 2 | Méthode de mesure | 3 |
| 2.1 | Structure d'un appareil | 3 |
| 2.2 | Composants d'un appareil | 4 |
| 2.3 | Mesurer une grandeur physique | 4 |
| 2.4 | Quelques moyens de mesure | 5 |
| 2.5 | Quelques instruments en images | 5 |
| 2.6 | Mesures directes/indirectes | 5 |
| 2.7 | Techniques de mesure | 6 |
| 2.8 | Exemple : Mesure distance des étoiles | 9 |
| 2.9 | Signaux statiques et dynamiques | 10 |
| 2.10 | Combinaison des différents types de signaux | 10 |
| 2.11 | Temps de réponse | 10 |
| 2.12 | Bande passante | 10 |
| 2.13 | Grandeur de sortie | 10 |
| 2.14 | Exemple de spécification d'un capteur | 13 |
| 3 | Caractéristiques statiques, linéarisation | 13 |
| 3.1 | Caractéristique statique | 14 |
| 3.2 | Linéarisation | 14 |
| 3.3 | Exemple : Mesure d'une température | 15 |
| 3.4 | Pont de Wheatstone | 15 |

1 Introduction

1.1 Objectifs

- Connaître les concepts et techniques de base en technique de mesures (C)
- Utiliser les concepts et techniques en vue de résoudre des problèmes (A)
- Concevoir, configurer et mettre en place une mesure de grandeurs mécaniques, électriques, et de la température (A)
- Définir les fonctions et performances d'une chaîne de mesure, composée de capteurs, acquisition et traitement des mesures, choisir des produits sur la base de descriptifs techniques, et les évaluer (J)
- Intégrer des capteurs et unités d'acquisition et traitement de mesures dans des systèmes d'automatisation (J)

Legende

| | |
|---|--|
| C | Connaissance et compréhension |
| A | Application des connaissances et de la compréhension |
| J | Capacité de former des jugements (analyse, évaluation) |

1.2 Organisation

- Cours 2h par semaine
- Exercices
- Labos de 4h toutes les 2 semaines POUR 2023
 - groupe α Jeudi 21.09, 8h15 - 11h45
 - groupe β Mardi 3.10, 12h45 - 16h10
- Examen en fin de semestre
- Support de cours
 - cyberlearn
 - Github <https://github.com/nicollrat/hevs-doc-instrumentation>

Attention !

- Quiz sur cyberlearn avant les labos
- Prochain labo salle 23N311

2 Méthode de mesure

- Structure d'un appareil
- Mesurer une grandeur physique
- Technique de mesure
- Mesure directe/indirecte
- Signaux statiques et dynamiques
- Temps de réponse
- Bande passante
- Grandeur de sortie
- Exemple de grandeurs à mesurer et moyen
- Solutions pour faire des mesures
- exemple pied à coulisse
- Mesure par comparaison, compensation, action du mesurande

2.1 Structure d'un appareil

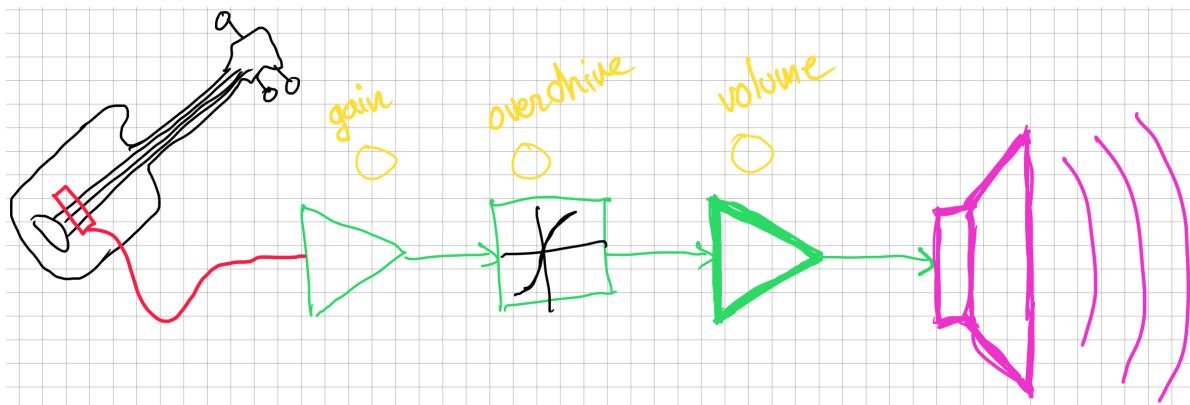
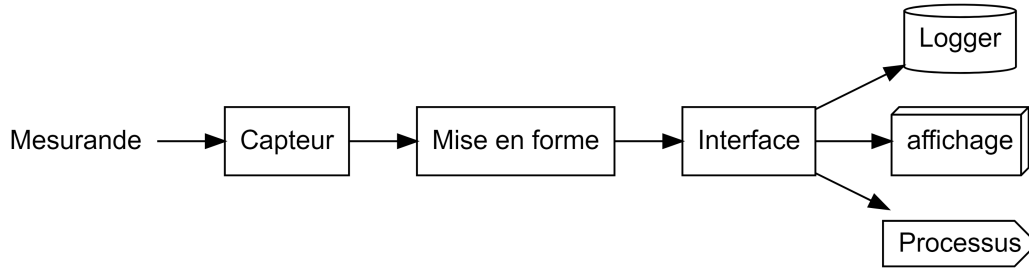


Figure 1: Exemple d'instrument de mesure de la vibration d'une corde



i Note

grandeur à mesurer = **mesurande**

2.2 Composants d'un appareil

| | |
|---------------|---|
| Capteur | Utilise un procédé pour convertir la <i>mesurande</i> en une grandeur comme une tension, plus facile à traiter par un système de mesure |
| Mise en forme | Amplification, filtrage, linéarisation, traitement du signal pour sortir une grandeur "épurée" |
| Interface | Moyen utilisé pour transmettre l'information de mesure, soit sur un affichage, vers un système de mesure ou un processus |

2.3 Mesurer une grandeur physique

La mesure de certaines grandeurs peut être simple, mais peut aussi avoir recours à des instruments très sophistiqués.

Les pionniers de la mesure ont parfois eu recours à beaucoup d'imagination pour obtenir de premières valeurs.

Certaines mesures sont aujourd'hui possible grâce à une très grande précision obtenue sur des mesures directes. Une grandeur typique qui peut être mesurée avec précision est le temps.

💡 Tip

Quelques grandeurs demandant des moyens de mesure subtils :

- vitesse de la lumière
- Distance entre les étoiles

- Ondes gravitationnelles (LIGO)

2.4 Quelques moyens de mesure

Table 3: Quelques moyens de mesure

| Grandeur physique | Moyen | Mise en forme |
|-------------------------|---------------------------------------|--|
| masse | Capteur Piézo-électrique | Amplification signal électrique |
| Détection de sous-marin | Sonar | Signal sonore, interprétation de l'opérateur ou traitement numérique |
| vitesse | Dynamo | Affichage avec un voltmètre |
| température | Thermocouple | Amplification et mesure de tension |
| tension RMS | Voltmètre | Traitement du signal |
| diamètre | Pied à coulisse | Repères visuels sur une règle |
| distance | Télémètre laser | Mesure du temps de vol de la lumière |
| débit d'un ruisseau | Hauteur d'un bassin de rétention | Calcul à partir de la hauteur de l'eau dans un déversoir |
| distance terre-lune | Ombre du soleil pendant éclipse | Différentes observation et calculs |
| distance étoiles | Parallaxe | Calculs trigonométriques à partir d'une mesure très précise des angles |
| Vitesse de la lumière | Angle apparent des étoiles lointaines | Angle d'observation dépend de la vitesse orbitale de la terre autour du soleil |

2.5 Quelques instruments en images

2.6 Mesures directes/indirectes

| Mesure directe | Mesure indirecte |
|---|--|
| On compare la valeur avec une référence | On utilise l'effet de la mesurande sur une autre grandeur physique. |
| Mesure avec une règle, pied à coulisse, mesure du poid avec une balance romaine | Mesure avec un dynamomètre : on utilise l'effet du poids sur l'élongation du ressort |

| Mesure directe | Mesure indirecte |
|----------------|--|
| | Voltmètre analogique : l'aiguille est déviée par la force créée par le courant dans un champ magnétique. |

Le pied à coulisse permet de mesurer un diamètre ou une profondeur avec une bonne précision. Il s'agit dans ce cas de comparer avec une référence qui est la *règle*.

référence

💡 Tip

Dans le langage courant, une mesure directe signifie que la grandeur recherchée est directement lisible sur un instrument.

2.7 Techniques de mesure

Toutes les grandeurs ne sont pas mesurables directement. Il faut souvent utiliser des moyens indirects. Il y a par exemples plusieurs moyens imaginables pour mesurer la masse d'un objet.

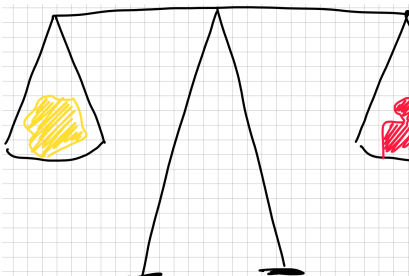
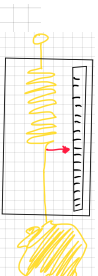
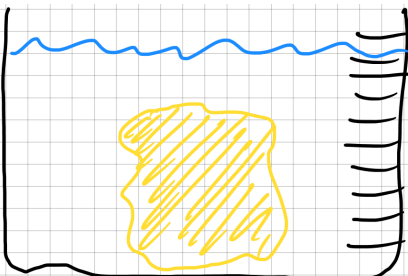
| Comparaison | Action | Indirecte |
|---|---|--|
|  <p>On cherche le poids à partir d'un certain nombre de poids connus</p> $\mathbf{m} = \sum_i m_i$ |  <p>On utilise la propriété du ressort pour en déduire la masse.</p> $\Delta L = k_r \mathbf{m} g$ |  <p>Si on connaît la masse volumique de la masse à mesurer, on peut déduire son poids de son volume</p> $\Delta h = V/S, \rho V = \mathbf{m}$ |



Figure 2: télémètre laser



Figure 3: Multimètre



Figure 4: Codeur incrémental



Figure 5: Thermocouple

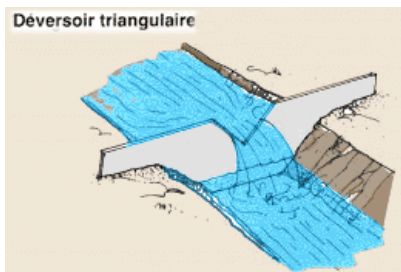


Figure 6: Déversoir



Figure 7: Mesure de gaz

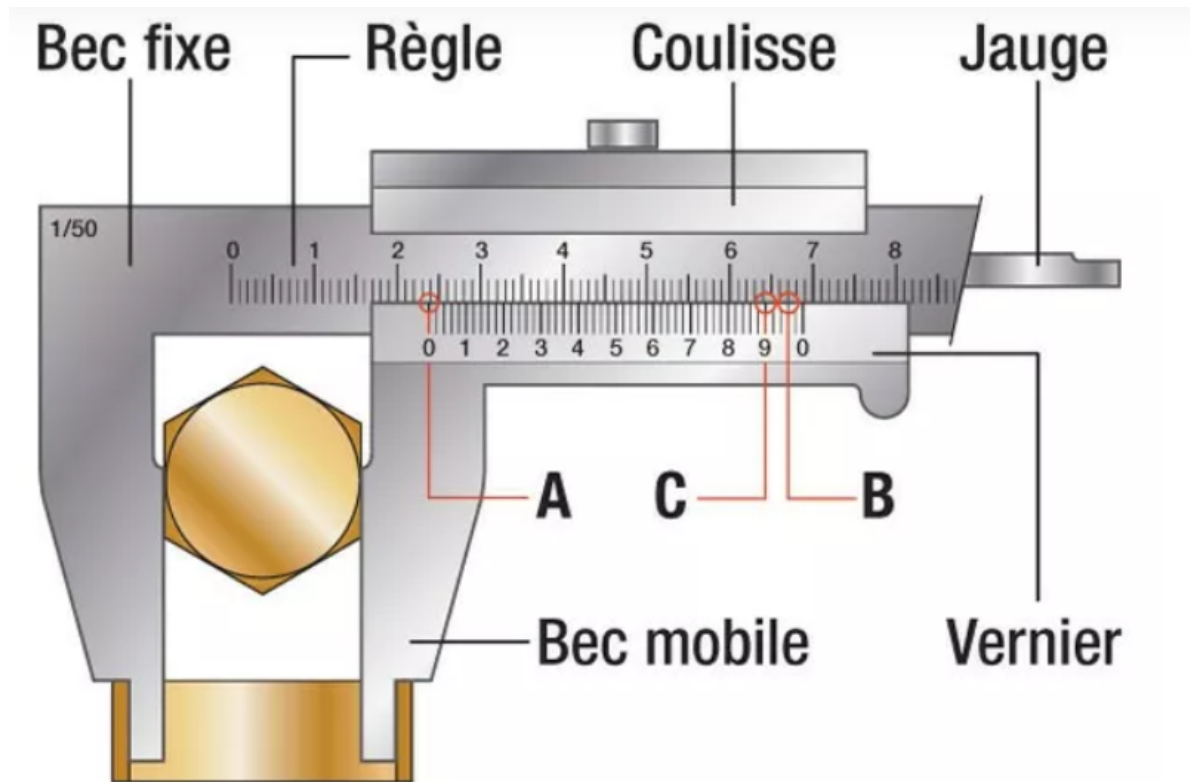


Figure 8: Pied à coulisse

💡 Tip

La mesure par élongation d'un ressort peut être affinée : on peut ajouter au ressort un électro-aimant et une mesure de position. En compensant le déplacement par le courant, on peut déduire le poids à partir du courant nécessaire. Ceci permet de s'affranchir de non linéarités sur l'élongation du ressort.

2.8 Exemple : Mesure distance des étoiles

Parallaxe : L'angle sous lequel on voit les étoiles "proches" varie selon la position de la terre par rapport au soleil. Figure 9

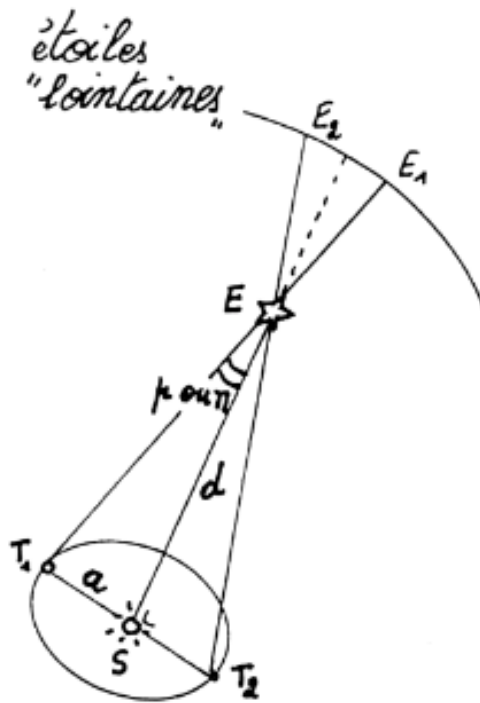


Figure 9: Variation du parallaxe des étoiles proches

Le satellite Hipparcos (HIgh Precision PARallax COLlecting Satellite) a établi un catalogue des étoiles "proches" avec une précision de mesure des angles de $0.002''$.

$$1^\circ = 60'1' = 60''1'' = \frac{1^\circ}{3600}$$

2.9 Signaux statiques et dynamiques

La mesure d'une grandeur doit idéalement retourner une valeur bien définie. La réalité est un peu différente. Les signaux peuvent avoir différentes formes qui rendent la lecture plus difficile.

Jouer avec un jupyter notebook

2.10 Combinaison des différents types de signaux

Les différentes composantes du signal se combinent, avec des influences plus ou moins fortes.

2.11 Temps de réponse

Le temps de réponse est le temps qu'il faut à un appareil pour afficher la valeur exacte lorsque la mesurande a changé.

2.12 Bande passante

Un appareil a des limites en fréquence. En général, les hautes fréquences sont limitées.

2.13 Grandeur de sortie

Un instrument va fournir l'information sous une forme utile à l'application qui exploite la mesure.

| Sortie | formes | Usage |
|----------------------|---|--------------------------------------|
| affichage | instrument visible ou signal acoustique | Relevé par un opérateur |
| sortie analogique | 0-10V, 4-20mA | Lecture par un système d'acquisition |
| Interface numérique. | RS232, Ethernet, Bluetooth, etc. – | Utilisation par un système, cloud |

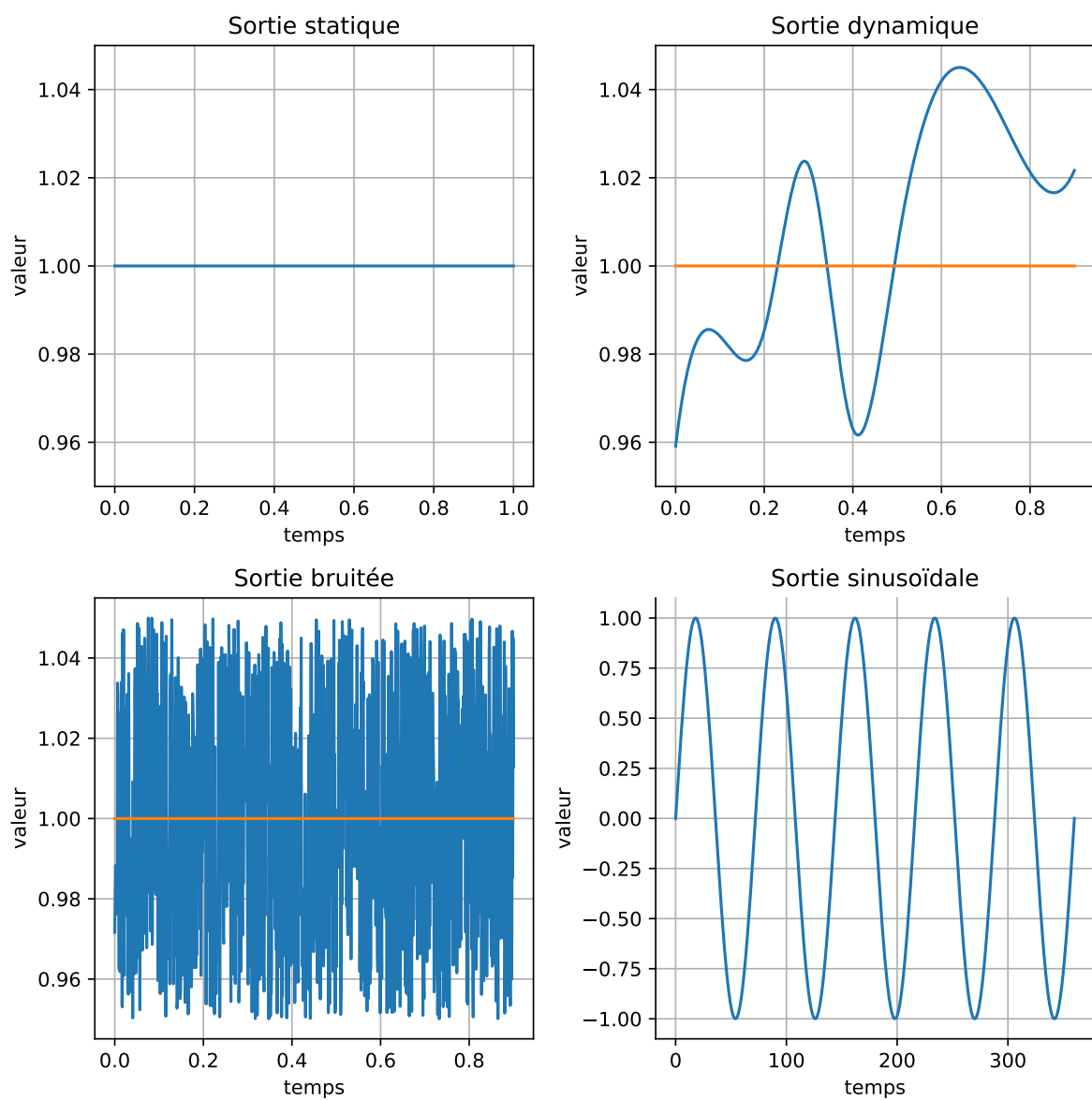


Figure 10: Signaux statiques et dynamiques

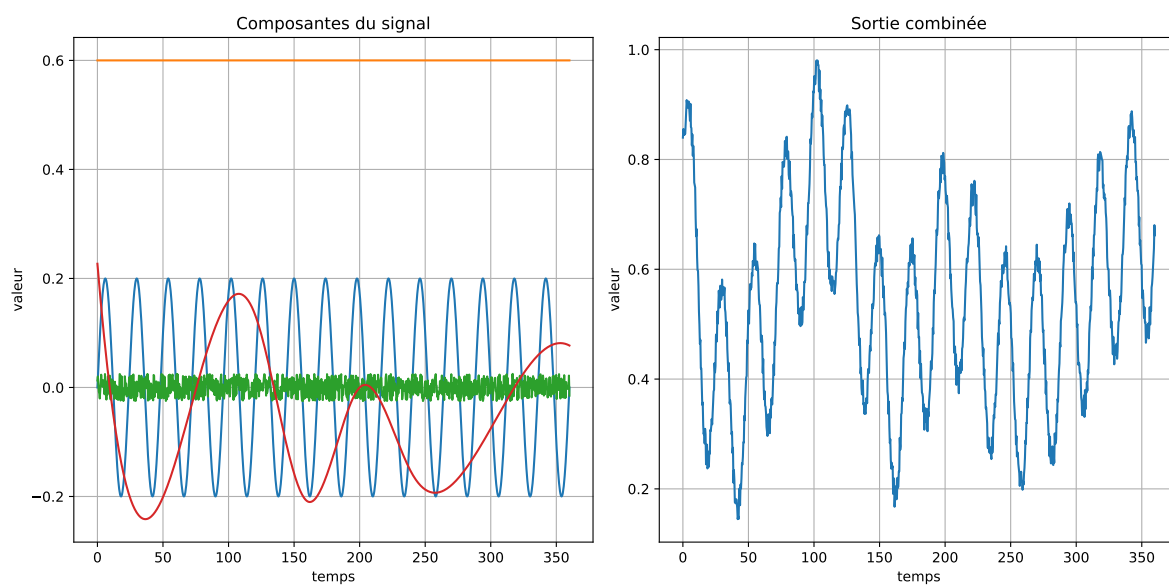


Figure 11: Composantes d'un signal réel

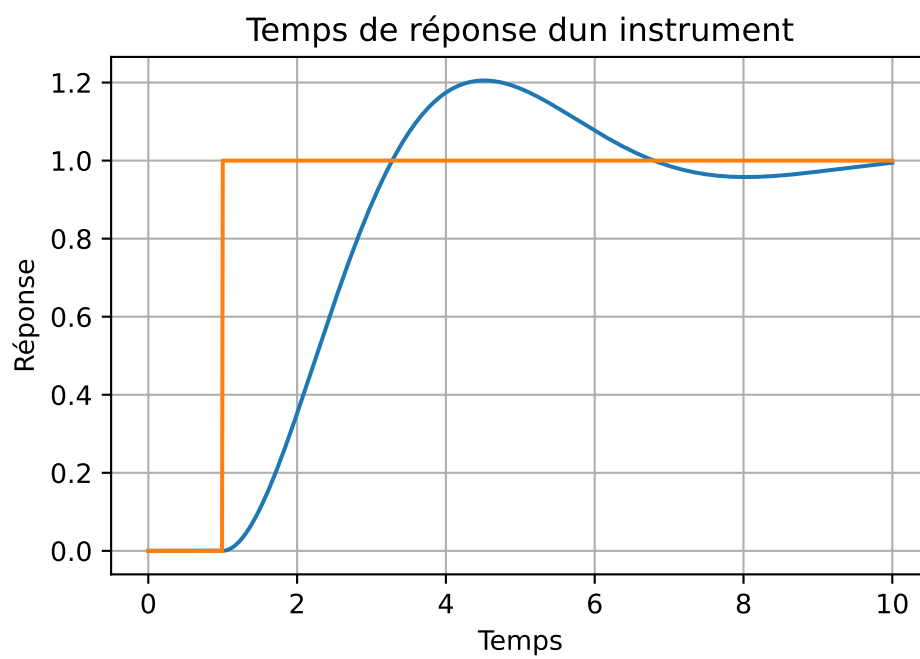


Figure 12: Temp de réponse d'un signal

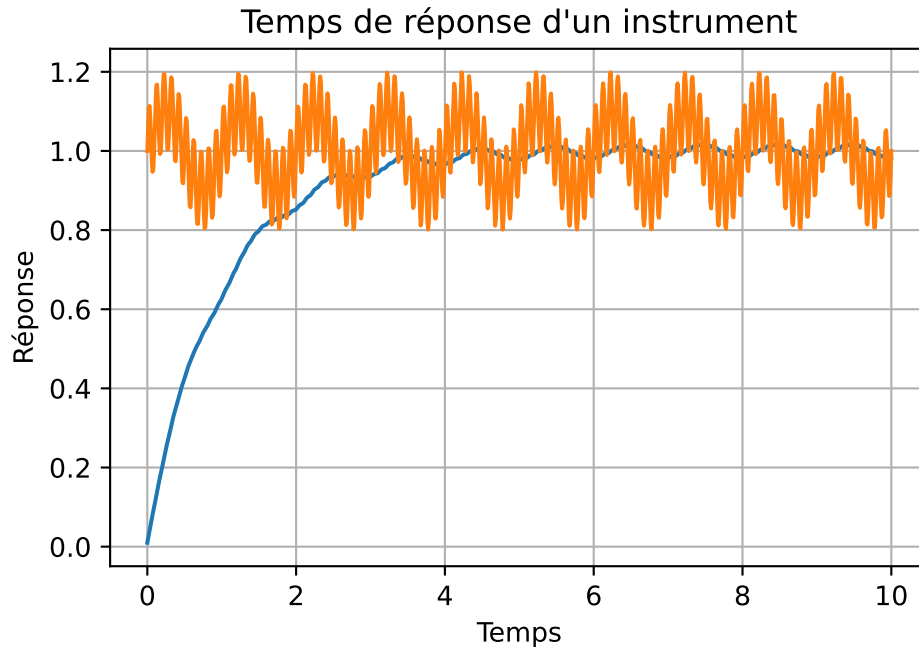


Figure 13: Bande passante d'un signal

2.14 Exemple de spécification d'un capteur

La fiche technique du **Capteur BAUMER** indique les propriétés du capteur. Il va spécifier aussi quelles sont les erreurs auxquelles il faut s'attendre. Il est important de comprendre ce qu'il en découle pour faire le bon choix.

Plus le capteur a besoin d'être précis, plus il sera cher. Le bon capteur aura la précision suffisante sans excès.

Ce genre de capteur nécessite encore une mise en forme, le signal de sortie n'est pas forcément exploitable par n'importe quel système d'acquisition.

3 Caractéristiques statiques, linéarisation

- Linéarisation du signal du capteur
- Précision de la mesure

3.1 Caractéristique statique

Une caractéristique statique représente la réponse à un signal *lent*. La caractéristique est le lien entre la mesurande et la sortie de du capteur. Si le capteur est linéaire, on peut déduire facilement la valeur de la mesurande.

Dans bon nombre de cas, la caractéristique n'est pas linéaire. Une *linéarisation* est nécessaire.

3.2 Linéarisation

- La caractéristique d'un capteur n'est pas forcément linéaire. Pour obtenir la valeur juste, il peut être nécessaire de linéariser la mesure. L'opération consiste à retourner une valeur proportionnelle à la valeur de la mesurande.
- On peut utiliser une série de mesures pour ajuster une courbe de correction.
- Il se peut qu'on ait un modèle mathématique qui est utilisable, mais en général il faut identifier les paramètres du modèle.
- Une fois la courbe identifiée, elle peut être utilisée pour calculer la mesurande à partir de la valeur mesurée.

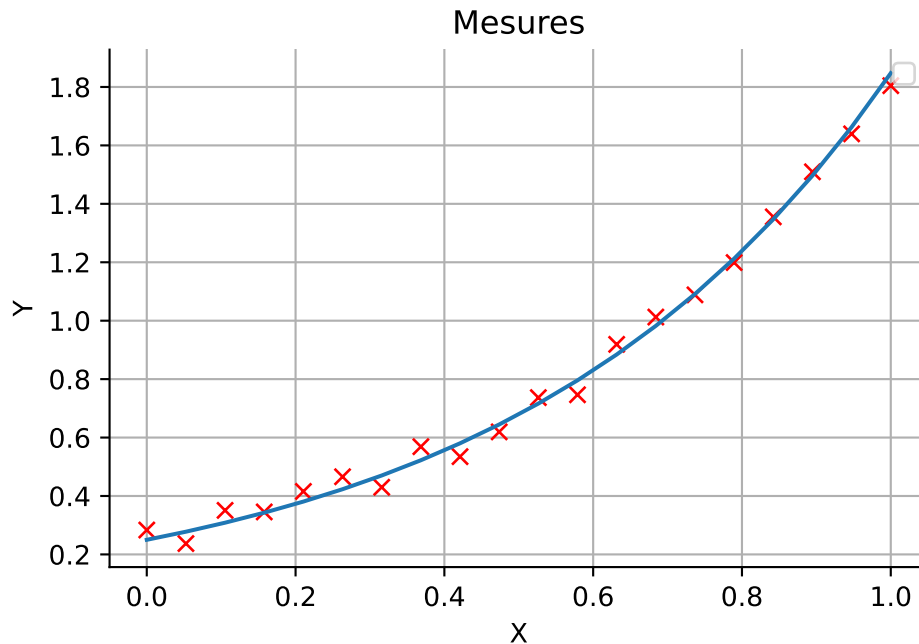


Figure 14: Mesure sur un capteur

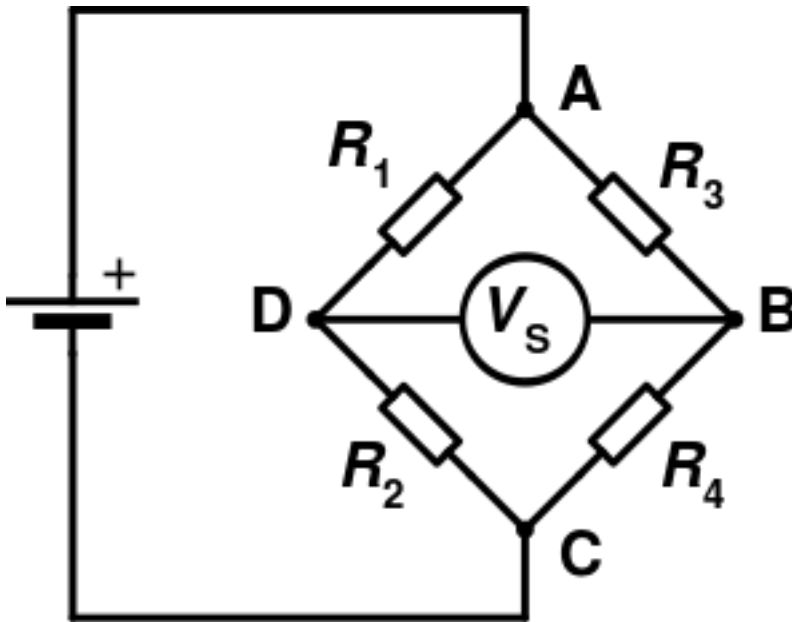
3.3 Exemple : Mesure d'une température

- Le capteur n'a pas une caractéristique linéaire, la relation est donnée par un tableau
- Une relation entre la mesurande et la valeur mesurable est établie à partir des mesures dans une forme exploitable

Voir Jupyter Lab notebook [notebook linearisation](#)

3.4 Pont de Wheatstone

Un pont de wheatstone permet de mesurer une petite variation de résistance en éliminant des influences comme celle de la température.



Si on remplace une des résistances par une résistance variable (jauge de contrainte), on obtient une relation non linéaire entre la tension de sortie et la variation de la résistance.

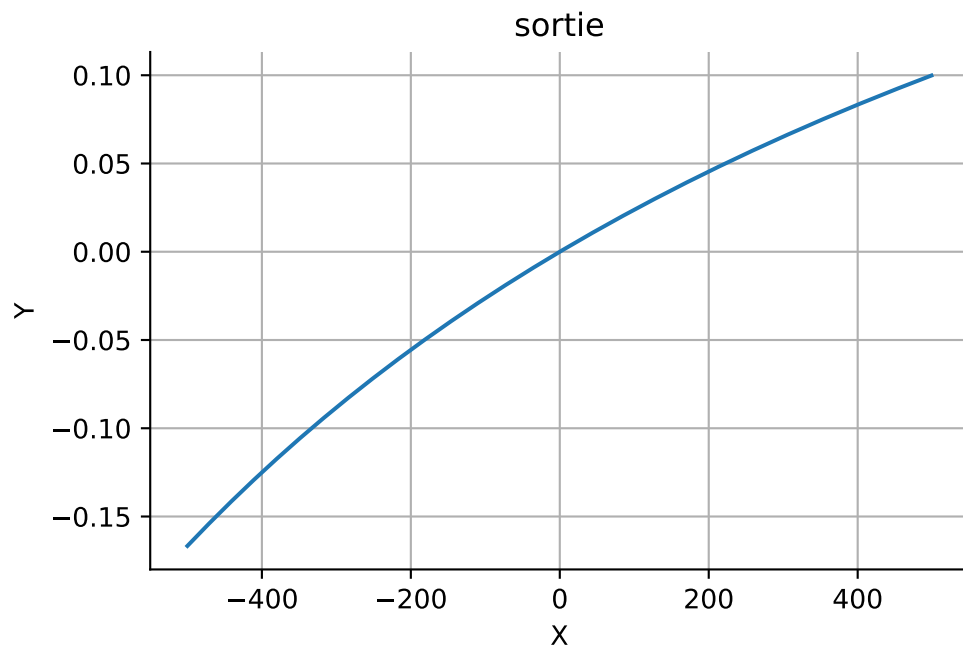


Figure 15: Caractéristique sur une grande plaque

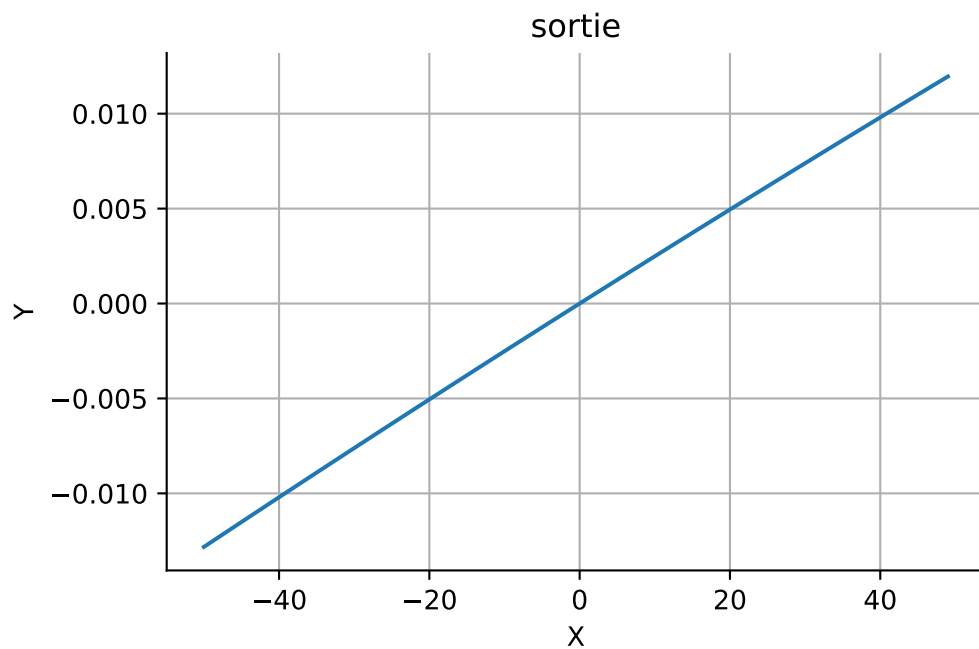


Figure 16: Caractéristique sur une petite plaque