

Instrumentation

Pr. Joseph Moerschell, Dr. Marc Nicollerat

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/nicollerat/hevs-doc-instrumentation>

Actuel

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

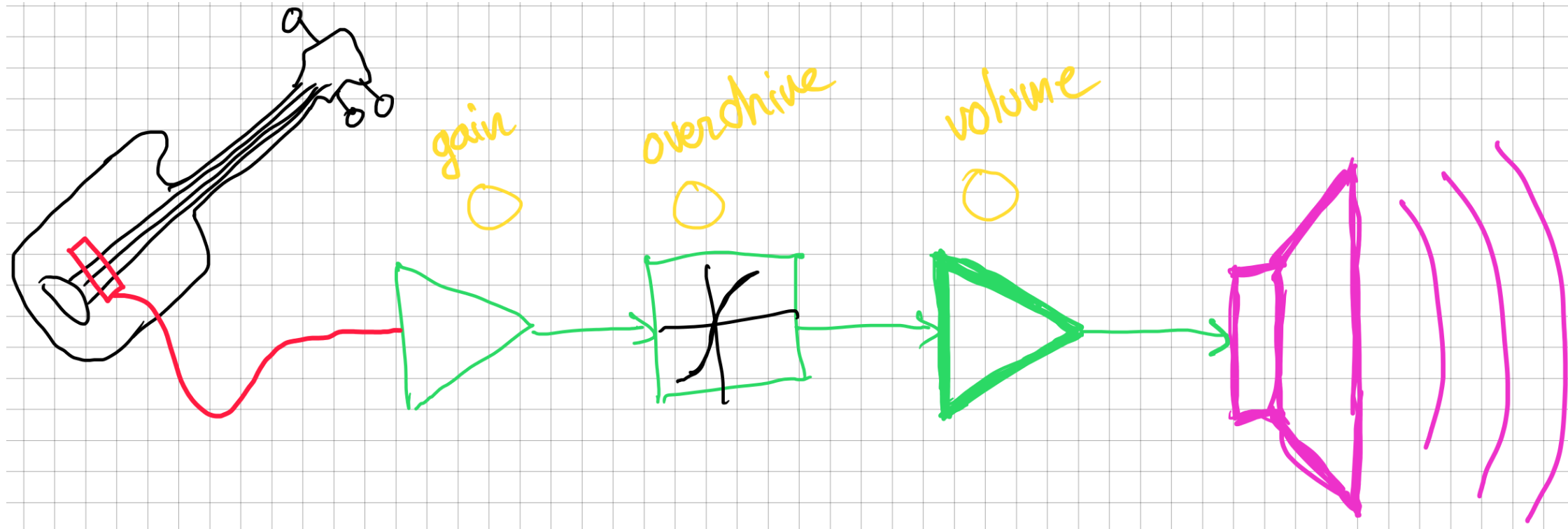
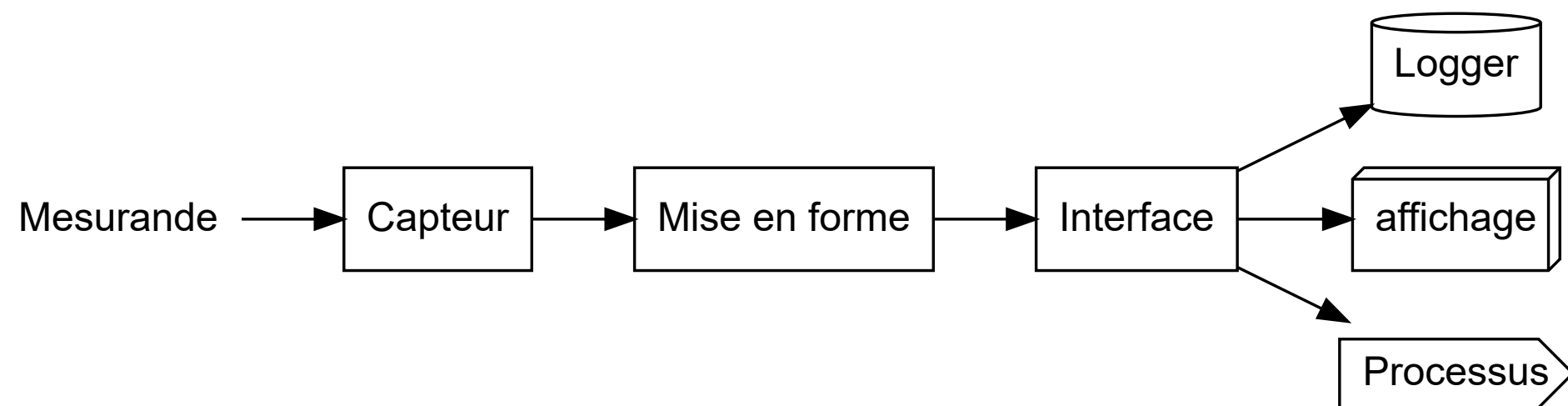


Figure 1: Exemple d'instrument de mesure de la vibration d'une corde



Note

grandeur à mesurer = **mesurande**

2.2 Composants d'un appareil

Capteur

Utilise un procédé pour convertir la *mesurande* 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

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



télémètre laser



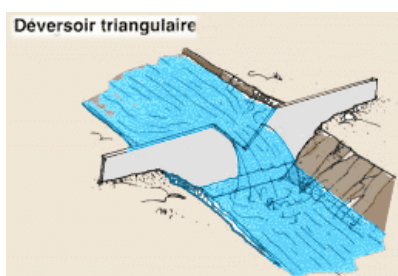
Multimètre



Codeur incrémental



Thermocouple



Déversoir



Mesure de gaz

2.6 Mesures directes/indirectes

Mesure directe

On compare la valeur avec une référence

Mesure avec une règle, pied à coulisse, mesure du poid avec une balance romaine

Mesure indirecte

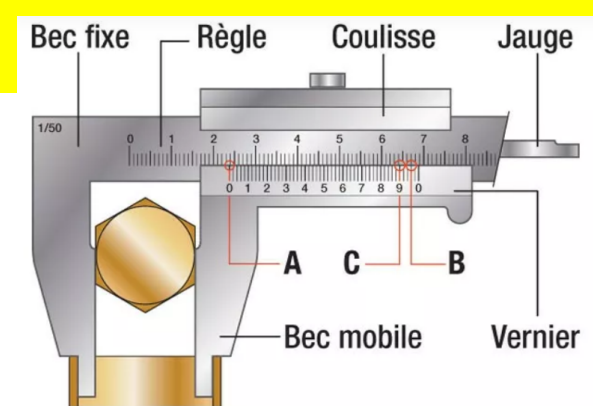
On utilise l'effet de la mesurande sur une autre grandeur physique.

Mesure avec un dynamomètre : on utilise l'effet du poids sur l'élongation du ressort

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



Pied à coulisse



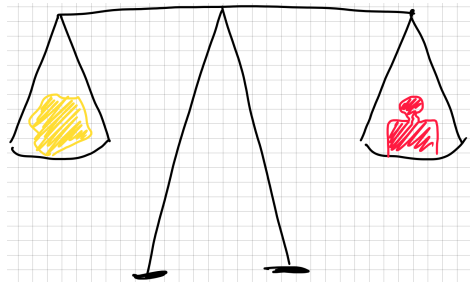
Tip

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.

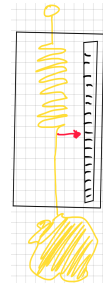
Comparaison



On cherche le poids à partir d'un certain nombre de poids connus

$$\mathbf{m} = \sum_i m_i$$

Action



On utilise la propriété du ressort pour en déduire la masse.

$$\Delta L = k_r \mathbf{m} g$$

Indirecte



Si on connaît la masse volumique de la masse à mesurer, on peut déduire son poids de son volume

$$\Delta h = V/S, \rho V = \mathbf{m}$$



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 2](#)

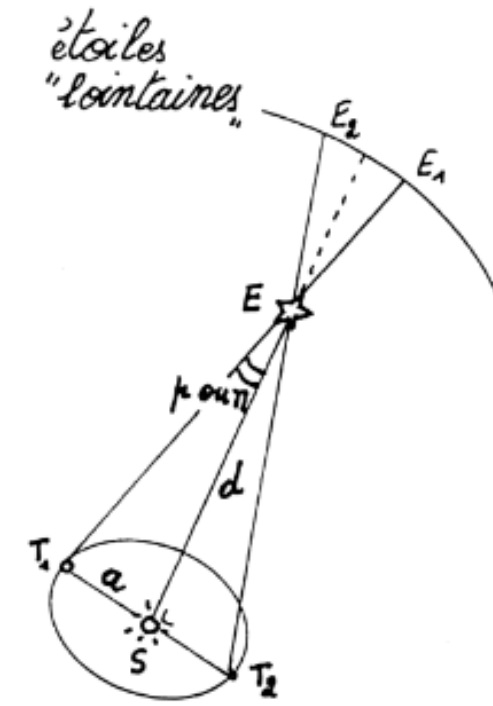


Figure 2: Variation du parallaxe des étoiles proches

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.

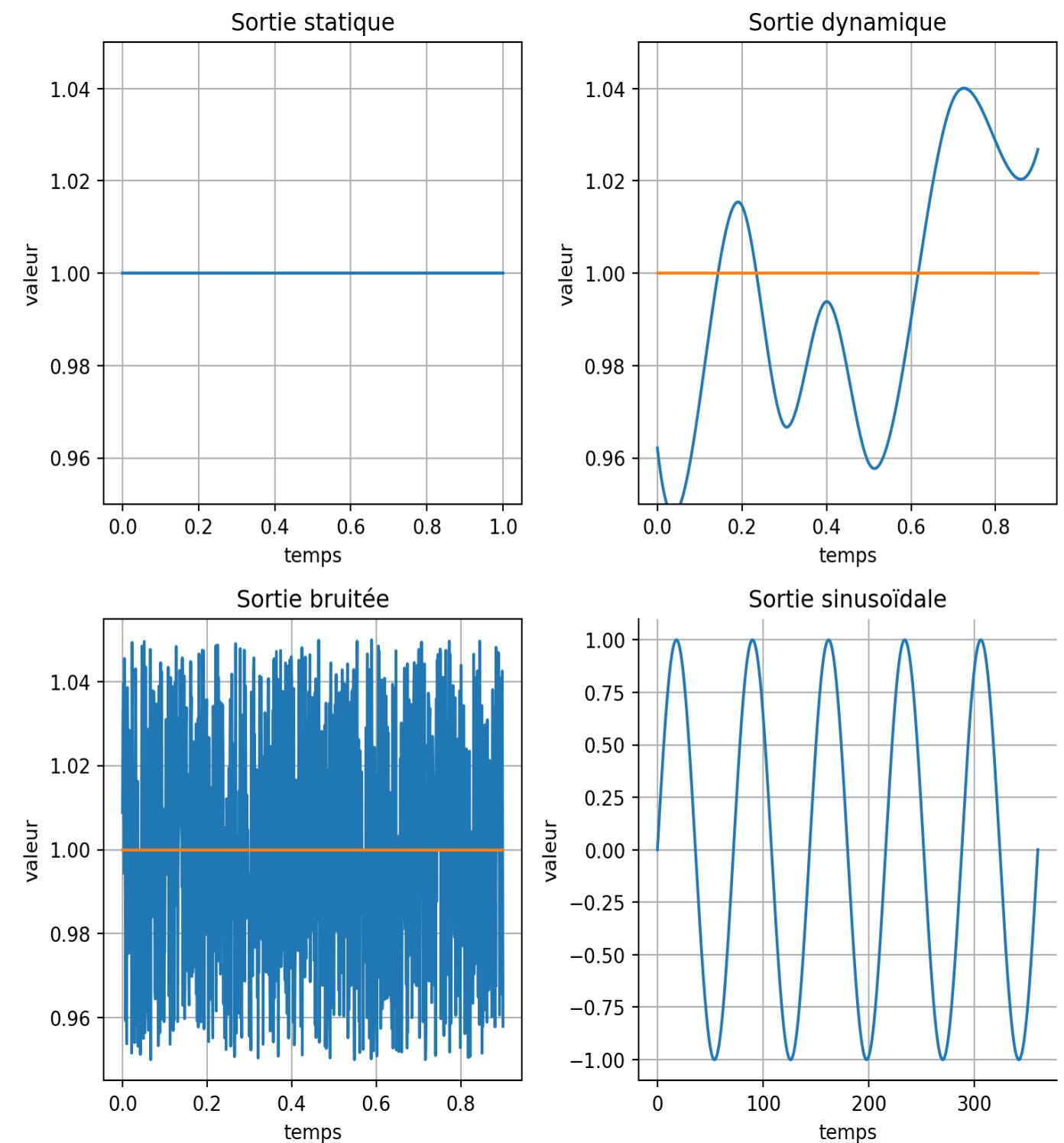


Figure 3: Signaux statiques et dynamiques

2.10 Combinaison des différents types de signaux

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

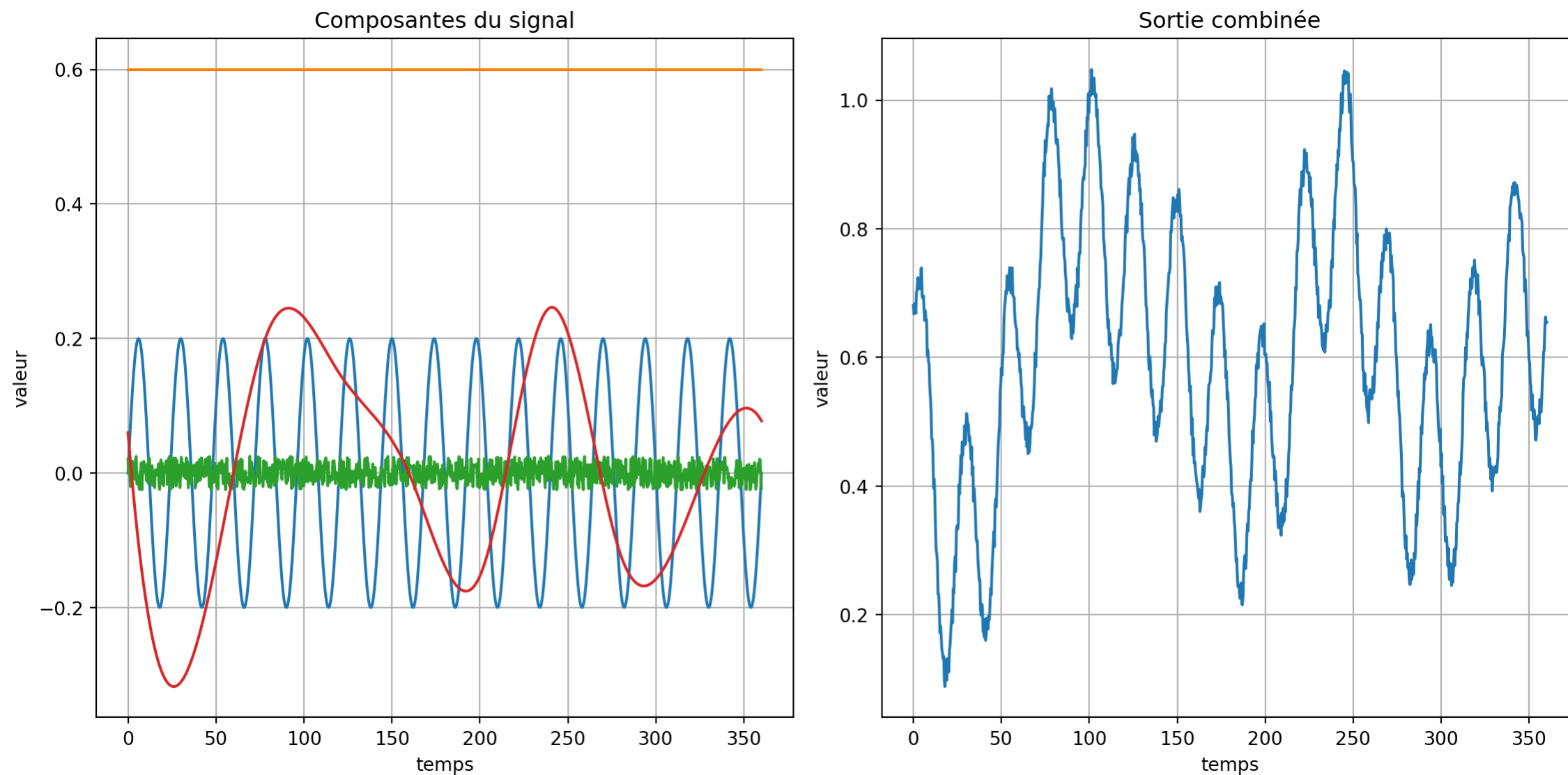
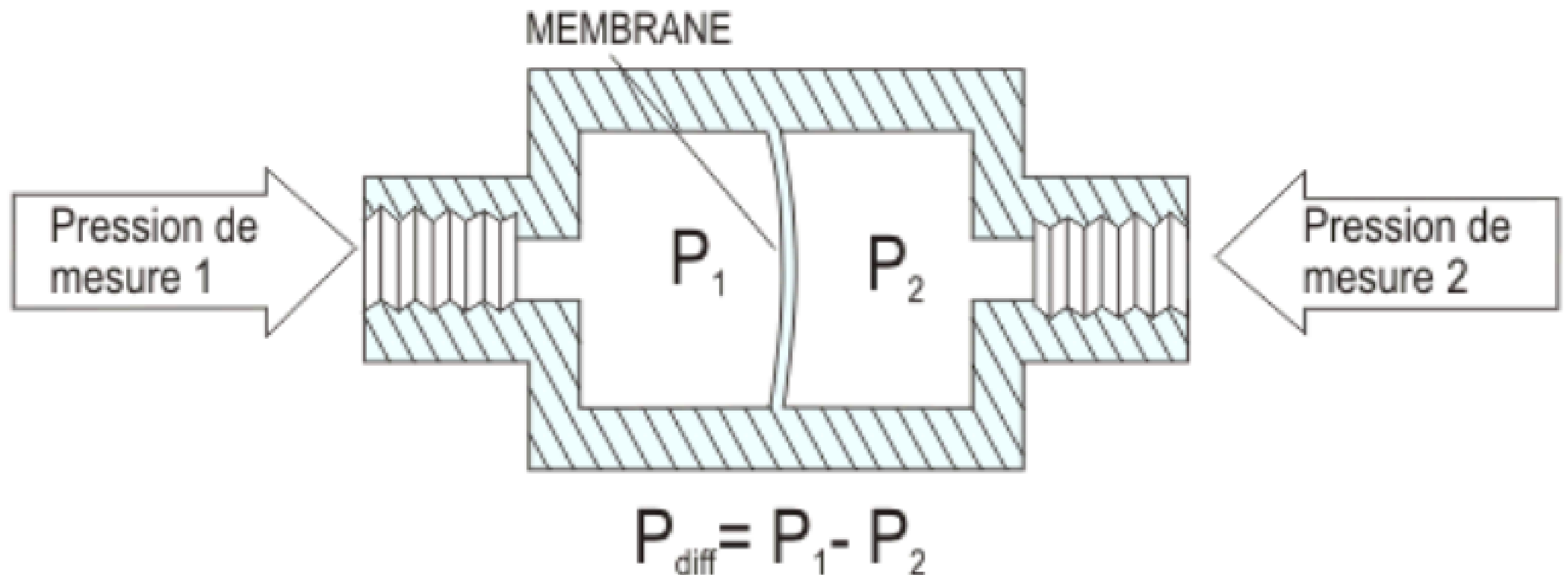


Figure 4: Composantes d'un signal réel

2.11 Mesure différentielle

Certaines mesures comme la pression peuvent se faire de manière différentielle. Le capteur de pression est composé d'une partie mécanique qui se déforme avec la pression (membrane). La pression de 2 endroits différents est amenée de chaque côté du capteur.



Mesure différentielle de pression

D'un point de vue électrique, on utilise aussi parfois une mesure différentielle. Le fait d'acheminer les signaux sur 2 fils permet de s'affranchir de signaux parasites.

2.12 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.

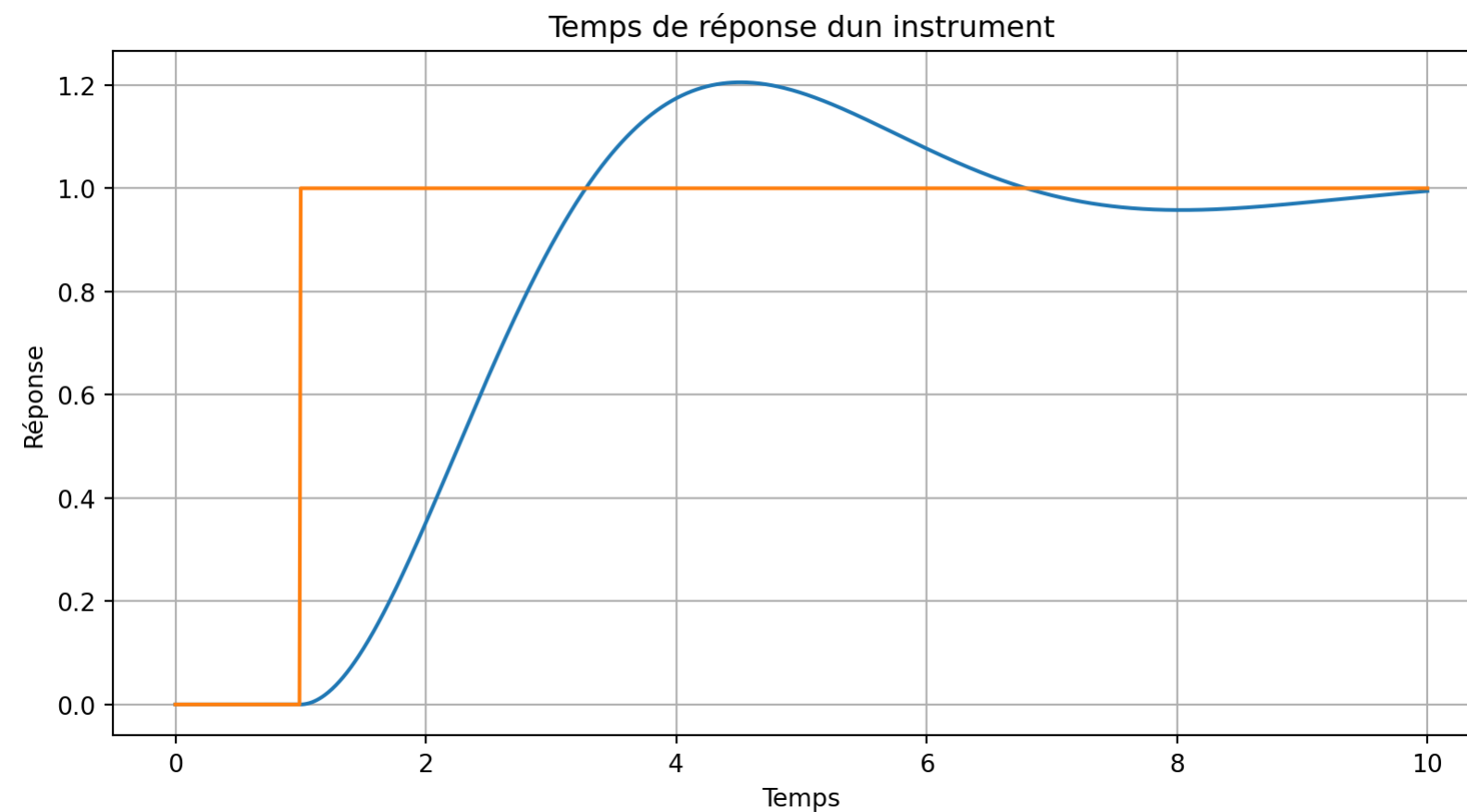


Figure 5: Temp de réponse d'un signal

2.13 Bande passante

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

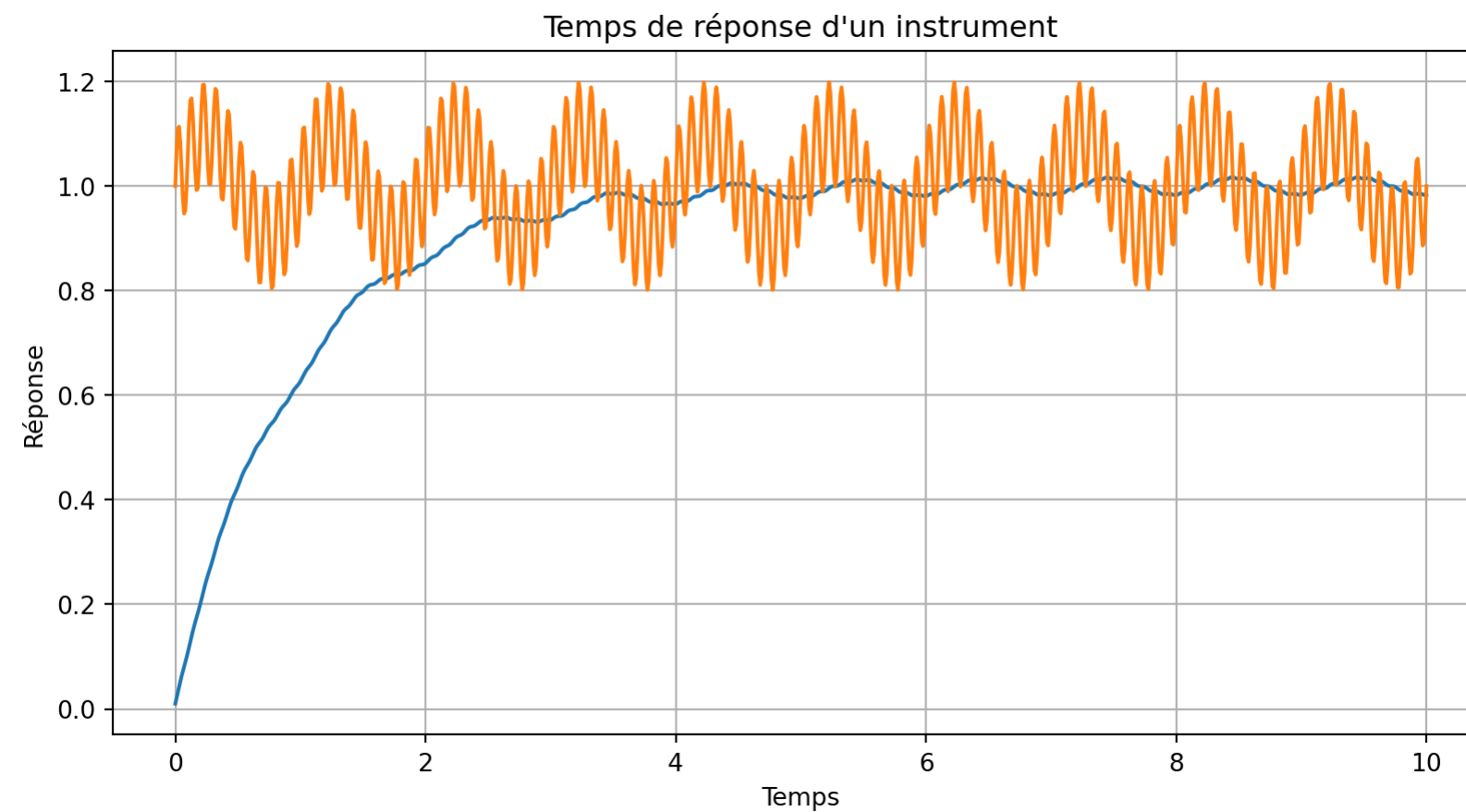


Figure 6: Bande passante d'un signal

2.14 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

2.15 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.

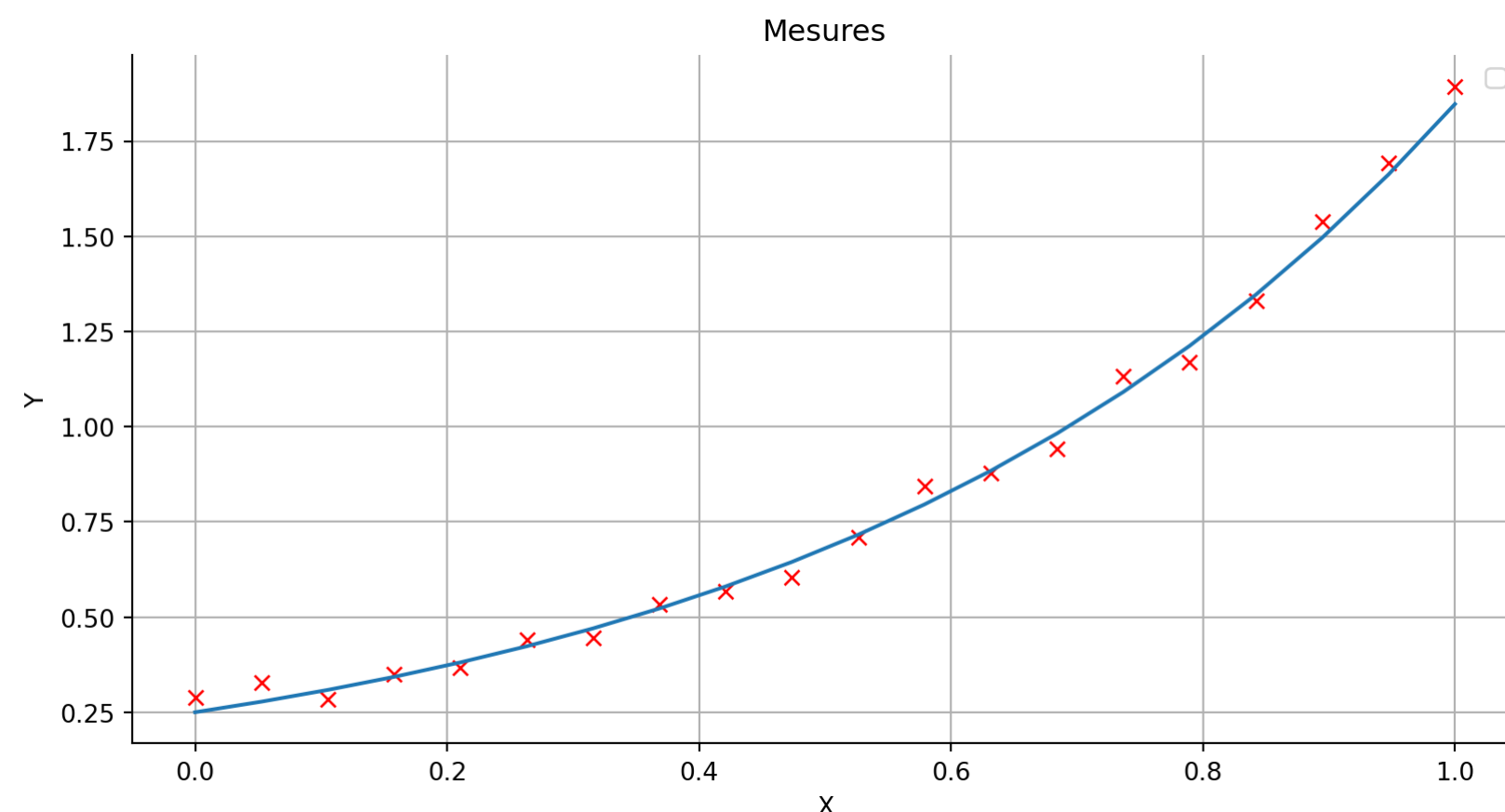


Figure 7: Mesure sur un capteur

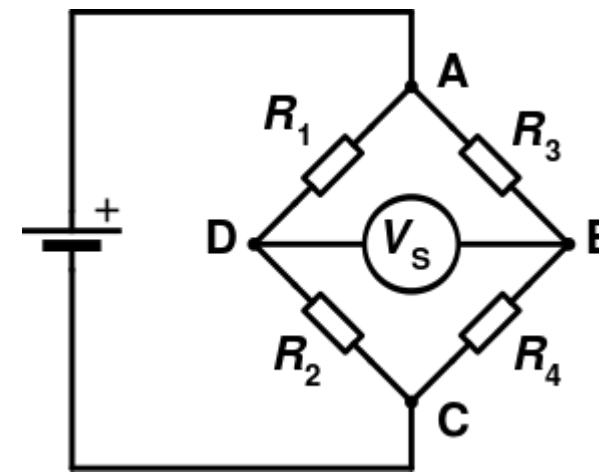
3.3 Exemple : Mesure d'une température

- 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

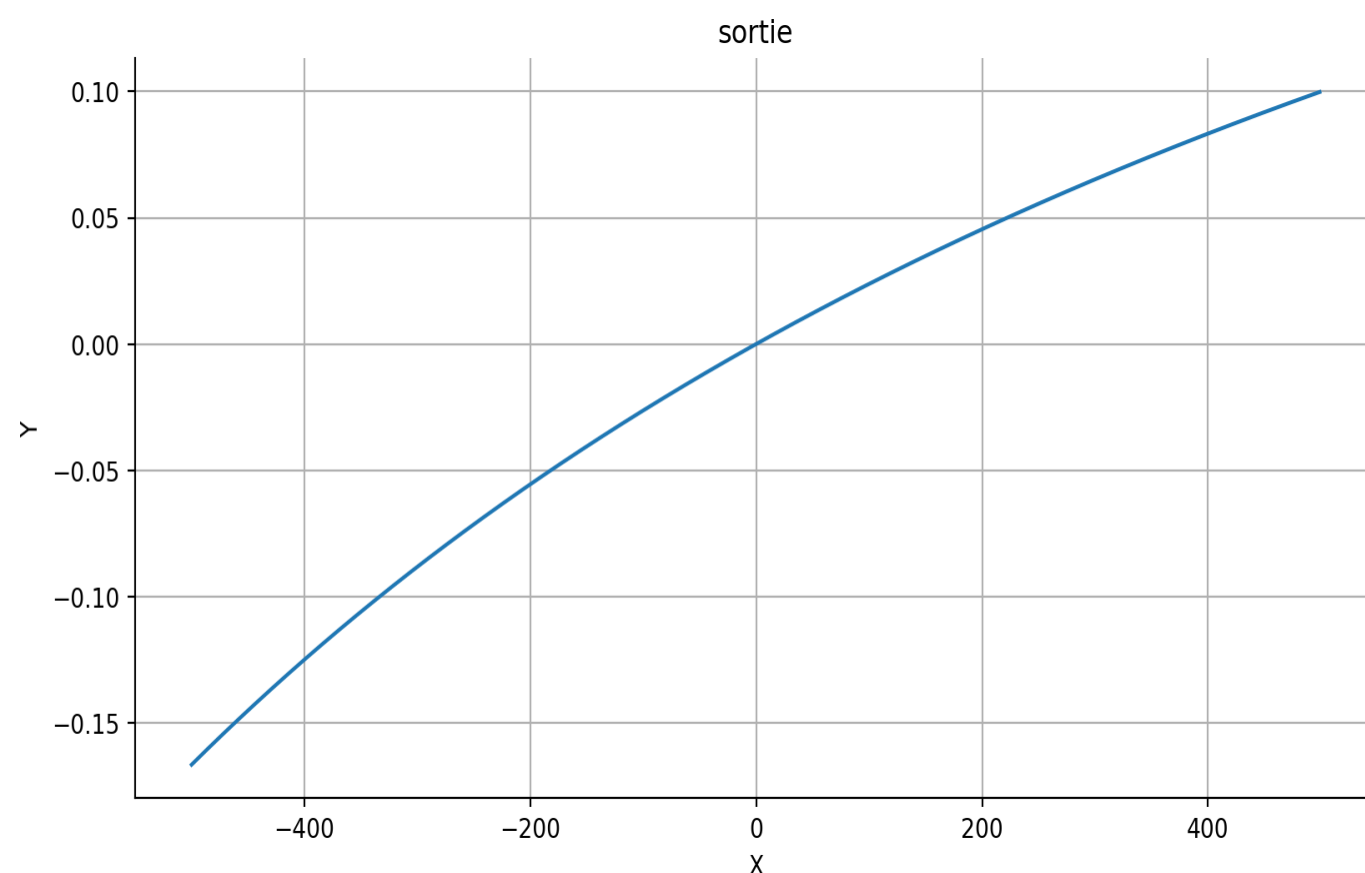
Voir Jupyter Lab notebook [notebook linearisation](#)

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.



Caractéristique sur une grande plage

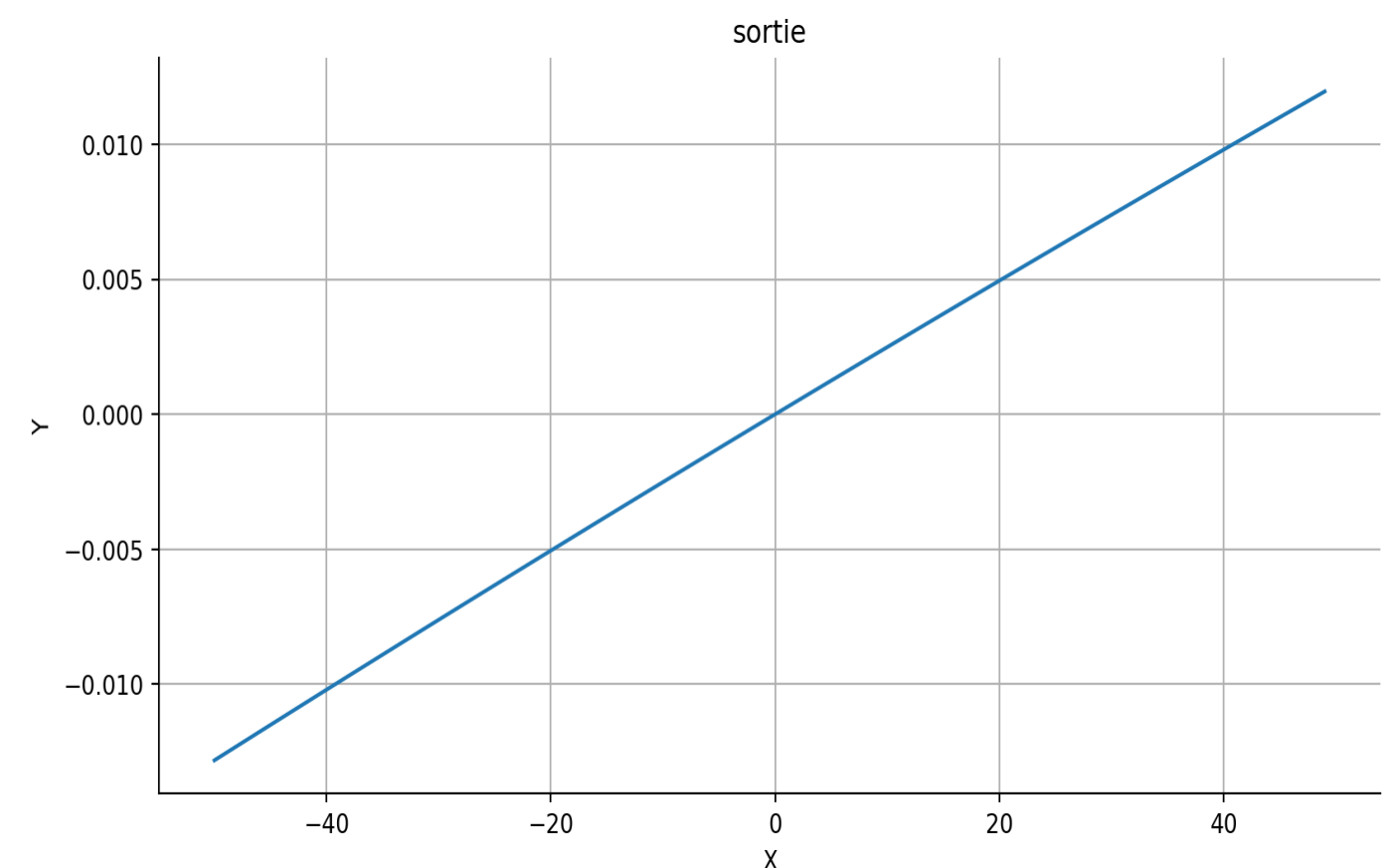


Figure 8: Caractéristique sur une petite plage

