Instrumentation

Pr. Joseph Moerschell, Dr. Marc Nicollerat

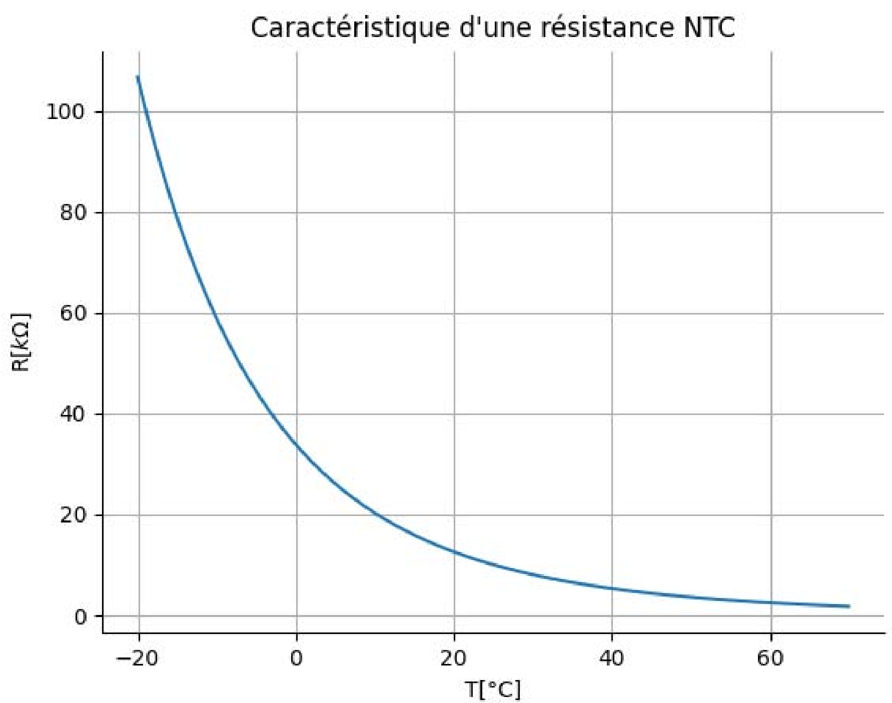
2 Caractéristiques statiques, linéarisation

- Caractéristique statique
- Limitations
- Identification
- Comportement dynamique
- Limitations
- Gain en puissance

2.1 Caractéristique statique

Une caractéristique statique représente la réponse à un signal *lent*. La caractéristique est le lien entre la mesurande et la sortie 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.



Caractéristique d'une résistance

> **Note**
>
> La caractéristique donne la valeur de la résistance comme fonction de la température. Ceci est une description du comportement physique du composant. En pratique, on va mesurer la résistance et devoir en déduire la température.

2.2 Linéarisation

Une caractéristique de capteur est parfois exprimée par une relation non linéaire. On peut simplifier le calcul en effectuant une linéarisation de la caractéristique.

$$y = f(m), \quad y_{lin} = f(m_0) + S \cdot (m - m_0), \quad S = \left.\frac{df(m)}{dm}\right|_{m_0} \tag{1}$$

Cette linéarisation permet de simplifier le calcul. Dans beaucoup de cas, l'approximation est suffisante.

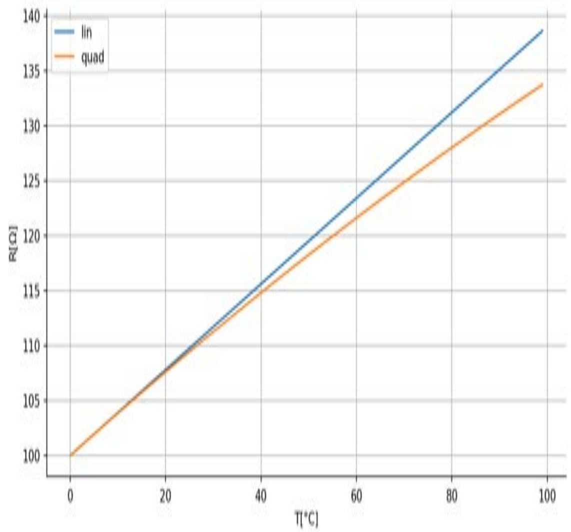
L'inversion de la caractéristique n'est pas toujours facile. Par contre une linéarisation n'est pas difficile à inverser.

> ⚠ **Exercice**
>
> Linearisation de la caractéristique d'une résistance NTC

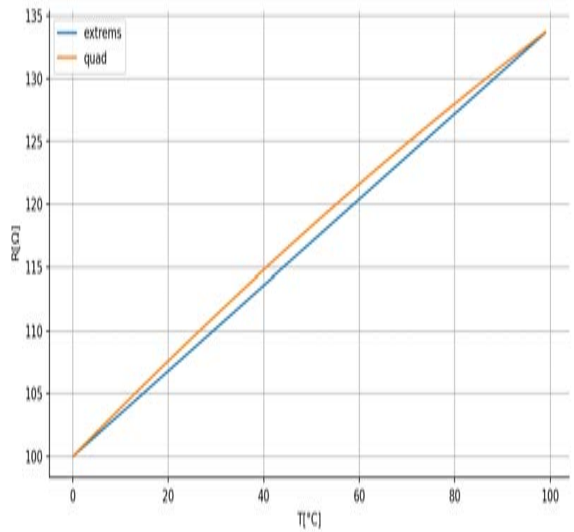
2.3 Interprétation de la linéarisation

On peut interpréter de différentes façons la *linéarisation*

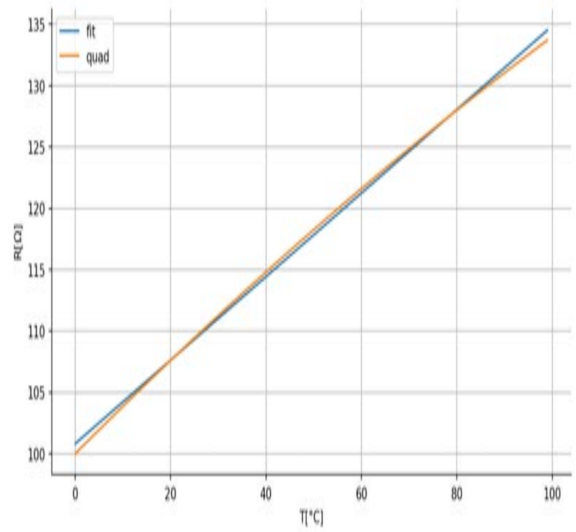
- Dérivée d'une caractéristique autour d'un point de fonctionnement
- Simplification d'une relation
- Calcul d'une droite à partir des points (Identification)



Sans terme quadratique



Points extrêmes



Fit moindres carrés

2.4 Exercice de linéarisation

Les exercices sont donnés sur cyberlearn, leçon 2 du Prof Moerschell.

> **Note**
>
> Exercice de la sonde de Pitot a été fait dans un jupyter notebook
>
> Sonde de Pitot : python/ex_pitot_sol.ipynb

2.5 Identification

- Pour caractériser un capteur, on peut utiliser une **série de mesures** pour ajuster une relation. On va *identifier* les paramètres d'une relation linéaire ou quadratique.
- 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.

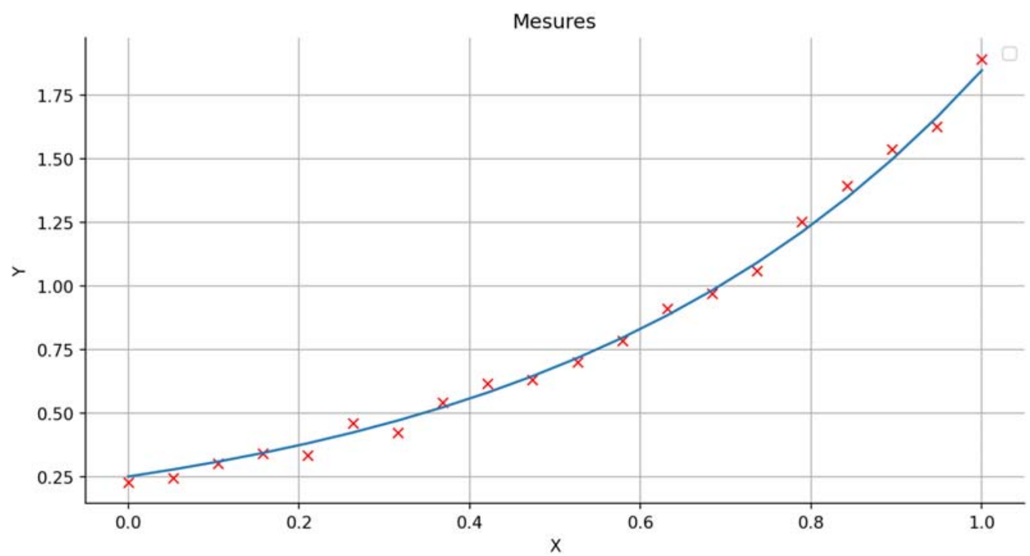


Figure 1: Mesure sur un capteur (rouge) avec un peu de bruit. La caractéristique première est en bleu.

Exemple

2.6 Exemple : Mesure d'une température

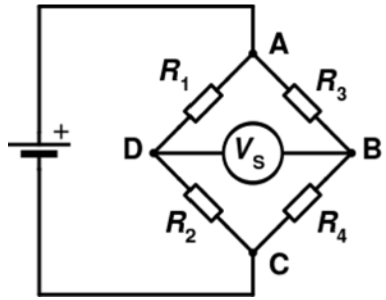
- Le capteur n'a pas une caractéristique linéaire, la relation est donnée par un tableau
- Une relation entre la mesurande et la valeur mesurable est établie à partir des mesures dans une forme qui permet un calcul
- Il est aussi possible d'interpoler la valeur de la mesurande dans le tableau

Illustration par l'exemple

Voir Jupyter Lab notebook notebook identification

2.7 Cas pratique : le pont de Wheatstone

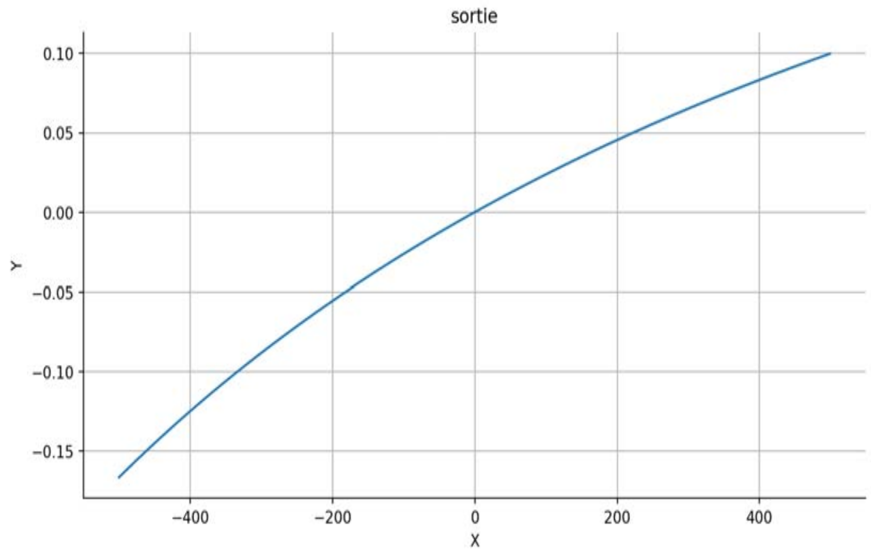
Un pont de wheatstone permet de mesurer une petite variation de résistance en éliminant des influences comme celle de la température.



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. Toutefois, la variation est très faible, si bien que cet effet est négligeable.

Exemple jupyter notebook

Le notebook pontWheatstone.ipynb permet de voir le code des figures ci-dessus.



Caractéristique sur une grande plage

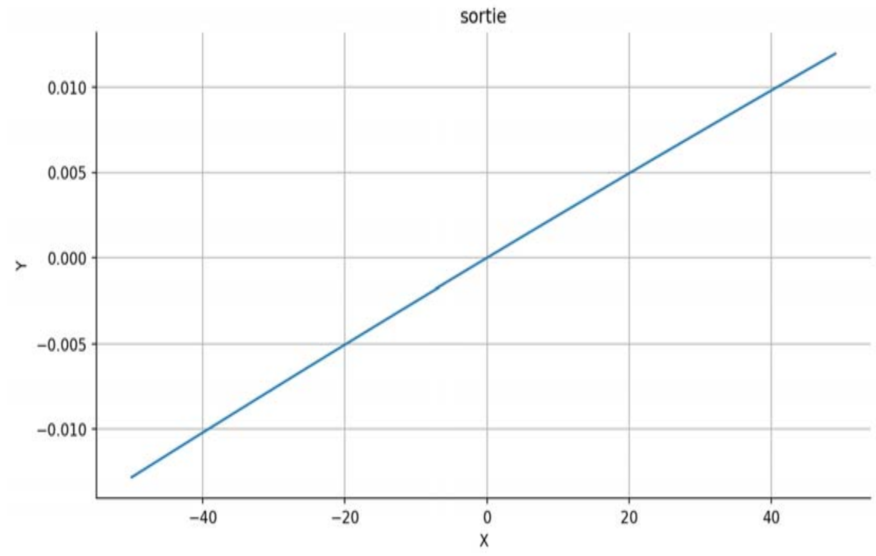
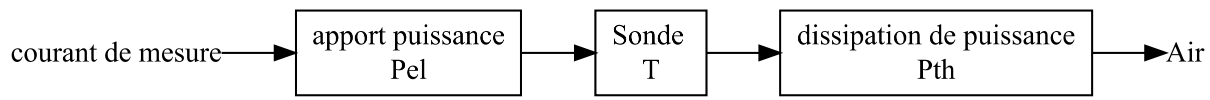


Figure 2: Caractéristique sur une petite plage

2.8 Comportement dynamique

Lors d’un changement de condition, un système ne trouve pas instantanément un point d’équilibre.

Par exemple, une sonde Pt100 a une masse propre. Sa température ne peut pas changer instantanément.



Le courant utilisé pour la mesure chauffe la sonde, ce qui fait augmenter sa température. A mesure que la température est plus grande, sa dissipation vers l’extérieur (par exemple l’air ambiant) augmente.

2.9 Equation dynamique

La température répond à une équation différentielle :

$$\frac{\partial T_{sonde}}{\partial t} = P_{el} - P_{th} = R \cdot i^2 - R_{th} \cdot (T_{sonde} - T_a)$$

Où T_a est la température ambiante et R_{th} une *résistance thermique*.

Après un temps suffisamment long, une température d'équilibre apparaît quand $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$, soit quand :

$$R \cdot i^2 = R_{th} \cdot (T_{sonde} - T_a) \implies T_{sonde} = \frac{R \cdot i^2}{R_{th}} + T_a$$

Attention

La valeur de R_{th} dépend des conditions d'utilisation. Dans l'air, cette valeur sera plus grande que dans l'eau. Dans l'air, l'orientation et la vitesse de l'air peut influencer la valeur.

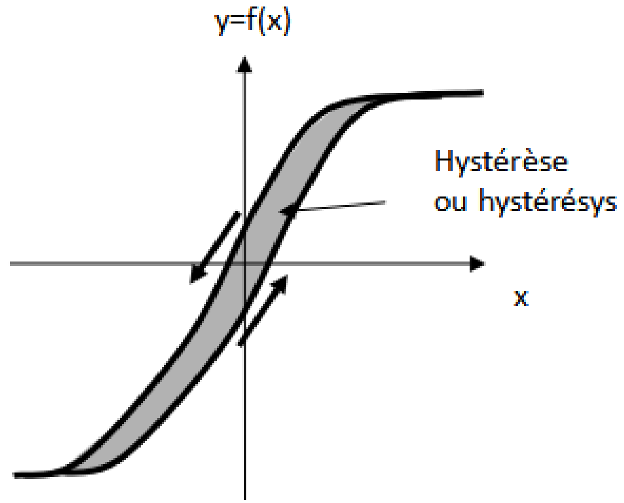
Tip

Quel intérêt y aurait-il à utiliser une sonde de résistance plus élevée ?

2.10 Limitations de la précision

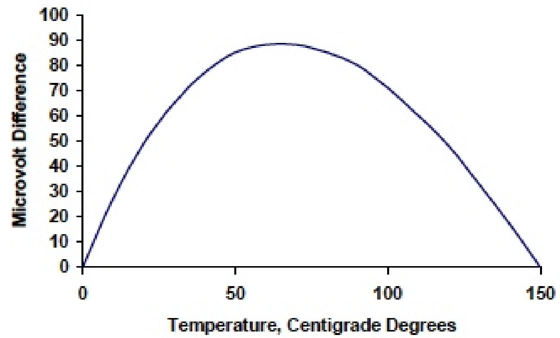
Certaines particularités limitent les possibilités de retrouver la mesurande avec précision.

- Hystérèse
  - Un jeu mécanique, typiquement un engrenage. Le jeu fait que le mouvement d'un axe à l'entrée ne se voit pas tout de suite à la sortie.
  - En magnétisme, l'aimantation a une hystérésis. La caractéristique n'est pas la même selon le sens de parcours.



- Un offset peut venir fausser la caractéristique.

- Fonction non univoque. Il n'est pas possible de trouver la bonne mesurande.



2.11 Etalonnage

L'étalonnage le plus simple est un réglage de l'offset et du gain d'un appareil. Il suffit d'avoir une valeur de référence à mesure pour définir le gain.

Réglage de l'offset	L'appareil indique zéro quand il n'y a pas de valeur à mesurer
Réglage du gain	On utilise une valeur connue pour régler le gain.

Tip

Les appareils de grande précision ont des références internes et peuvent s'étalonner tout seuls.

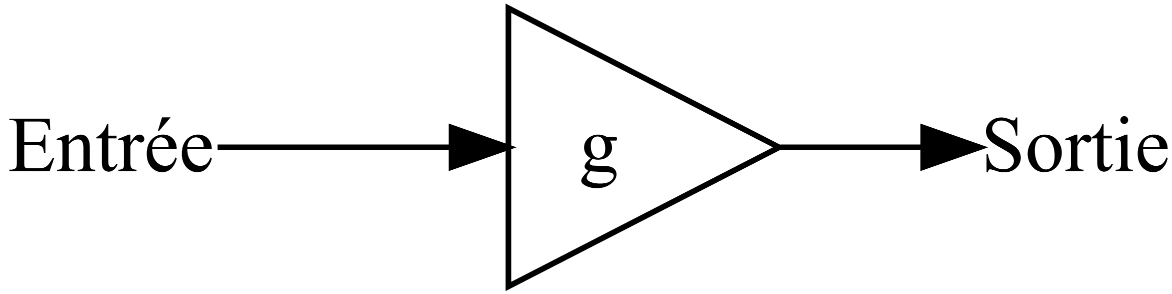
2.12 Exemples d'étalonnage

Les appareils utilisés pour du commerce ou pour une mesure officielle doivent être contrôlé et étalonnés à intervalle régulier pour garantir la précision dans le temps.

Etalonnage d'un compteur de volume	Le compteur de volume est remis à zéro à chaque mesure. Pour étalonner, on remplit un réservoir de volume connu, particulièrement bien gradué autour de la quantité de qualibration
Réglage d'un appareil de mesure du gaz	Pour étalonner ce genre d'appareil, on utilise des échantillon de gaz connu. Pour le zéro, on utilise par exemple de l'azote. Pour le réglage de l'échelle, on utilise un gaz aux propriétés connues

2.13 Gain de puissance

- Les gains de puissance sont avant tout utilisés dans la transmission d'ondes (son, radio, lumière)



- On utilise les logarithmes pour représenter les puissances :

$$G_{puissance} = \frac{A^2_{sortie}}{A^2_{entrée}} = G^2_{amp}$$

$$G_{puissance}[dB] = 10 \cdot \log_{10}(G_{puissance}) = 10 \cdot \log_{10}(G^2_{amp}) = 20 \cdot \log_{10}(G_{amp})$$

2.14 Chain de gain en dB

- Une chaîne de gains cause un amplification ou une atténuation du signal à mesurer.

$$A_{sortie} = A_{entrée} \cdot g_{preamp} \cdot att_{line} \cdot g_{ampli}$$

- L'utilisation du *décibel* permet d'avoir une plage de valeur plus commode et simplifie le calcul du gain total.

$$A_{sortie}[dB] = 20\log_{10}(A_{entrée} \cdot g_{preamp} \cdot att_{line} \cdot g_{ampli}) =$$
$$20\log_{10}(A_{entrée}) + 20\log_{10}(g_{preamp}) + 20\log_{10}(att_{line}) + 20\log_{10}(g_{ampli})$$
$$P_{sortie}[dB] = P_{entrée}[dB] + G_{pream} + G_{line} + G_{amp}$$

Tip

- Les gains sont exprimé en dB pour *décibels*.
- Le décibel est un rapport : $Att[dB] = 10\log_{10}(\frac{P1}{P2}) = 20\log_{10}(\frac{U1}{U2})$
- Des valeurs de références sont définies comme le dBm (1mV), dBu (0.775[V] RMS)...

2.15 Exemple de chaine de gain

- Quel est le niveau du signal en fin de chaîne ?

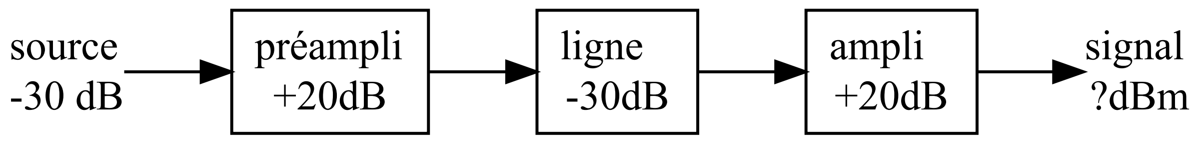


Figure 3: Exemple de chaine de gain de puissance

Tip

Pas besoin de calculette…

Il y a des valeurs remarquables :

- 6dB Gain de 2
- 20dB Gain de 10
- 14dB = 20-6dB => Gain de 10/2 = 5

2.16 Détente

Schrödinger and Heisenberg were out driving together when they were pulled over by a policeman.

The cop walks up to the window and asks, “Sir, do you know how fast you were going?”

Heisenberg replies, “No, but I know exactly where I was.”

The cop is unamused and orders the physicists to open their trunk.

He looks in and sees a dead cat.

“Do you know there is a dead cat in your trunk?”

Schrödinger replies, “Well, I do now!”

> **Note**
>
> - Le principe d’incertitude d’Heisenberg affirme qu’il n’est pas possible de connaître exactement 2 propriétés d’une particule, par exemple la position et la vitesse.
> - Le chat de Schrödinger est une expérience de pensée; le chat est dans une boîte et peut être à la fois mort et vivant, sauf si on ouvre la boîte : alors on sait s’il est mort ou vivant.