

MP05 - Mesure de température

April 26, 2019

Contents

1	Thermomètre primaire : tube de Kundt	2
1.0.1	Principe :	2
1.0.2	En préparation	3
1.0.3	Devant le Jury : mesure de température	4
2	Thermomètres secondaires	5
2.1	Sonde à platine :	5
2.1.1	Principe :	5
2.1.2	En préparation	6
2.2	sensibilité :	6
2.3	Effet joule dans la sonde à Platine	7
3	Thermocouple	7
3.1	Principe :	7
3.1.1	Effet Seebeck :	7
3.1.2	Thermocouple :	8
3.2	Étalonnage	8
3.3	En préparation	8
3.4	Temps de réponse	9
3.4.1	Théorie	9
3.4.2	Devant le Jury :	9
4	Annexe	11
4.1	Rappel sur les capteurs	11
4.1.1	Notions et concepts	11
4.1.2	Capteurs actifs	11
4.1.3	Capteurs passifs	12
4.1.4	Capteurs composites	12
4.2	Caractéristique métrologiques des capteurs	12
4.2.1	limite d'utilisation du capteur	12
4.2.2	Sensibilité	13
4.2.3	Rapidité - Temps de réponse	13
4.2.4	Discrétion ou finesse	13
4.3	rappels métrologiques :	13
4.4	Sur les thermocouples :	14
4.4.1	Thermocouple à trois soudures	14
4.4.2	Compensation électronique de soudure froide	14

gaz parfait, en notant γ le coefficient isentropique du gaz, M sa masse molaire et R la constante des gaz parfaits, la célérité du son s'exprime :

$$c = \frac{\gamma RT}{M} \quad (1)$$

Le tube de Kundt est un tuyau rempli d'air de longueur L et de section circulaire. Le tuyau est thermalisé par un bain thermostaté. À son entrée est placé un haut-parleur excité par un GBF. L'onde acoustique générée par le haut-parleur est réfléchiée partiellement sur l'autre extrémité, fermée par un bouchon : cela conduit à la propagation d'une onde stationnaire. Un microphone mobile permet de mesurer le champ de surpression acoustique.

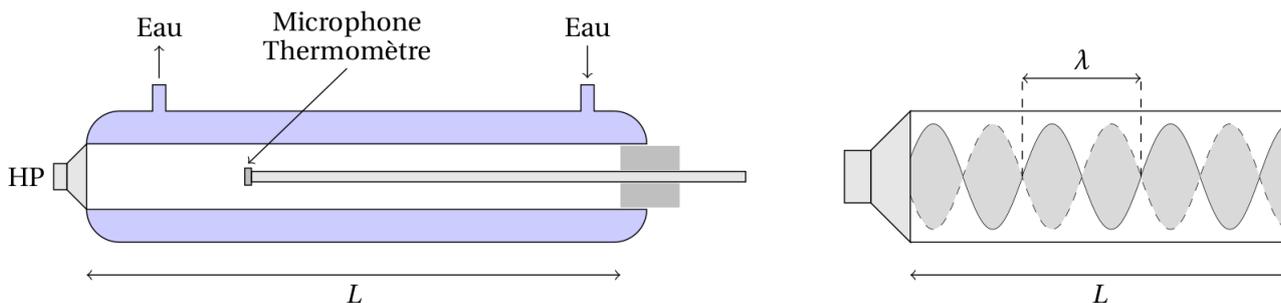


Figure 1: À gauche, schéma du tube de Kundt. À droite, onde stationnaire de surpression dans le tube. (provient du poly de Jérémy Ferrand)

La mesure de la vitesse du son dans un tube de Kundt est simple à réaliser : en mesurant à la fois la fréquence f et la longueur d'onde $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ de l'onde sonore, on remonte à sa célérité $c = \lambda f$.

En effectuant cette mesure à plusieurs températures, on détermine la variation de la célérité du son dans l'air avec la température, que l'on peut comparer à la prédiction théorique concernant le gaz parfait. La fréquence est imposée à l'aide du haut-parleur; la longueur d'onde est la période spatiale du système d'ondes stationnaires qui s'établit dans le tube.

1.0.2 En préparation

Expérience :

Jolidon p258

Alimenter le haut-parleur avec un GBF (amplitude 2 V) et brancher le micro sur l'oscilloscope. Ajuster la fréquence du GBF pour se placer à une résonance. On peut commencer à $f = 2\text{ kHz}$. On peut repérer celle-ci par l'existence de noeuds d'onde stationnaire. On peut également utiliser la méthode de Lissajous : sur l'oscilloscope, on met le signal de sortie du GBF et le signal du micro en mode XY. On obtient une ellipse : on cherche à réduire cette ellipse à une droite en changeant la fréquence.

Mesurer la fréquence du signal sonore, à l'aide d'un fréquencemètre^a. En déplaçant le micro, repérer les maxima et minima successifs de l'amplitude de l'onde stationnaire. En déduire la longueur d'onde

$$\lambda = 2 \frac{x_{i+m} - x_i}{m} \quad (2)$$

où m désignant le nombre de maxima d'amplitude observés.

On va maintenant faire les mesures en augmentant la température, car le refroidissement du système est très long. Avec les thermostats P0.86, il est possible de régler la température de consigne, l'actionnement du réfrigérateur, et d'autres paramètres (débit de la pompe, etc.) avec le bouton Menu.

Réaliser la mesure pour différentes températures : remettre la tige du micro dans le tube (pour qu'elle soit thermalisée aussi), attendre la thermalisation (contrôler avec le thermocouple), puis rechercher de nouveau la résonance en changeant la fréquence, et répéter le protocole.

^aPour les incertitudes en fréquence, ne pas se fier au GBF qui n'est pas un appareil de mesure : prendre un fréquencemètre et s'y tenir. L'oscilloscope permet seulement de visualiser les signaux.

Pour les incertitudes en longueur, ce ne sont pas l'épaisseur des traits ou la lecture au mètre de maçon qui jouent, mais la localisation des maxima. Idée : sur la tige du tube, tracer à chaque extrémité non pas un trait mais un intervalle de confiance pour la localisation du maximum.

La mesure de λ doit être très soignée : mesurer le plus grand nombre de maxima/minima possible. On pourra marquer la tige du micro à l'aide d'un marqueur pour éviter toute erreur de parallaxe.

REMARQUE : une incertitude de 1 cm sur la mesure de la longueur est une incertitude d'environ 3% sur la célérité, donc de 6% sur la température, c'est-à-dire $\pm 20 K$!

L'inertie thermique du dispositif est assez importante : la thermalisation peut prendre plusieurs minutes : il faut mener d'autres expériences en parallèle de celle-ci. Calculer la célérité $c = \lambda f$ pour différentes températures et tracer $c^2 = f(T)$: on cherche un ajustement linéaire, de pente $\gamma R/M$.

L'idée est de faire une courbe qui validera la loi sur la vitesse et donc l'approximation des gaz parfait.

1.0.3 Devant le Jury : mesure de température

Expérience :

On fait la mesure à une certaine température devant le Jury^a. Il faut choisir des valeurs de fréquence proche de résonance, j'ai mesuré les noeuds de l'onde stationnaire. Pour la discussion des incertitudes, faire attention au fait qu'on réalise deux mesures de position pour chaque λ .

^aOn a fait le choix de ne pas faire varier la température devant le jury parce que c'est justement l'intérêt d'un thermomètre primaire

Il y a deux points à expliciter :

- **On fait une seule mesure de λ et f qui permettent donc de trouver la vitesse du son et donc la température.** En effet, ce n'est pas très pertinent d'étalonner un thermomètre primaire car ils n'ont par définition pas besoin d'étalonnage.
- On rajoute le point sur la droite tracée en préparation. On fait un fit linéaire $c^2(T)$ et on compare le coefficient à $\frac{\gamma R}{M}$. **Ainsi, on vérifie l'hypothèse que l'on peut bien appliquer la loi des gaz parfaits.**

2 Thermomètres secondaires

On présente ici un premier exemple de thermomètre secondaire : ils nécessitent un étalonnage.

2.1 Sonde à platine :

On prend une Pt – 100.

2.1.1 Principe :

Le thermomètre à résistance de platine (**capteur passif !**) est un thermomètre pour lequel la température est déduite de la mesure de la résistance électrique d'un fil de platine¹. Dans le domaine de température entre $0C^{\circ}$ et $850C^{\circ}$, la variation de la résistance R avec la température peut se modéliser par l'équation de Callendar-Van Dusen (phénoménologique) :

$$R = R_0 (1 + aT + bT^2) \quad (3)$$

Attention, T désigne la température en C° . Les valeurs a et b ont été déterminées grâce aux points fixes de définition et sont désormais définis par l'EIT-90².

R_0 désigne la résistance à $T = 0 C^{\circ}$. Afin d'avoir des valeurs précises, on emploie des résistances préalablement étalonnées, en particulier, on nomme Pt-100 la résistance pour laquelle $R_0 = 100 \Omega$. On a, pour cette résistance⁴ :

$$a = 3,90802 \cdot 10^{-3} C^{\circ-1} \quad b = -5,775 \cdot 10^{-7} C^{\circ-2} \quad (4)$$

Nous allons réaliser l'étalonnage de la sonde de platine à l'aide de trois points fixes : la fusion de l'eau $T = 273,15K$ et de l'étain $T = 505,01 K$, et l'ébullition de l'eau $T = 373 K$. On repérera le changement d'état par la présence d'un palier de température correspondant au changement d'état.

¹Le platine est utilisé car il présente sur d'autres métaux l'avantage de pouvoir être obtenu sous forme très pure et de garder des propriétés électriques stables

²Échelle actuellement utilisée.

C'est en réalité une norme d'étalonnage des appareils de mesure.

Entre ses points fixes, la mesure de température s'effectue au moyen de thermomètres à résistance de platine : on utilise des formules d'interpolation obtenues grâce à l'étalonnage de ce dernier avec les points fixes. (Voir wikipedia pour un tableau) La températures des points triples et de fusion ou solidification de treize substances pures sont utilisées.

Au-dessus du point de congélation de l'argent ($961,78^{\circ}C$), la température est déterminée par la loi du rayonnement de Planck et un point fixe de définition.

Le thermomètre à résistance de platine est d'un usage plus aisé et permet l'étalonnage de thermomètres secondaires d'usage courant et peu onéreux : thermocouples, thermistances³, thermomètres à dilatation, etc.

⁴voir Asch p.270

2.1.2 En préparation

Je propose de faire la fusion de l'étain⁵ et l'ébullition⁶ de l'eau en préparation car elles sont plus délicates⁷.

Je préfère faire seulement la bain de glace⁸ devant le jury.

Expérience :

Pour mesurer la résistance, utiliser le multimètre de précision P69.35. Brancher la sonde de platine P102.120 (boîtier et sonde).

Les deux bornes du haut à une extrémité de la résistance doivent être branchées sur les entrées HI, les deux autres bornes sont à relier aux entrées LOW. Ne pas oublier d'activer la fonction 4 – *WIRE*.

- Mesurer la résistance en immergeant l'extrémité de la sonde dans un mélange eau/glace, on doit trouver 100 Ω .
- Faire fondre de l'étain P75 dans un creuset P101 (suspendu par un trépied) en chauffant avec un bec Bunsen P101.29, y placer la sonde de platine. Relever la valeur de résistance correspondant au plateau de température. Pour récupérer la sonde de platine, il faut faire refondre l'étain : cela peut être l'occasion d'une deuxième mesure en montée.
- Faire bouillir de l'eau en déposant un béccher sur une plaque chauffante P101.16 et enregistrer simultanément la résistance : relever la valeur de résistance correspondant au plateau de température.

L'avantage du montage 4-fils est qu'il n'y a pas de courant qui circule dans la maille du voltmètre : cela évite la mesure des résistances parasites des fils et soudures.

Tr

Il est possible de mettre en évidence l'effet d'auto échauffement (lié à l'incertitude sur la température) du capteur avec la sonde de platine,

2.2 sensibilité :

On définit la sensibilité du thermomètre (le $1/R$ est là pour normaliser) :

$$S(T) = \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial T} \quad (5)$$

⁵La fusion de l'étain prend un temps considérable car il faut que ça refroidisse.

Attention à la surfusion pour l'étain ; n'agitez pas, ça ne sert à rien. Ne chercher pas à avoir une précision à 8 chiffres sur la résistance, de toute manière on aura une bien plus grosse incertitude sur la température réelle au contact de la sonde au moment où on décidera que le palier est atteint. Une manière plus propre de faire serait de monter soi-mêmes le montage 4-fils et d'utiliser LatisPro pour bien voir le palier, mais c'est inutile dans ce contexte.

⁶Pour l'eau, agiter au maximum. Attention aux bulles qui se forment à l'ébullition (...), en pratique cette mesure est horrible parce qu'on a facilement dix degrés de différence entre la surface et le fond, il est donc crucial de bien homogénéiser la température (enfin, autant que possible). Attention de bien utiliser un ballon à fond rond pour la même raison.

⁷Il est possible d'utiliser l'ébullition du diazote pour étalonner la Pt100, cependant, il faut interpoler la valeur de résistance avec un polynôme d'ordre 3 pour se conformer à l'EIT-90.

⁸Pour le mélange eau/glace, ne pas coller la sonde juste à côté d'un glaçon, mais sinon c'est la mesure la plus simple à réaliser.

Notre capteur a donc une sensibilité qui dépend de la température : dans un domaine de faible température, la sensibilité est élevée, et permet donc des mesures de faibles variations de température.

2.3 Effet joule dans la sonde à Platine

Parcourue par un courant d'intensité I , la thermistance dissipe par effet Joule $P = RI^2$ et il apparaît alors une erreur systématique sur la mesure de la température qui est proportionnelle à la puissance injectée. Dans l'air, les échanges thermiques sont plus lents et moins importants et l'effet d'auto-échauffement est encore accentué.

Ceci montre l'influence du conditionneur sur un capteur passif : le conditionneur est le circuit qui permet de mesurer l'impédance de la sonde. On va essayer de quantifier cet effet.

Expérience :

On monte en série un rhéostat 1000Ω avec la Pt-100. On utilisera une alimentation continue P53.20 en générateur de courant (limitation de tension réglée au maximum).

Placer la sonde Pt-100 dans un bain eau-glace agité par un barreau aimanté.

Pour diminuer le courant, on change la valeur du rhéostat.

Pour différents courants imposés entre 10 et 100 mA, mesurer la tension correspondante aux bornes de la thermistance. Représenter la résistance de la thermistance $R = U/I$ en fonction de la puissance injectée $P = UI$

Une remarque intéressante à faire est qu'au moment où on modifie la valeur du courant, elle se fixe à une valeur (peu importe laquelle), mais la tension ne se fixe pas immédiatement : sous l'effet de la soudaine augmentation de courant, la résistance "chauffe plus" (plus de puissance dissipée) et on voit la tension augmenter proportionnellement à la résistance : c'est l'effet dont on parle ! Expérimentalement, il faut attendre un certain temps que sa valeur se stabilise. On voit donc qu'il peut facilement se glisser des erreurs dans nos mesures et qu'il faut faire attention !

Tr

| Moins cher maintenant, le thermocouple.

3 Thermocouple

3.1 Principe :

3.1.1 Effet Seebeck :

On utilise ici l'effet Seebeck Il est possible de générer un champ électrique si on soumet un barreau métallique uniquement à un gradient de température. Cet effet fut mis en évidence par Thomas Seebeck en 1824. La relation entre ces deux grandeurs s'écrit, sous forme locale :

$$\vec{E} = -\epsilon \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad \text{donc : } dU = -\epsilon dT \quad (6)$$

Le coefficient ϵ est appelé coefficient Seebeck ou pouvoir thermoélectrique du matériau. Il peut être positif ou négatif et est de l'ordre de quelques V/K .

Bien que la relation ci-dessus suggère qu'il soit en principe possible d'accéder au coefficient

Seebeck d'un matériau, il n'en est rien dans la pratique. En effet, pour mesurer une tension, il est nécessaire de connecter l'échantillon à des fils conducteurs et de les relier à un voltmètre. Dans ce cas, la tension mesurée aux bornes du voltmètre est, en notant T_0 sa température :

$$U = \epsilon_{Cu}(T_1 - T_0) + \epsilon(T_2 - T_1) + \epsilon_{Cu}(T_0 - T_2) = (\epsilon_{Cu} - \epsilon)(T_2 - T_1) \quad (7)$$

On mesure donc toujours des différences de coefficients Seebeck.

3.1.2 Thermocouple :

Le thermocouple (**capteur actif !**) le plus simple que l'on peut réaliser est schématisé en figure . Il reprend le principe de la mesure du coefficient Seebeck présenté précédemment. On mesure la température par rapport à une référence connue, souvent le mélange *eau/glace*. Dans ce cas :

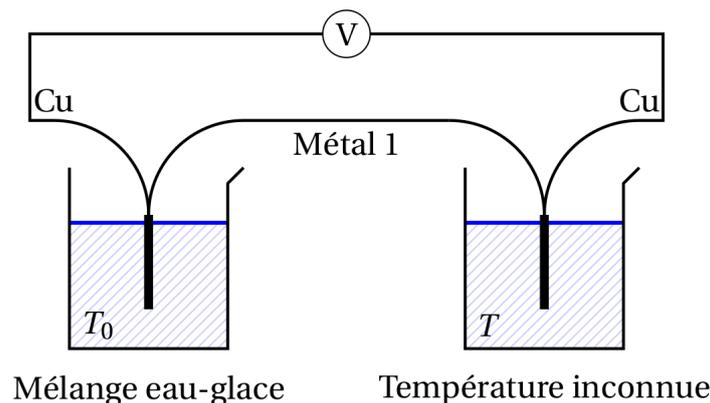
$$U = (\epsilon_{Cu} - \epsilon_1)(T - T_0) \quad (8)$$

La tension mesurée dépend alors de la nature des deux conducteurs et de la température des jonctions. La jonction soumise à la température inconnue est appelée soudure chaude, celle maintenue à la température connue (souvent 0 C°) est nommée soudure froide.

Une fois la courbe $U(\Delta T)$ déterminée par étalonnage, la mesure de cette différence de potentiel permet de remonter à la différence de température. La mesure se faisant au niveau d'une jonction dont les dimensions peuvent être très étroites, le thermocouple permet des **mesures de température ponctuelles** et du fait de sa faible capacité calorifique peut posséder un **temps de réponse très faible**. Il est également très **discret**.

Un autre intérêt du thermocouple⁹ est que le signal délivré est une tension : il n'est pas nécessaire de réaliser un conditionnement d'une part, et il n'y a pas d'incertitude lié à un possible auto-échauffement du capteur comme on peut l'avoir avec une thermistance ou une sonde de platine.

3.2 Étalonnage



3.3 En préparation

Faire 3-4 points suffit. on peut faire déjà avec eau bouillante et température ambiante.

⁹Comme on mesure une différence de potentiel dans le cas du thermocouple, il n'y a plus de problème d'auto-échauffement !

Expérience :

Utiliser deux thermocouples de type T pour réaliser l'expérience présentée. Dans ce cas, le métal 1 est du constantan (alliage de cuivre et de nickel). On utilisera le dispositif P102.12M. Mettre une des sondes dans un mélange eau-glace. Remplir d'eau un béccher, le disposer sur un agitateur chauffant P101.16. Y placer un barreau aimanté, la deuxième sonde, ainsi que le thermomètre à résistance de platine. Pour plusieurs températures mesurées au moyen de la Pt100 P102.12O (et du ohmmètre 4-fils Fluke 8846A P69.35), mesurer la tension U correspondante au multimètre.

La sonde de platine nous permet d'obtenir T grace à la loi (prendre la loi théorique)

Représenter $U = f(T)$ pour des températures entre $0C^\circ$ et $60C^\circ$. En déduire la sensibilité du capteur

$$S = \frac{1}{U(T)} \frac{U(T)}{T} \quad (9)$$

et commenter sa linéarité.

3.4 Temps de réponse

On va plutôt s'intéresser à la réponse temporelle de ce capteur¹⁰ de température.

3.4.1 Théorie

L'origine du temps de réponse est le rapport entre la capacité thermique du capteur et le coefficient d'échange thermique entre le bain d'eau et le capteur. On peut supposer que l'évolution de la tension est de la forme :

$$U = U_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) \quad (10)$$

3.4.2 Devant le Jury :

Expérience :

Pour cela, on part de la borne de mesure du thermocouple à température ambiante puis on la plonge dans un mélange eau-glace (un autre béccher que celui de la ref pour ne pas perturber la ref). Acquérir sur Latys-pro la différence de tension en sortie du thermocouple. mesurer le temps de réponse à 95% (c'est le temps qu'il faudra pour que la tension chute à $0.05 \times$ ^a valeur initiale.

^aC'est à peu près 3τ Celui à 99% est à peu près 5τ

¹⁰Le lecteur averti a remarqué que comme on a une tension en sortie, on a bien affaire à un capteur actif ici

Conclusion

On a de nombreuses façons de mesurer des températures; Cependant, comment faire lorsque la source est éloignée ? On utilise un pyromètre¹¹¹²¹³.



Expérience :

Il existe dans la collection un pyromètre commercial au P102.26.

Fixer le pyromètre sur la table et viser le filament d'une lampe quartz iode. Lire la température.

C'est un thermomètre primaire, puisqu'il mesure la densité spectrale du flux lumineux incident et en déduit la température. Nous pouvons l'utiliser pour vérifier la loi de Stefan : $P_S = \sigma T^4$. On utilise pour cela une lampe Quartz-Iode dont on fait varier la puissance (on mesure ladite puissance $P = UI$ avec un wattmètre), et on mesure la température avec le pyromètre. Évidemment, une fois que l'alignement est fait il faut fixer tout le montage pour éviter que le flux incident varie autrement que par variation de la puissance électrique en entrée. On trace en échelle log et on vérifie que la puissance varie comme $P \propto T^4$.

Principe du Pyromètre

Le rayonnement thermique est le rayonnement électromagnétique émis par un corps à la température T . Le rayonnement peut dépendre de la nature du corps, cependant le rayonnement de tous les corps se réfèrent à celui du corps noir, dont l'énergie rayonnée ne dépend que de la température. La puissance totale rayonnée par unité de surface suit alors la loi de Stefan :

$$P = \sigma T^4 = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15 c^2 h^3} T^4 \quad (11)$$

Il est ainsi possible d'utiliser le rayonnement émis par un corps quelconque pour mesurer sa température. Ces expériences sont en général délicates : on indique une bibliographie pour réaliser quelques expériences courantes.

¹¹On ne peut pas utiliser cette méthode pour retrouver la constante de Stefan, puisqu'il faudrait connaître le flux lumineux incident dans le pyromètre (et on ne connaît que la puissance électrique totale consommée par la lampe, pas la répartition angulaire de puissance lumineuse en sortie de la lampe)

¹²Attention, surtout ne pas affirmer qu'on utilise le pyromètre pour démontrer expérimentalement la loi de Stefan, puisque justement à l'intérieur du pyromètre cette loi est déjà codée et permet à l'appareil d'afficher une température... Tout ce qu'on peut affirmer, c'est que le pyromètre utilise bien une loi en T^4 et que les gens qui l'ont conçu ont bien travaillé.

¹³Certaines lampes Quartz-Iode ont un support avec une molette pour faire varier l'intensité lumineuse. Il semblerait qu'il vaille mieux éviter de s'en servir et prendre un générateur de puissance qu'on branche directement sur la lampe. Cette astuce présente un double avantage : d'une part, on évite de faire claquer l'alimentation à l'intérieur du support (je dis ça au hasard, ça ne nous est évidemment pas arrivé) ; d'autre part, on peut fixer la QI à une puissance, ce qui est infiniment plus pratique que de la laisser sur son socle.

4 Annexe

4.1 Rappel sur les capteurs

Tout ceci est tiré de *Capteur en instrumentation industrielle* Asch p1-6

4.1.1 Notions et concepts

- **mesurande** : grandeur physique qui est l'objet de la mesure.
- **mesurage** : ensemble des opérations expérimentales qui ont pour but de déterminer la valeur du mesurande.
- la **chaîne de mesure** est l'ensemble des dispositifs permettant de donner une valeur précise du mesurande.
- **Capteur** : dispositif qui, soumis à la valeur du mesurande non électrique (température, position, pression) , revoit une électrique s , fonction de m .
 - m : **excitation** ou **grandeur d'entrée**
 - s : **réponse du capteur** ou **grandeur de sortie**
- **Étalonnage** : ensemble des opérations expérimentales visant à trouver la fonction F :
 $s = F(m)$

La plupart du temps, on aime travailler avec des capteurs linéaires :

$$s = S \times m \quad (12)$$

S est appelé **sensibilité du capteur**. Elle dépend de :

- de la fréquence de m . (**bande passante**)
- du temps **vieillessement**
- L'impact d'autres grandeurs physiques ou **grandeurs d'influences** qui ne sont pas objet de la mesure et qui changent la réponse. (il y a une notion de signal et bruit derrière cette notion)

Exemple : Si on souhaite mesurer le champ magnétique généré par un aimant, selon l'orientation de la sonde, on mesurera en plus le champ magnétique terrestre

Comme on a dit que le capteur envoie un signal électrique, il y a deux possibilités : Soit c'est un générateur, soit c'est une impédance et il doit être intégré dans un circuit.

4.1.2 Capteurs actifs

Ceux là n'ont besoin de rien. ils se comportent comme des générateurs. On récupère directement la sortie électrique

On y trouve ceux qui fonctionnent suivant l'un des effet suivants (Asch p3) :

- effet thermoélectrique (Seebeck)
- effet pyroélectrique
- effet piézoélectrique
- effet inductifs
- effet photoélectrique
- effet photovoltaïque
- effet Hall ...

4.1.3 Capteurs passifs

Ceux là ont une impédance qui dépend de la valeur du mesurande. On doit les intégrer dans un circuit pour mesurer cette impédance. On appelle cette obligation le **conditionnement**. Il faut en particulier alimenter le capteur pour pouvoir mesurer cette impédance.

La variation d'impédance peut être due à des propriétés électriques (permittivité, nombre de porteurs de charges, résistivité ...) ou bien dépendre de la géométrie (*geo*).

On y trouve ceux qui fonctionnent suivant l'un des effet suivants (Asch p6) :

- métaux (résistivité dépend de la température)
- semi-conducteurs (résistivité dépend du flux optique qui ajoute des porteurs)
- jauges de contraintes (*geo*) (résistivité)

4.1.4 Capteurs composites

Parfois, le mesurage n'est pas direct et on doit passer par un **Corps d'épreuve**. Il a pour rôle de traduire la mesurande en un **mesurande secondaire** que le capteur peut traiter.

Exemple : Un micro est un **capteur actif composite**. Il est **actif** car il transforme le mesurande (surpression sur la membrane) en tension électrique.

Le **corps de contrôle** est la membrane qui transforme cette pression en déplacement, le **mesurande secondaire**; qu'un ensemble aimant permanent/bobine transforme en tension.

4.2 Caractéristique métrologiques des capteurs

Voir Asch p17-45

4.2.1 limite d'utilisation du capteur

Asch p26

- **Domaine nominatif d'emploi** : domaine normal d'utilisation du capteur, c'est l'intervalle de valeurs que peut prendre le mesurande(+grandeurs d'influences) en régime permanent sans affecter les propriétés intrinsèques du capteur.
- **Domaine de non détérioration** : en dehors du domaine normal d'utilisation du capteur, c'est l'intervalle de valeurs que peut prendre le mesurande(+grandeurs d'influences) en régime permanent qui change les propriétés intrinsèques du capteur. Mais, de façon réversible.
- **Domaine de non destruction** : domaine en dehors duquel le capteur ne voit modifié de manière permanente. Il lui faudra un nouvel étalonnage.

4.2.2 Sensibilité

Asch p26-29

C'est le rapport S entre la variation de la réponse du capteur et celle du mesurande :

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m} \quad (13)$$

On distingue la sensibilité en régime statique (où on le calcule pour des mesurandes constants. et celle en régime fréquentiel où le mesurande est sinusoïdal (c'est la fonction de transfert du capteur)

4.2.3 Rapidité - Temps de réponse

Asch p39

La rapidité apprécie comment la réponse du capteur suit dans le temps la valeur du mesurande. Elle est reliée au temps de réponse

Le temps de réponse est l'intervalle de temps qui s'écoule après une variation brusque du mesurande (échelon) pour que la réponse diffère de la valeur du mesurande de moins de ϵ .

Exemple : Pour un échelon de 0 à m , le temps de réponse à 95% est le temps à attendre pour avoir $s \in [0.99 m; 1.01 m]$.

Il faut toujours mentionner la valeur de l'intervalle ϵ quand on donne un temps de réponse.

4.2.4 Discrétion ou finesse

Asch p45

la finesse désigne l'impact qu'a de mettre le capteur sur la valeur du mesurande.

Exemple : pour un micro, La rigidité de sa membrane accroît la finesse car peu d'énergie est transférée à la membrane. Cependant, augmenter la discrétion va souvent diminuer la sensibilité.

4.3 rappels métrologiques :

Quand on fait une mesure, on cherche à atteindre la valeur vraie. On obtient une valeur mesurée.

- La justesse J , Une mesure est d'autant plus juste que la moyenne (sur un grand nombre de mesures) des valeurs mesurées $\langle v \rangle$ est proche de la valeur vraie V :

$$J = \langle v \rangle - V \quad (14)$$

- La fidélité quantifie la dispersion des mesures autour de la valeur moyenne . Une mesure est fidèle lorsque la valeur mesurée est toujours la même.

Exemple : Si je fais un capteur qui donne toujours 1 V en sortie, il est très fidèle mais peu juste.

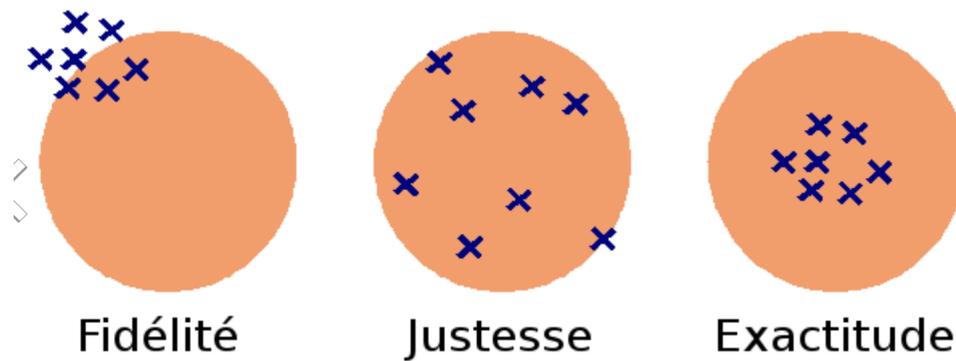


Figure 2: Par Original téléversé par Romary sur Wikipédia français. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20708965>

4.4 Sur les thermocouples :

4.4.1 Thermocouple à trois soudures

On peut utiliser également des montages à trois soudures, où une des soudures est soumise à la température à mesurer et les deux autres maintenues à la température de référence : ce montage permet d'utiliser des couples de métaux n'impliquant pas le cuivre (type K entre autres) : on pourra lire [Quaranta] p.184.

4.4.2 Compensation électronique de soudure froide

L'usage d'un bain eau-glace permet une meilleure précision mais n'est pas pratique à l'utilisation. La plupart du temps, la soudure froide est placée dans l'appareil de mesure, et est donc à température ambiante T_a . Pour compenser ce fait, un circuit électronique ajoute une tension égale à $(\epsilon_2 - \epsilon_1)(T_a - T_0)$ (circuits dits de compensation de soudure froide). La mesure de T_a est usuellement effectuée au moyen d'une résistance thermométrique.

Pourquoi alors utiliser un thermocouple qui nécessite une compensation de la jonction de référence ?

Les thermistances, sondes de platine ou circuits intégrés ont des plages de mesure limitées alors que les thermocouples ont des plages de température très étendues, peuvent prendre des formes et des tailles très diverses (pouvant donner lieu à des temps de réponse très courts par exemple), peuvent parfois être utilisés dans des atmosphères explosives ou nocives, peuvent être soudés, etc.