

## M05 : MESURE DE TEMPÉRATURE

### Idées directrices à faire passer

- différencier mesure de température et repérage
- rôle des étalons de mesure absolue
- propriétés d'un thermomètre
- différents types de thermomètres

### Commentaires du jury

- Ne pas faire un catalogue de capteur sans hiérarchie
- bien exploiter la notion de point fixe et son importance en thermométrie
- thermocouple : connaître le principe et le domaine de validité
- toujours fixer les thermomètres afin qu'ils ne touchent pas les bords et qu'ils soient correctement immergés
- montage orienté métrologie : discuter des performances et des incertitudes

### Bibliographie

- [1] Thermodynamique, Diu, Hermann
- [2] Thermodynamique, BFR, Dunod
- [3] Expériences d'électronique, Duffait, Dunod
- [4] thermodynamique, Perez, Masson (excellent pour domaine de validité et limites des thermomètres)

### Introduction :

- définir "thermomètre" (variation avec la température d'une grandeur facilement mesurable)
- nécessité d'équilibre thermique avec le corps mesuré : caractéristique d'un bon thermomètre (équilibre rapide et non perturbant pour le corps mesuré)
- la précision et la fidélité sont les qualités recherchées

## I Recherche d'une échelle internationale de température

L'objet de la partie est de déterminer comment construire effectivement un thermomètre.

### 1 Position du problème [2]

- première expérience simple avec thermomètre à alcool
- dans ce thermomètre, la variation de température est reliée à la variation de volume : celle du liquide mais attention également celle de l'enveloppe
- dans ce cas, on repère la température de manière uniquement différentielle
- ce type de thermomètre ne fait pas une "mesure" mais un "repérage" de température
- pour avoir un thermomètre il faut donc : repérer la température de deux points fixes (on prendra eau/glace et eau/vapeur) et considérer une échelle (arbitraire) entre ces points. On suppose alors une relation linéaire entre accroissement de volume et de température -> on voit pour la première fois le principe d'un étalonnage et de la fixation d'une échelle
- l'échelle centésimale consiste à placer 100 graduations régulièrement espacées entre le point eau/glace et eau/vapeur
- on remarque enfin le long temps de réponse de ce genre de thermomètre (car haute capacité thermique)

### 2 Mesure de la température absolue : le thermomètre à gaz parfait [2] et [4]

- nous avons vu que l'étalonnage des thermomètres dits "secondaires" se fait par mesure de points fixes
- il a donc fallu préalablement déterminer la température de ces points fixes de manière absolue
- cela est rendu possible en utilisant les lois de la thermodynamique : ce sont les thermomètres à gaz parfait
- pour modéliser cela on utilise le thermomètre à gaz SF<sub>6</sub>

- noter que l'on ne peut pas atteindre de pression très basse, ce qui limite la qualité de l'étude
- on trace 2 isothermes d'Amagat ( $PV = f(1/V)$ ) pour par exemple  $T = 5^\circ\text{C}$  et  $T = 50^\circ\text{C}$
- on se place dans le cadre d'un développement du Viriel d'ordre 1, donc en  $1/V$ . On doit donc obtenir des quasi droites
- leur prolongement à  $1/V \rightarrow 0$  fournit une grandeur thermométrique comme une autre qui a le bon goût d'être linéaire en  $T$  (loi des gaz parfait)
- on définit ainsi une échelle absolue
- pour chaque température mesurée, traiter des incertitudes
- en pratique on utilise un thermomètre normal à hydrogène
- l'échelle légale fixe le point triple de l'eau à 273.16K, on a ainsi la valeur de plusieurs autres points triples, fixant les points triples légaux
- à partir de ces points triples, on étalonne des thermomètres d'interpolation qui fixe, chacun dans une gamme de température l'échelle internationale de température
- comme dans le cas du thermomètre à alcool, l'étalonnage se fait par mesure de la température de points fixes et par une interpolation polynomiale (souvent linéaire)
- dans le domaine qui nous intéresse, on utilise un thermomètre à fil de platine

| La quantité de matière donnée n'est pas correcte. Il faudrait la remesurer avant l'agrégation

## II Etude de deux capteurs de température : thermocouple et thermistance

### 1 Le thermocouple

#### 1.1 l'effet Seebeck [3]

- apparition d'une ddp en circuit ouvert si les deux jonctions entre deux matériaux différents sont à des températures différentes
- expérience de démonstration de l'effet Seebeck avec la petite boussole qui se place orthogonalement aux courants qui s'établissent dans le circuit (qui est ici en circuit fermé)

#### 1.2 Etalonnage du thermocouple

- on utilise le thermocouple sur plaquette plexiglas
- pour l'étalonnage, faire la mesure sur des points fixes
- plonger une jonction dans eau/glace et l'autre dans azote liquide eau/glace et eau/vapeur
- on suppose un modèle linéaire

#### 1.3 Mesure de température à l'aide d'un thermocouple

- on place une jonction dans eau/glace et une seconde dans de l'eau mélange eau/glace qu'on porte jusqu'à ébullition.
- on prend à la volée la température avec une sonde platine et la tension aux bornes du thermocouples
- on pourra tracer le signal d'erreur entre température réelle et celle mesurée au thermocouple à partir de notre étalonnage initial
- selon la forme de l'incertitude on pourra parler de fidélité et de justesse de l'appareil
- on peut comparer dans le Handbook la valeur de la pente avec celui d'un thermomètre commercial de type K
- dans un thermomètre commercial, la soudure froide est dans l'appareil. Il faut donc un second thermomètre pour connaître la température de la soudure froide

## 2 La thermistance à semi-conducteurs

### 2.1 Etalonnage de la thermistance

- le thermomètre de platine est à résistance métallique
- on peut choisir plutôt des semi-conducteurs, dans ce cas on aura une réponse exponentielle et donc une meilleure sensibilité par non linéarité

- placer la thermistance et un thermomètre de platine dans un bain d'huile dont on fait varier la température
- prendre les valeurs de la température et de la ddp
- faire un ajustement exponentiel
- attention : ne pas dire de bêtise : on ne peut pas remonter au gap de cette manière! le coefficient  $\gamma$  est proportionnel mais difficile de savoir comment. Par ailleurs on connaît mal notre semi-conducteur. Il n'est donc pas possible de comparer avec des valeurs tabulées
- insister sur la grande sensibilité de ce thermomètre

## 2.2 Mise en évidence du temps de réponse d'une thermistance

- ENSC 356
- expérience qualitative uniquement
- on utilise le petit système à thermistance que l'on peut plonger dans la pâte thermique près d'une résistance chauffante
- l'idée est de voir le temps de réponse de la thermistance selon la qualité du contact : très rapide dans la pâte thermique, assez rapide sous un courant d'eau, lente dans l'air
- utiliser une acquisition sur oscilloscope pour observer les temps de décroissance

## Conclusion

- bilan : insister sur thermomètre primaire/secondaire, utilisation de divers types selon le domaine de température.
- ouverture : parler des pyromètres pour la mesure des hautes températures par rayonnement (utiliser le Sextant par exemple)

## Q/R

1. définir "thermométrie primaire", "thermométrie secondaire".
2. thermocouple : principe, température de référence, domaine de validité