

REPÉRAGE DES TEMPÉRATURES - TP

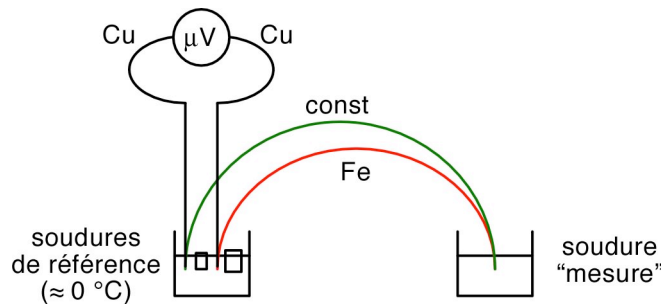
1. Le thermocouple

1.1. Principe du thermocouple

• De même qu'il apparaît des différences de potentiel entre électrodes et solutions (phénomènes rédox), il apparaît des différences de potentiel entre métaux en contact (effet Seebeck). Ces dernières sont généralement nettement plus faibles, mais tout à fait mesurables ; en outre, elles dépendent de la température, ce qui permet une utilisation pour le repérage des températures.

Par ailleurs, tout gradient de température dans un matériau conducteur impose un gradient de potentiel : $\vec{\nabla}V = -\alpha \vec{\nabla}T$, avec un coefficient thermoélectrique α plus ou moins important selon le conducteur considéré ($\approx 10 \mu V.K^{-1}$ pour les métaux, si bien que cet effet est souvent plus faible que le précédent).

• Pour un thermocouple "fer-constantan" (le second est un alliage), le montage est généralement le suivant (avec des fils de jonction en cuivre) :



La f.e.m. mesurée est alors : $E = E_{\text{jonc.}} - E_{\text{grad.}}$ avec :

$$E_{\text{jonc.}} = E_{\text{Cu/Fe}}(T_0) + E_{\text{Fe/const.}}(T_{\text{mes.}}) + E_{\text{const./Cu}}(T_0) ;$$

$$E_{\text{grad.}} = \int_{T_{\text{ext}}}^{T_0} \alpha_{\text{Cu}} dT + \int_{T_0}^{T_{\text{mes}}} \alpha_{\text{Fe}} dT + \int_{T_{\text{mes}}}^{T_0} \alpha_{\text{const.}} dT + \int_{T_0}^{T_{\text{ext}}} \alpha_{\text{Cu}} dT ;$$

ce qui donne en simplifiant (l'effet total du cuivre est nul par symétrie) :

$$E_{\text{jonc.}} = E_{\text{Fe/const.}}(T_{\text{mes.}}) - E_{\text{Fe/const.}}(T_0) ; E_{\text{grad.}} = \int_{T_0}^{T_{\text{mes}}} (\alpha_{\text{Fe}} - \alpha_{\text{const.}}) dT .$$

♦ remarque : compte tenu des transferts thermiques avec l'extérieur, la température de l'eau "glacée" servant de référence est souvent un peu supérieure à 0 °C (elle n'est pas bien homogène dans le récipient) ; on peut compenser cela en ajoutant un peu de cristaux de NaCl (l'eau salée gèle à température plus basse).

☞ remarque : si on utilise un thermomètre électronique, **il faut l'étalonner en début de manipulation.**

1.2. Étude du couple fer-constantan

- Placer la soudure “mesure” dans l'eau glacée (dans un bécher en Pyrex). Mesurer la température initiale (proche de 0 °C) et la f.e.m. correspondante.

Échauffer progressivement l'eau du bécher qui contient la soudure “mesure” (après avoir retiré la glace), en agitant pour que le système {eau, thermocouple, thermomètre} soit en quasi-équilibre thermique.

Lors du passage au voisinage de chaque multiple de ≈ 20 °C, noter simultanément la température et la f.e.m. (lire la f.e.m., la température, puis à nouveau la f.e.m., et considérer la f.e.m. moyenne des deux).

- Vérifier le “point 0 °C”, c'est-à-dire : vérifier que le prolongement de la courbe passe par zéro (l'écart donne l'ordre de grandeur des incertitudes de mesure).

- Repérer le “point 100 °C” (eau bouillante) : placer le thermomètre juste sous la surface de l'eau, puis juste au dessus du fond du bécher, et y comparer les températures (les décalages indiquent l'ordre de grandeur des incertitudes qui interviennent dans la partie suivante pour la fusion des métaux).

Placer de même la soudure “mesure” juste sous la surface, puis juste au dessus du fond du bécher, et y comparer les f.e.m. (en utilisant les températures mesurées, et non la valeur hypothétique 100 °C).

- Repérer la f.e.m. à la température de fusion d'un métal :
 - ◊ faire fondre le métal dans un creuset en porcelaine chauffé par un bec Bunsen ;
 - ◊ dès que le métal est fondu, y plonger la soudure “mesure” et arrêter le chauffage ;
 - ◊ pendant la solidification, noter la f.e.m. observée (la valeur est alors stable) ;
 - ◊ réchauffer pour faire refondre le métal et libérer la soudure “mesure” (puis nettoyer celle-ci).

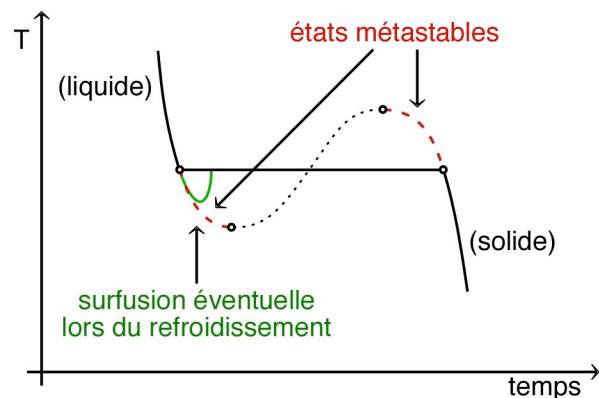
☞ remarque : les vapeurs de métaux “lourds” sont plus ou moins **toxiques**, donc chaque groupe n'effectue qu'une mesure et il faut **aérer** lorsqu'on effectue cette manipulation.

☞ remarque : il faut faire très attention à **ne pas mélanger** les métaux (les mélanges sont inutilisables) !

- ◊ remarque : les métaux disponibles sont :
l'étain (232 °C), le zinc (419 °C),
le plomb (à déterminer).

- ◊ remarque : si on utilise un chauffage électrique, il faut étudier le zinc avec un dispositif déjà chaud pour éviter d'attendre trop longtemps.

- ◊ remarque : lors du changement d'état, les variations de température (et donc aussi de f.e.m.) ont l'allure ci-contre (la “température de fusion” correspond à la valeur constante du “palier”).



- Tracer la courbe représentative de la f.e.m. E en fonction de la température T .
- Utiliser la courbe d'étalonnage réalisée pour déterminer la température de fusion du plomb par comparaison aux autres mesures. Commenter l'efficacité du thermocouple pour ces mesures.

1.3. Étude du couple fer-cuivre

- Réaliser les mêmes mesures que pour le couple fer-constantan, mais repérer en plus la “température d'inversion” : chauffer directement la soudure “mesure” avec le bec de gaz (progressivement), et noter la f.e.m. d'inversion (la f.e.m. $E(T)$ passe dans ce cas par un maximum pour $T \approx 280$ °C).
- Comparer les avantages et inconvénients des deux thermocouples.

2. Les thermomètres à résistance

2.1. Résistance métallique

- La résistance $R = \frac{U}{I}$ des conducteurs métalliques dépend de la température (le mouvement des porteurs de charge est gêné par l'agitation thermique).
- Disposer l'élément résistant et le thermomètre (au voisinage l'un de l'autre) dans un bécher d'eau glacée (en Pyrex ; il faudra par la suite chauffer, et le verre ne supporte pas).

Brancher l'élément résistant aux bornes d'un ohm-mètre ; mesurer la température et la résistance.

👉 remarque : si on utilise un thermomètre électronique, **il faut l'étalonner en début de manipulation.**

- Échauffer très progressivement l'eau du bécher (après en avoir retiré la glace), en agitant régulièrement, pour que le système {eau, élément résistant, thermomètre} soit en quasi-équilibre thermique.

Lors du passage au voisinage de chaque multiple de $\approx 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, noter simultanément la température et la résistance (lire R, puis T, puis à nouveau R, et considérer la moyenne des deux valeurs de R).

- Tracer (et interpréter) la courbe représentative de $R(T)$ (température thermodynamique, en kelvins).

2.2. Thermistance

- Les thermistances sont des assemblages de semi-conducteurs dont la résistance $R = \frac{U}{I}$ est une fonction rapidement décroissante de la température (il y a peu de porteurs de charge, mais l'agitation thermique en "libère" et augmente ainsi la conductivité).
- Réaliser les mêmes mesures que pour la résistance.
- Tracer (et interpréter, à l'aide du facteur de Boltzmann) la courbe représentative de $\log\left(R\left(\frac{1}{T}\right)\right)$.

3. Étalonnage de thermomètres divers

- Disposer le thermomètre à étalonner et le thermomètre de référence (au voisinage l'un de l'autre) dans un bécher d'eau glacée (en Pyrex ; il faudra par la suite chauffer, et le verre ne supporte pas).
- Échauffer très progressivement l'eau du bécher (après en avoir retiré la glace), en agitant régulièrement, pour que le système {eau, élément résistant, thermomètre} soit en quasi-équilibre thermique.

Lors du passage à chaque multiple de $\approx 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, noter simultanément les températures (lire T sur le thermomètre à étalonner, puis $T_{\text{réf}}$, puis à nouveau T, et considérer la moyenne des deux valeurs de T).

- Tracer (et interpréter) la courbe représentative de $T(T_{\text{réf}})$.

REPÉRAGE DES TEMPÉRATURES - TP

Matériel

Au bureau

4 petits creusets **PROPRES** en porcelaine pour fusion des métaux
étain ; plomb ; zinc
1 brosse métallique et de la toile émeri (pour nettoyer les soudures des thermocouples)
3 thermomètres de précision (Hg/0°-60°)
cristaux de NaCl

Pour chaque groupe “thermocouple” (2+2 groupes, côté fenêtres ou hottes)

1 thermocouple (Fe/Cu ou Fe/const.) + support
2 béchers (\approx 250 mL)
1 cristalliseur avec glaçons
1 thermomètre électronique (0 à 100 °C)
1 microvoltmètre électronique (MX579) avec deux fils
1 bec bunsen, ou 1 réchaud électrique (650 °C) avec 2 supports
1 creuset en porcelaine (pour scories)
1 spatule, 1 pince en fer, 1 brique

Pour chaque groupe “résistance et température” (3+2 groupes)

1 thermistance ou 1 résistance (H₂O - compatible)
 (“thermomètres” à résistance du TP sur la conduction thermique)
1 support (pour thermistance ou résistance)
1 bécher (\approx 250 mL)
1 cristalliseur avec glaçons
1 thermomètre électronique (0 à 100 °C)
1 ohm-mètre électronique (MX579, ou MN5126) avec deux fils
1 bec bunsen, ou 1 réchaud électrique (650 °C) avec support

Pour chaque groupe “étalonnage de thermomètres” (1+1 groupes, au fond de la salle)

1 bécher (\approx 250 mL)
1 cristalliseur avec glaçons
1 thermomètre électronique (0 à 100 °C)
1 bec bunsen, ou 1 réchaud électrique (650 °C) avec support