

Titre : Mesures de températures

Présentée par : Ludivine Emeric

Rapport écrit par : Marion Spir-Jacob

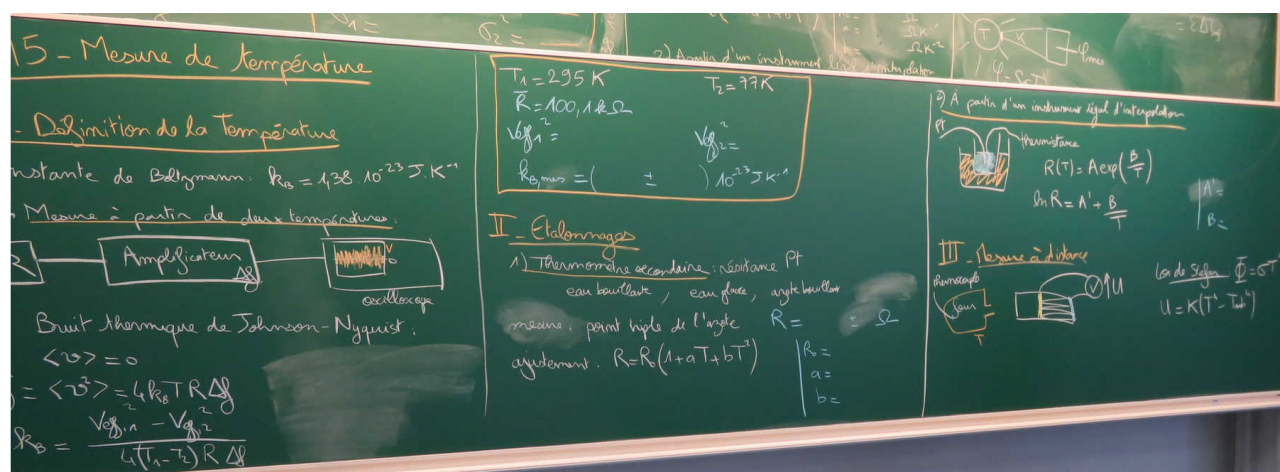
Correcteur : Erwan Allys et Ludivine Oruba

Date : 19 février 2021

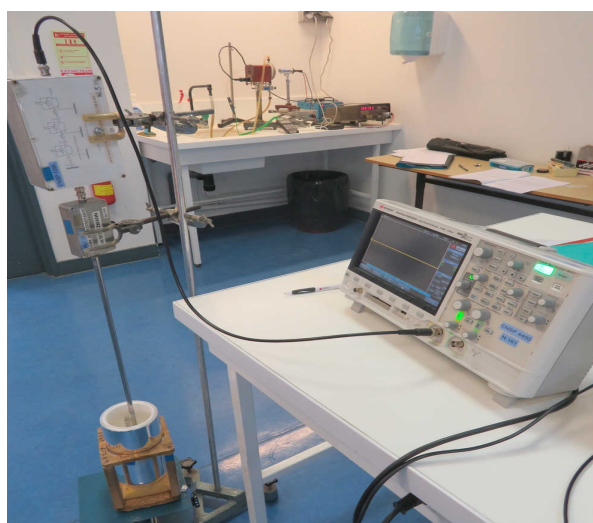
Bibliographie

Titre	Auteurs
Les capteurs en instrumentation industrielle	Asch et al.
TP Thermométrie	
TP Transition de phase	

Photo du tableau



Expérience 1



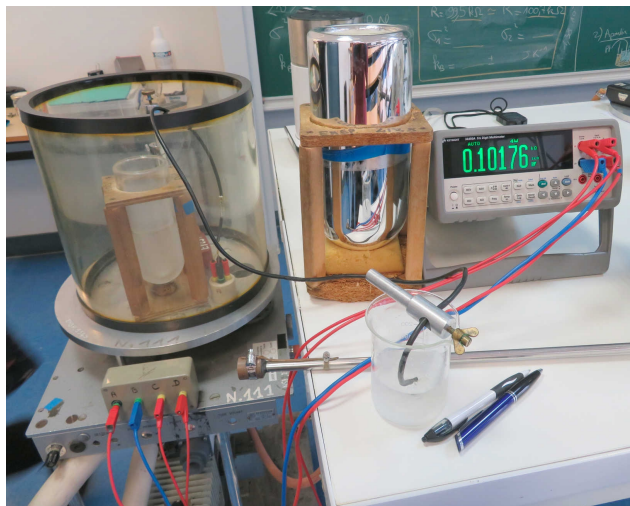
Référence : Notice de l'amplificateur de bruit thermique

Temps consacré : (je n'ai pas minuté et la vidéo n'est pas encore en ligne donc je ne sais pas...)

But de la manip : Mesure de la constante de Boltzmann à partir du bruit de Johnson-Nyquist (bruit thermique dans une résistance). On mesure la valeur d'une résistance (100 ohms) et on mesure à l'oscilloscope la variance du bruit (à travers un amplificateur sinon il est trop faible) à deux températures (une fois en plongeant la résistance dans l'azote liquide et une fois à température ambiante).

Mesure présentée devant le jury :
On trouve $k_B = (1.28 \pm 0.02) \cdot 10^{-23} \text{ SI}$.

Expérience 2



Référence : poly de TP

Temps consacré : (idem)

But de la manip : On connaît la température de certains corps ($T_{\text{éb}} = 373\text{K}$ et $T_{\text{fus}} = 273\text{K}$ de l'eau à 1 atm, $T_{\text{éb}} = 77\text{K}$ de l'azote à 1 atm, $T = 63\text{K}$ au point triple de l'azote). En mesurant la valeur de la résistance d'une sonde de platine à ces températures on obtient une loi $R(T)$ que l'on peut utiliser pour mesurer une température.

Mesure présentée devant le jury : On mesure une résistance de 14.5 ohms pour la sonde de platine dans de l'azote au point triple. (En préparation, mesure à 77K, 273K et 373K). Ajustement d'une loi en $R = R_0(1 + aT + bT^2)$. (Correction : il aurait fallu enlever le terme quadratique avec seulement 4 points).

Expérience 3

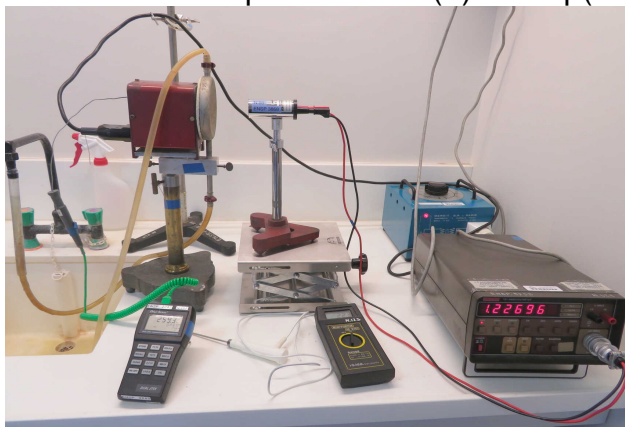


Référence : poly de TP

Temps consacré : (idem)

But de la manip : Étude de la dépendance d'une thermistance sur une gamme de température (on étalonne un thermomètre). Pour cela on mesure la température à l'aide d'une sonde de platine qui sert à donner la température et d'une thermistance que l'on étalonne plongées dans un petit bécher d'eau froide avec un agitateur pour homogénéiser la température du système. Le petit bécher est posé dans un grand cristalliseur rempli d'eau chaude de sorte à le réchauffer progressivement.

Mesure présentée devant le jury : Ajout d'un point sur la courbe préparée en amont. Ajustement de la courbe avec une loi exponentielle $R(T) = A \exp(B/T)$.



Expérience 4

Référence : poly de TP

Temps consacré : (idem)

But de la manip : Un four émet un rayonnement de corps noir à des températures pouvant aller jusqu'à plus de 400°C et une thermopile mesure le flux émis (on se limite à 400°C car la notice de la thermopile indique cette température comme limite). On vérifie la loi de Stefan avec $\Phi = T^4$.

Mesure présentée devant le jury : Ajout d'un point sur la courbe préparée.

Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

(l'étudiant liste les questions posées, ainsi que les réponses données par l'enseignant. Si certaines réponses manquent, l'enseignant pourra compléter le document)

Quelles sont les hypothèses sur lesquelles sont basées la formule qui relie la tension efficace à la température ?

R : La température est constante et les autres je ne sais plus

Q : d'où vient la bande passante Δf ?

R : Cette valeur vient de la notice, ça vient du diagramme de Bode de l'amplificateur total.

Q : Pourquoi y-t-il besoin d'un amplificateur ?

R : Car le bruit de la résistance est très faible.

Q : Que représente Δf ?

R : C'est l'intégrale du gain au carré sur toutes les fréquences allant de 0 à plus l'infini.

Q : mais au-delà de la définition mathématique comment comprendre les sous-termes de la formule qui donne l'agitation thermique ($k_B T$, Δf ?)

R : ...

Correction : $k_B T$ est la densité spectrale du bruit, c'est un bruit blanc, c'est la même valeur pour chaque fréquence. Δf décrit les fréquences que l'on peut mesurer en pratique, et qui peuvent contribuer à la puissance totale. On pratique, comme on a un filtre qui a une réponse fréquentielle non plate, on intègre le gain en puissance (carré du gain en amplitude) à chaque fréquence.

Q : Tu as commencé à dire que la constante de Boltzmann était fixée. Du coup dans un montage de mesure de température, quel sens ça a de mesurer la constante de Boltzmann ?

R : oui, ça va à l'inverse de ce que j'avais dit. J'aurais aussi pu déterminer la température ambiante en partant de cette constante.

Q : tu obtiens 1.28 ± 0.02 , et tu as dit que c'était proche, ça fait 5 écarts-types, c'est proche ou loin en termes probabilistes ?

R : c'est plutôt loin, on aurait pu faire une mesure plus précise en prenant une valeur moyenne de la tension efficace

Q : changer ça mais aussi les barres d'erreur. Tu as mesuré la valeur efficace à l'oscillo, qu'est-ce qui aurait pu être plus adapté ?

R : Faire une mesure à une fréquence donnée sur un analyseur de spectre

Correction : plus simple, la valeur efficace sur un voltmètre en AC

Q : Tu as dit : je vais attendre que l'azote finisse de bouillir et comme ça il sera à une T stable. Tu peux attendre que la résistance se thermalise mais tant que l'azote bout, qu'il y a coexistence liquide gaz, l'azote lui sera à T stable.

Deuxième expérience : résistance de platine

Q : Sur la résistance de Pt il y a du plastique autour, est-ce que c'est nécessaire, est-ce que ça fausse les mesures ? Quelle influence ça peut avoir sur la mesure ?

R : Je crois que ça n'est pas très important, c'est surtout pour protéger la résistance. Je pense que ça n'affecte pas la mesure. Ça peut ajouter un petit temps mais pas très long de thermalisation.

Q : Pourquoi le platine et pas un autre métal ?

R : on sait faire du Pt très pur et c'est aussi un élément très stable qui ne va pas s'oxyder.

Q : Pourquoi la résistance augmente quand température augmente, qualitativement ?

R : Dans le métal on a des électrons libres. Quand la température augmente, l'agitation thermique augmente. Il va y avoir des chocs de plus en plus fréquents. Cela va jouer sur la mobilité des électrons. Dans un modèle à la Drude, il y a un temps d'accélération entre deux chocs qui diminue quand T augmente, ce qui diminue la vitesse moyenne des électrons.

Q : des chocs entre quoi et quoi ?

R : entre un électron et un autre électron.

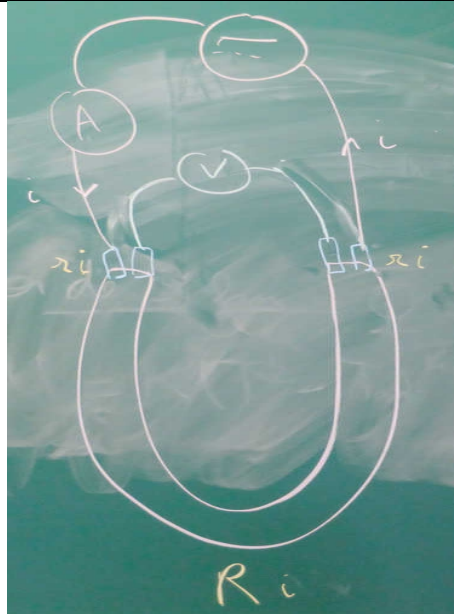
C : Dire à minima que c'est sur les ions du réseau, en pratique c'est plus sur les défauts du réseau, ou sur des phonons.

Q : Pourquoi un montage à 4 fils ?

R : Quand on a des résistances très faibles, une mesure classique à deux fils est sensible aux résistances de contact. Ici on s'affranchit des résistances de contact car il n'y a pas de courant dans les contacts qui mènent au voltmètre.

Q : Tu peux nous en dire plus, nous faire un schéma ?

Photo du schéma pendant la correction :



Q : Sur la pompe tu as changé le tuyau, il y a un petit, un grand, qu'est-ce que ça change ? Pourquoi avoir arrêté de pomper au moment où tu as vu le solide ?

R : Le grand a un plus grand débit que le petit. On commence par le plus grand, puis quand on atteint une pression proche de la pression triple, on bascule sur l'autre tuyau. S'il y a trop de solide on n'a plus contact entre le liquide et le gaz, donc pas les transitions associées et la résistance va être bloquée.

C : Il fallait continuer à pomper, effectivement on veut éviter le gros bloc de solide qui bloque tout, **et on peut diminuer le débit pour cela, mais là c'était trop tôt puisque la coexistence des trois phases n'a pas été stabilisée.**

Q : Qu'est-ce qui nous limite en précision sur la température de l'eau bouillante, de l'azote bouillant... ?

R : **impuretés, pression ambiante**

Q : Comment la température d'ébullition dépend de la pression ? Ça dépend de quoi d'autre ?

R : La température d'ébullition croît avec la pression. Ça dépend de la composition, on dit que c'est de l'eau mais il y a des minéraux dedans.

Q : As-tu exemple de minéral qui change la Téb de l'eau ?

R : le sel

Q : Comment expliquer la valeur négative de a ?

R : Il aurait fallu fixer un R positif.

Q : Le choix d'avoir mis un terme quadratique est-il justifié ici ?

R : Non car on n'a que 4 points.

C : En fait c'est un capteur linéaire dans une gamme de T , le terme quadratique est un raffinement pour après.

Thermistance

Q : Tu nous as présenté deux capteurs, lequel est le mieux ?

R : **Une thermistance a besoin d'être tabulée.** Ça dépend des plages de T que l'on souhaite étudier.

C : **La résistance de Pt a l'avantage d'être linéaire. Par contre la thermistance est plus sensible. Cela va dépendre des utilisations, et cela permet d'ouvrir sur les différentes propriétés que l'on attend d'un capteur.**

Q : Tu dis qu'on va étalonner la résistance Pt à partir de la thermistance ?

R : Non, à partir d'une autre résistance de platine déjà étalonée.

Manipulation supplémentaire durant l'entretien

But de la manip : Illustrer les défauts d'un AO.

Premier défaut : le gain n'est pas infini, il sature à la tension de l'alimentation.

Commentaires lors de la correction

Ce que tu as présenté et la façon dont tu l'as fait ne t'a pas mise en valeur, tu t'es mise dans une situation compliquée en choisissant de faire plein de manips. C'est une bonne illustration du fait que quand on essaie de faire trop de manips, on ne peut pas les préparer et les présenter correctement, on finit par faire plein d'erreurs, et parfois, enlever une manip permet de faire les autres beaucoup mieux. À propos de la première manip, dans un montage de métrologie, c'est compliqué d'expliquer d'abord que k_B est fixé puis de le mesurer, de plus il y a beaucoup trop de choses à dire dans ce montage (quel capteur choisir, sur quels critères) pour se permettre de commencer par la première manip sur l'agitation thermique des électrons. C'est toujours essentiel de mettre les barres d'erreur sur les mesures, particulièrement dans un montage de métrologie, or là elles n'étaient pas toujours là.

De même il fallait faire attention sur la transition à la fin; la dernière manip semble un peu parachutée. De façon générale soigner les transitions; c'est compliqué parce que parfois tu étudies un capteur et parfois un paramètre en fonction d'un capteur. Il fallait être très précis sur la manip, ce n'est pas clair de savoir quel thermomètre était étudié, le rôle de l'autre thermomètre. Il manquait la question de la plage de fonctionnement d'un capteur, éventuellement le temps de réponse. **Il est important d'aborder ce qui caractérise un capteur de température : sa sensibilité, son éventuelle linéarité, sa plage de fonctionnement, son temps de réponse. A la fin du montage, il faut être capable de dire quel capteur est le plus adapté, en fonction de la mesure que l'on souhaite faire. Il faut être capable de comparer les différents capteurs entre eux.**

C'est particulièrement compliqué du fait que c'est un montage de thermo et qu'il faut gérer les temps de changement de température; si on commence par le point triple, il faut 5 min pour le récupérer, parfois gérer l'eau qui bout, la manip qui se refroidit ou se réchauffe.

À propos de la courbe $R(T)$ de la thermistance où le chi carré vaut 100, c'est un sacrilège de dire qu'on avait dû sous-estimer les incertitudes : le résidu a clairement de la structure et effectivement la loi en $A \exp(B/T)$ n'est qu'une première approche, ce qu'on pouvait voir et exploiter ici. C'est trop dommage de jeter à la poubelle ce beau résultat.

Sur la première manip, la mesure de la tension efficace se fait bien au voltmètre, pas besoin de l'oscillo. Par ailleurs, $4k_B T R$ est une puissance par unité de fréquence, la notion de densité spectrale de puissance n'est pas au programme de l'agreg, si tu veux l'introduire il faut être capable de l'expliquer à un niveau agreg. De manière générale en termes de vocabulaire, faites attention : 5 sigma correspond à une p-valeur de $3e-7$: dire « c'est bon » c'est se tirer une énorme balle dans le pied.