

La capacité thermique massique de l'eau.

Table des matières :

- 1) Introduction.
- 2) Liste du matériel.
- 3) Montage de l'expérience.
- 4) Mode opératoire.
- 5) Résultats expérimentaux.
- 6) Explications théoriques.
- 7) Conclusions.
- 8) Références.

1) Introduction.

L'expérience qui va être décrite ici a pour but de mesurer la capacité thermique massique de l'eau. Pour ce faire, nous allons utiliser un calorimètre fabriqué avec des moyens à la disposition de tout bon bricoleur. Nous verrons que les résultats obtenus, malgré nos moyens limités, sont tout à fait satisfaisants.

2) Liste du Matériel.

- Une balance de précision (0,01g) ayant une portée de 200g environ.
- Un multimètre électronique.
- Du fil résistif ($65\Omega/m$).
- Un capteur mesurant la température (LMT86 de Texas Instruments)
- Une montre à Quartz précise à la seconde.
- Un récipient en frigolite avec couvercle ayant une capacité d'environ 200cm^3 . (Bricolé dans un ancien emballage.)
- Une alimentation électrique pouvant délivrer un courant de 2A sous une tension de 12V.
- Une pile de 4,5 V ou une source de tension stabilisée entre 3 et 5V.
- Des fils de raccord, de la soudure,

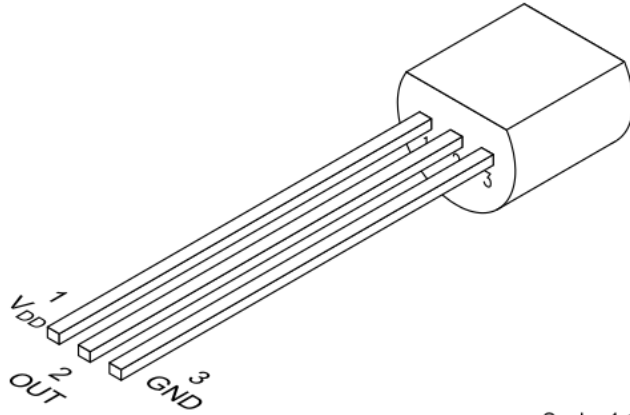
3) Montage de l'expérience.

Il faut d'abord fabriquer une résistance avec le fil résistif. Cette résistance devra avoir une valeur d'environ 10Ω . Par exemple 15cm de fil à $65\Omega/m$. Les extrémités du fil résistif sont dé-émailées, et soudées sur des extrémités de fil électrique.

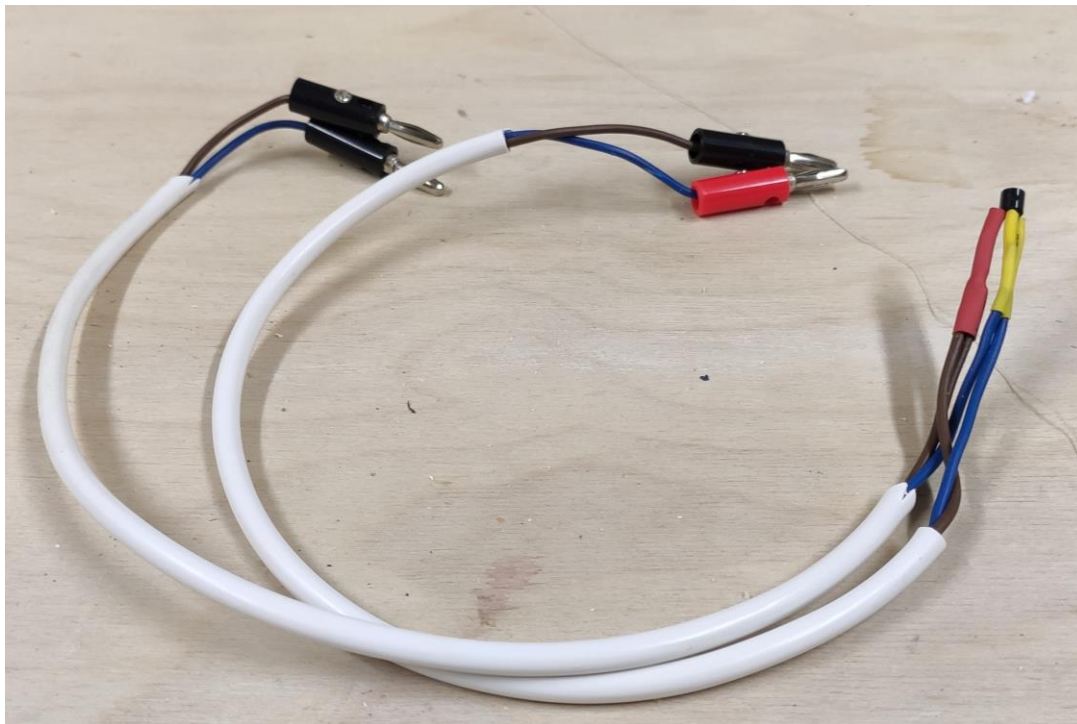
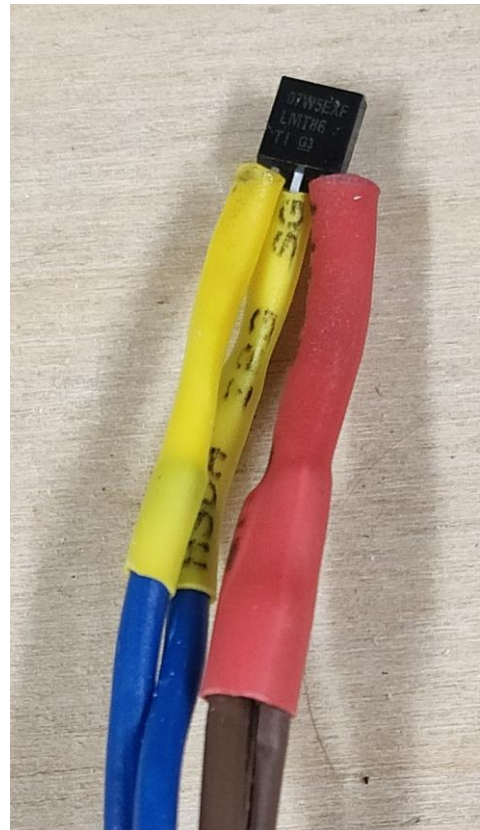


Il faut ensuite raccorder la sonde de température en respectant le schéma suivant : Deux fils destinés à l'alimentation entre 3 et 5V soudés sur les deux pattes GND (pôle négatif) et Vdd (pôle positif). Deux autres fils destinés à la mesure seront soudés sur les pattes GND et OUT. (ref 1)

LP Package
3-Pin TO-92
(Top View)



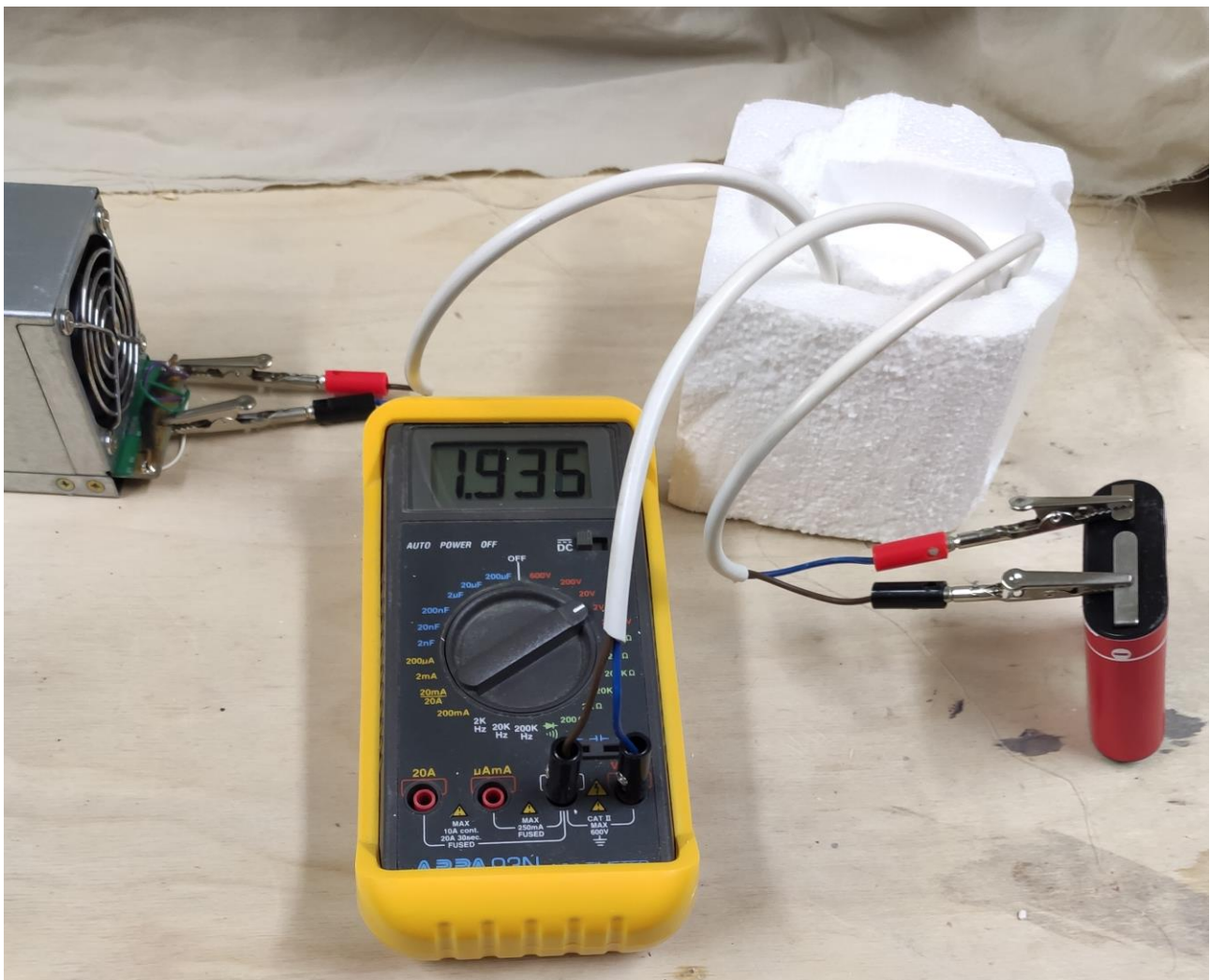
Scale: 4:1



Mesurons ensuite avec précision la masse d'environ 100g d'eau et versons la dans le récipient en frigolite. Nous pouvons aussi directement mesurer la masse de l'eau et du récipient et en soustraire la tare.

Relions les bornes d'alimentation de la sonde de température aux bornes de la pile de 4,5V et les bornes de mesure de celle-ci au multimètre (plage 0 à 2V). Ne vous trompez surtout pas entre les bornes de la sonde de température. La moindre erreur peut entraîner la destruction de celle-ci. La résistance comme la sonde de température sont plongées dans l'eau. Les bornes de la résistance seront branchées à la source de tension de 12V. Attention à ne pas mettre le courant dans la résistance « à sec » vous risqueriez de fondre le fil.

Le montage est terminé.



4) Mode opératoire.

a) Mesure des caractéristiques électrique de la résistance.

La résistance plongée dans l'eau, mesurez à l'aide du multimètre le courant passant à travers celle-ci (en ayant branché l'alimentation de 12V). Ensuite, changez le montage pour mesurer la tension aux bornes de la résistance. Notez ces deux valeurs. Leur produit est la puissance de chauffage dégagée par la résistance dans l'eau.

b) Mesures de la capacité thermique du système.

Le système branché, mesurez toutes les trente secondes environ la tension aux bornes de mesure de la sonde de température. Agitez légèrement le bocal en frigolite pour bien homogénéiser la température. Notez l'heure exacte (à la seconde près) de chaque mesure. Il n'est pas important que la montre soit réglée à l'heure exacte, seul les différences de temps seront importantes ; l'heure absolue ne l'est pas.

La température de l'eau est déduite de la formule liant la tension aux bornes de la sonde et la température de celle-ci. Cette formule est donnée par le constructeur de la sonde (ref 1). Pour la LMT86 :

Although the LMT86 is very linear, its response does have a slight umbrella parabolic shape. This shape is very accurately reflected in [Table 3](#). The Transfer Table can be calculated by using the parabolic equation ([Equation 1](#)).

$$V_{TEMP} (mV) = 1777.3mV - \left[10.888 \frac{mV}{^{\circ}C} (T - 30^{\circ}C) \right] - \left[0.00347 \frac{mV}{^{\circ}C^2} (T - 30^{\circ}C)^2 \right] \quad (1)$$

The parabolic equation is an approximation of the transfer table and the accuracy of the equation degrades slightly at the temperature range extremes. [Equation 1](#) can be solved for T resulting in:

$$T = \frac{10.888 - \sqrt{(-10.888)^2 + 4 \times 0.00347 \times (1777.3 - V_{TEMP} (mV))}}{2 \times (-0.00347)} + 30 \quad (2)$$

Faites plusieurs fois l'expérience avec des masses différentes d'eau.

5) Résultats expérimentaux.

a) Caractéristiques de la résistance.

Courant mesuré : 1,40 A.

Tension mesurée : 12,02 V.

Puissance de la résistance : $1,40A \cdot 12,02V = 16,828 W$

Remarquons au passage que la résistance fait $12,02V/1,40A = 8,59\Omega$

b) Tableaux de mesures.

Les tableaux comprendront, outre l'heure et la tension mesurée, la température de l'eau déduite de la tension aux bornes de la sonde, et le temps écoulé depuis le début des mesures déduit de l'heure.

i) 123 g d'eau

Heure	Tension V	Température °C	Δt s	ΔT K
22:11:35	1,942	14,80	0,00	0
22:12:30	1,922	16,65	55,00	1,85
22:13:30	1,901	18,60	115,00	3,80
22:14:30	1,881	20,45	175,00	5,65
22:15:30	1,861	22,29	235,00	7,49
22:16:30	1,841	24,14	295,00	9,34
22:17:30	1,821	25,98	355,00	11,18
22:18:30	1,801	27,82	415,00	13,02
22:19:30	1,782	29,57	475,00	14,77
22:21:00	1,752	32,32	565,00	17,52
22:22:00	1,734	33,97	625,00	19,17
22:23:00	1,716	35,62	685,00	20,82

ii) 54,82g d'eau

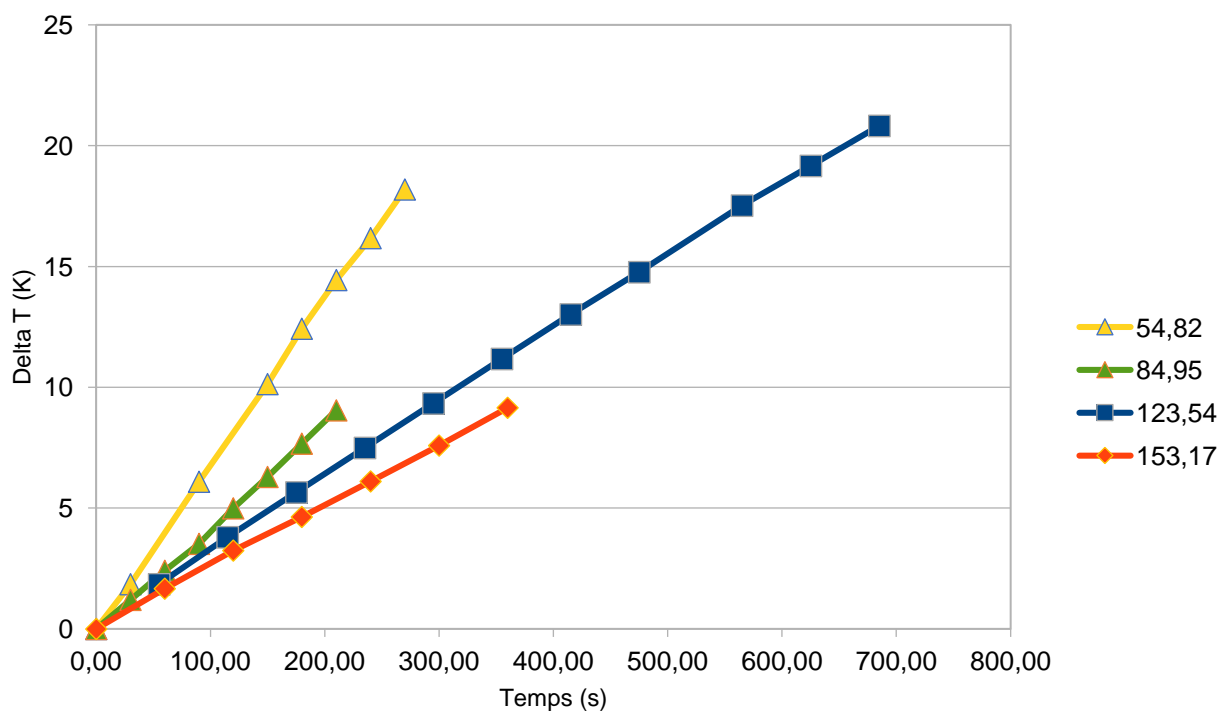
Heure	Tension V	Température °C	Δt s	ΔT K
14:53:30	1,878	20,72	0,00	0
14:54:00	1,858	22,57	30,00	1,85
14:55:00	1,812	26,81	90,00	6,09
14:56:00	1,768	30,85	150,00	10,13
14:56:30	1,743	33,15	180,00	12,42
14:57:00	1,721	35,16	210,00	14,44
14:57:30	1,702	36,90	240,00	16,18
14:58:00	1,68	38,91	270,00	18,19

iii) 84,95g d'eau

Heure	Tension V	Température °C	Δt s	ΔT K
15:14:30	1,918	17,02	0,00	0
15:15:00	1,905	18,23	30,00	1,20
15:15:30	1,892	19,43	60,00	2,41
15:16:00	1,88	20,54	90,00	3,52
15:16:30	1,864	22,02	120,00	4,99
15:17:00	1,85	23,31	150,00	6,28
15:17:30	1,835	24,69	180,00	7,67
15:18:00	1,82	26,07	210,00	9,05

iv) 153,17g d'eau

Heure	Tension V	Température °C	Δt s	ΔT K
15:02:30	1,932	15,73	0,00	0
15:03:30	1,914	17,39	60,00	1,67
15:04:30	1,897	18,97	120,00	3,24
15:05:30	1,882	20,35	180,00	4,63
15:06:30	1,866	21,83	240,00	6,11
15:07:30	1,85	23,31	300,00	7,58
15:08:30	1,833	24,88	360,00	9,15

c) Graphique.


6) Explications théoriques

A ce stade, nous pouvons mesurer la quantité de chaleur transmise au système pour augmenter celui-ci de 1K. Pour ce faire, nous devons connaître la quantité de chaleur transmise au système par seconde. C'est précisément la puissance de la résistance. Si donc, notre résistance a une puissance de P Watt, il y aura P joules thermiques qui rentreront dans le système chaque seconde.

Or le premier principe de la thermodynamique nous explique que la quantité de chaleur transmise au système fera augmenter d'autant l'énergie interne de celui-ci. Si bien sûr la quantité de chaleur sortant de la boîte en frigolite peut être considérée comme négligeable et qu'il n'y a pas d'échange de travail mécanique avec l'extérieur.

L'augmentation de l'énergie interne du système se manifestera par une augmentation de la température de celui-ci suivant la loi :

$$\Delta U = C_p \cdot \Delta T$$

A pression et à volume constant, ce qui est pratiquement le cas dans notre expérience.

Où C_p est la capacité thermique du système, ΔT l'augmentation de température de celui-ci, et ΔU est l'augmentation de l'énergie interne du système, qui en l'absence de travail mécanique s'explique uniquement par l'apport de chaleur apporté par la résistance électrique soit :

$$\Delta U = \Delta Q = P \cdot \Delta t$$

Avec P la puissance de la résistance, et Δt le temps écoulé depuis le début de l'expérience.

Nous aurons donc : $\Delta U = \Delta Q = P \cdot \Delta t = C_p \cdot \Delta T$ et donc : $\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{C_p}$

A partir du calcul de la pente des graphes trouvés à la section précédente et de la valeur de la puissance de la résistance, nous pouvons trouver la capacité thermique du système pour différentes masses d'eau.

En divisant cette capacité thermique par la masse d'eau, on trouve une première approximation de la capacité thermique massique de l'eau, car la capacité thermique de l'appareil de mesure est relativement faible en comparaison à celle de l'eau.

De cette manière, avec les données trouvées au point précédent, on trouve des valeurs comprises entre 4300 et 4500 J/kg.K

Cependant, il est possible d'aller encore plus loin. En portant en graphique la capacité thermique du système en fonction de la masse d'eau qu'il contient, il est possible de connaître la capacité thermique massique de l'eau seule en faisant abstraction de la capacité thermique du calorimètre.

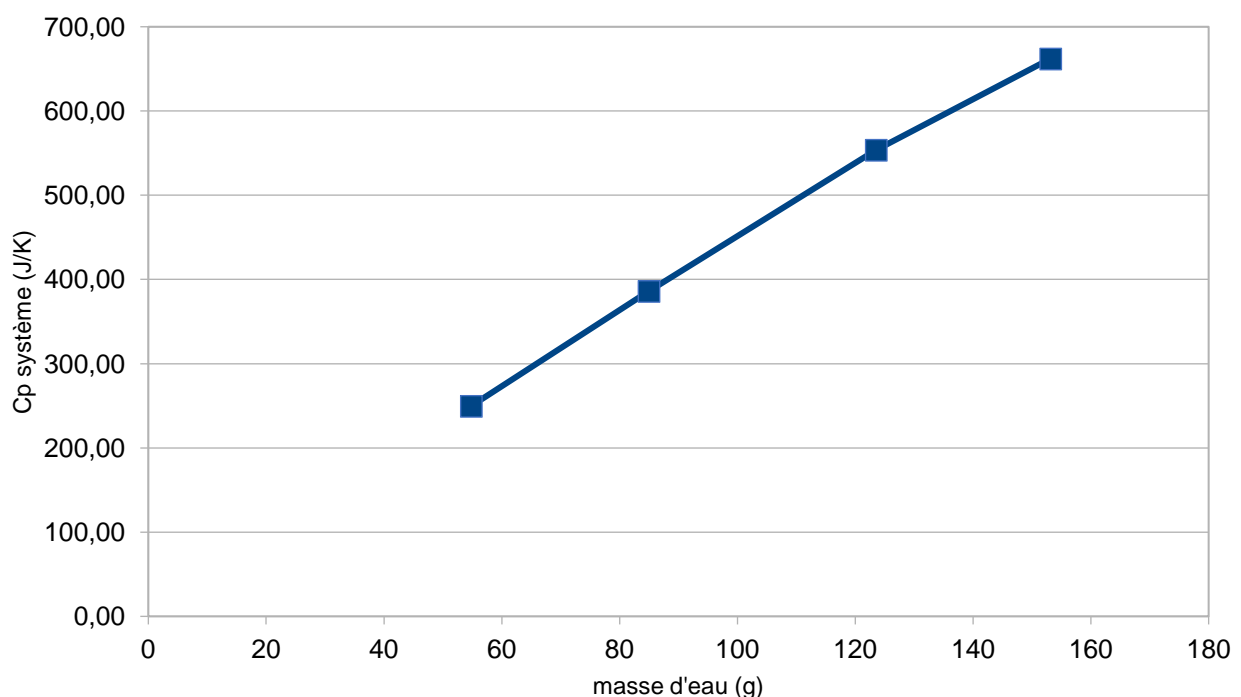
La capacité thermique du système va augmenter linéairement avec la masse d'eau. La pente de cette dernière droite n'est autre que la capacité thermique massique de l'eau.

7) Conclusions.

Lors des différentes expériences que nous avons réalisées précédemment, nous trouvons les capacités calorifiques de l'ensemble du système suivantes :

Masse d'eau (g)	C_p système J/K
54,82	249,82
84,95	386,06
123,54	553,65
153,17	662,15

Dessignons le graphe donnant la capacité calorifique du système en fonction de la masse d'eau qu'il contient.



En calculant la pente de cette droite, nous obtenons la capacité thermique massique de l'eau. Ici, nous pouvons mesurer : $C_p \text{ eau} = 4192,4 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. La valeur communément admise est de $4182 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ à 300K (ref. 2). Ce résultat est donc cohérent avec la littérature à 0,3% près. Ce qui est inespéré, un calcul d'erreur sur nos mesures aurait sans doute mis en lumière une beaucoup plus grande imprécision.

8) Références.

- 1) Texas-Instruments Datasheet : LMT86 SNIS169E – MARCH 2013 – REVISED OCTOBER 2017
- 2) Chase, M.W., Jr., NIST-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph 9, 1998, 1-1951.