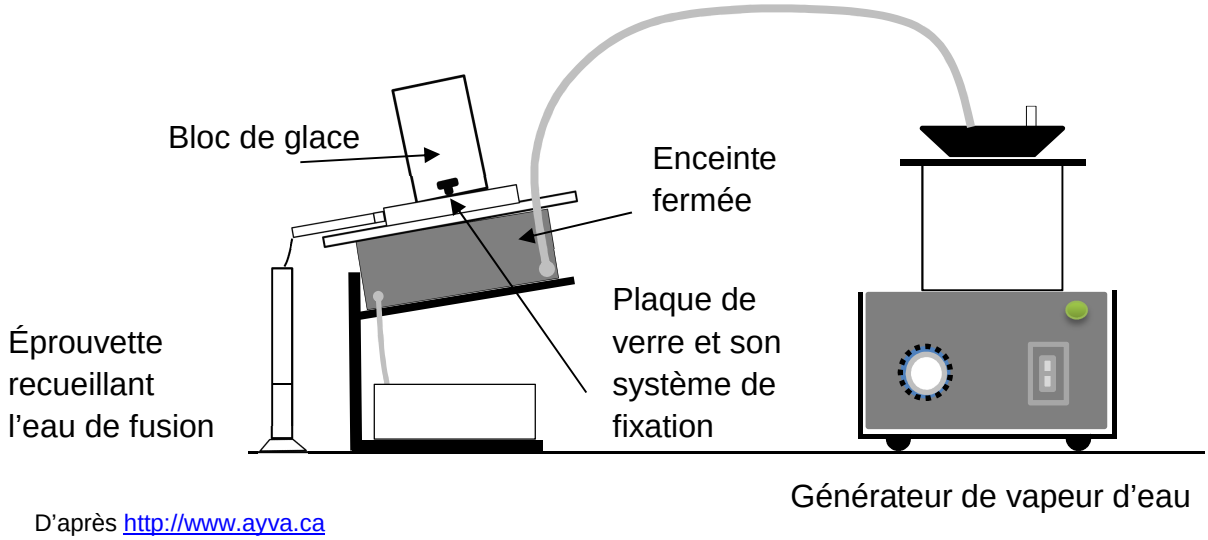
Exercice III : Détermination expérimentale d'une résistance thermique (5 points)

Pour déterminer expérimentalement la résistance thermique du verre, il est possible de mettre en œuvre le protocole schématisé ci-dessous.



D'après http://www.ayva.ca

On place, sur une enceinte fermée pouvant recevoir un courant de vapeur d'eau, une plaque de verre carrée de 12 cm de côté, et sur celle-ci un bloc de glace cylindrique de diamètre d = 8 cm. Le transfert thermique à travers la plaque de verre, soumise à un écart de température $\Delta\theta$ permet la fusion du bloc de glace plus rapidement qu'en le laissant à la température du laboratoire.

La plaque de verre utilisée a une épaisseur e = 4 mm.

L'objectif de cet exercice est de montrer comment ce dispositif permet d'évaluer la valeur de la résistance thermique d'un matériau.

Données :

La chaleur latente massique de fusion de l'eau, notée L_f correspond à l'énergie reçue par unité de masse d'eau lors du changement d'état solide – liquide à température et pression constantes.

$$L_f = 333{,}5\ J{\cdot}g^{-1}.$$

Pour atteindre l'objectif fixé, il est nécessaire de procéder à deux expériences.

Au cours de la première expérience, on laisse fondre un bloc de glace pendant une durée Δt = 5 min 30 s, à la température ambiante du laboratoire. Au bout de cette durée, on recueille une masse d'eau liquide m_1 = 5,5 g. Le diamètre d du bloc de glace conserve pratiquement son diamètre initial (d = 7,8 cm à la fin de l'expérience).

Au cours de la seconde expérience, le bloc de glace est placé sur le même support, pendant la même durée Δt = 5 min 30 s, mais cette fois le générateur de vapeur d'eau est mis en fonctionnement. La masse de glace fondue est alors m_2 = 124,4 g. La mesure du diamètre du bloc de glace est proche de celle obtenue lors de la première expérience : (d = 7,6 cm à la fin de l'expérience).

Remarque : la masse de glace fondue est mesurée grâce à la masse d'eau recueillie dans l'éprouvette.

Exploitation des mesures expérimentales

1. Montrer que la valeur de l'énergie thermique E_{th} transférée à travers la paroi de verre et due à la mise en route du générateur de vapeur au cours de la deuxième expérience, est de l'ordre de 40 kJ. Préciser le mode de ce transfert thermique mis en œuvre et proposer une interprétation au niveau microscopique.

2. On appelle flux thermique moyen à travers une paroi plane, la grandeur Φ définie par la relation :

$$\Phi = \frac{E_{th}}{\Delta t}$$

2.1. Exprimer l'unité du flux thermique Φ en fonction des unités du système international (mètre, kilogramme et seconde). Avec quelle unité exprime-t-on généralement, plus usuellement, le flux thermique ?

2.2. Calculer la valeur du flux thermique à travers la plaque de verre étudiée.

3. La résistance thermique R_{th} de la portion de verre comprise entre le bloc de glace et l'enceinte fermée est reliée au flux thermique moyen Φ à travers la plaque de verre, par la relation :

$$\Phi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}}$$

Où $\Delta\theta$ représente l'écart de température entre les deux faces de la plaque de verre.

Déterminer la résistance thermique du verre.

4. La mesure de la résistance thermique du verre est réalisée 12 fois, dans les mêmes conditions expérimentales. Les valeurs obtenues, exprimées avec l'unité du système international, sont rassemblées dans le tableau suivant :

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Résistance thermique	0,81	0,89	0,78	0,82	0,87	0,78	0,76	0,92	0,85	0,84	0,81	0,79

Soient $\overline{R_{th}}$ la moyenne des n mesures réalisées et $U(R_{th})$ l'incertitude de mesure correspondante, associée au niveau de confiance de 95%.

Par définition :

$$U(R_{th}) = t_{95} \cdot \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

σ_{n-1} désigne l'écart-type expérimental, défini par :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}((R_{th})_k - \overline{R_{th}})^2}$$

t_{95} est appelé coefficient de Student. Pour n = 12 mesures et pour le niveau de confiance choisi de 95%, t_{95}= 2,20.

4.1. Écrire le résultat de la mesure expérimentale de R_{th} correspondant à un niveau de confiance de 95%.

4.2. Rédiger une phrase de conclusion traduisant la signification du résultat de la mesure de R_{th} donnée par la relation précédente.

5. Dans l'industrie du bâtiment, les matériaux ne sont pas caractérisés par leur résistance thermique R_{th} mais plutôt par leur résistance thermique surfacique R (ou résistance thermique par unité de surface). Déterminer la valeur de R du verre utilisé dans le dispositif expérimental.

Le constructeur indique une valeur plus élevée que celle obtenue expérimentalement. Proposer une interprétation pour expliquer cette différence.