

# Effet Leidenfrost : impact sur le refroidissement des réacteurs à eau pressurisée

---

Jonathan Martigny  
n°25394

# Sommaire

- I. Introduction de l'effet Leidenfrost
- II. Modélisation du phénomène
- III. Détermination de la température d'une surface
- IV. Mesure du temps de vie de la goutte
- V. Conclusion

# Introduction de l'effet Leidenfrost

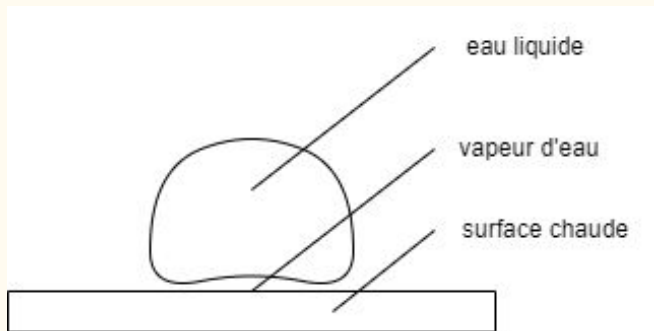


Schéma d'une goutte en lévitation



Photo d'une goutte en lévitation prise  
à la caméra rapide

# Conséquence sur les REP

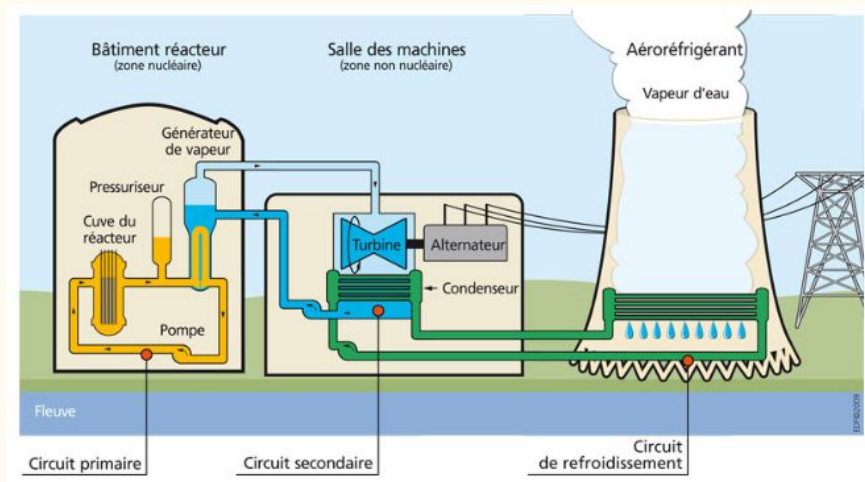


Schéma de fonctionnement d'un réacteur nucléaire

Problématique : Quelles sont les paramètres permettant de limiter l'effet Leidenfrost ?

# Modélisation du phénomène

❖ Hypothèses :

- $e_0 \ll h$
- $e_0 \ll R$

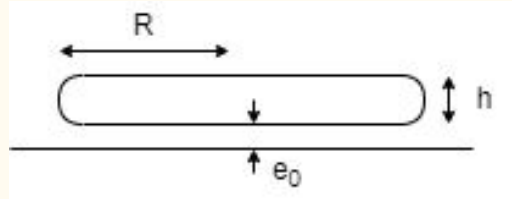


Schéma simplifié d'une goutte en lévitation

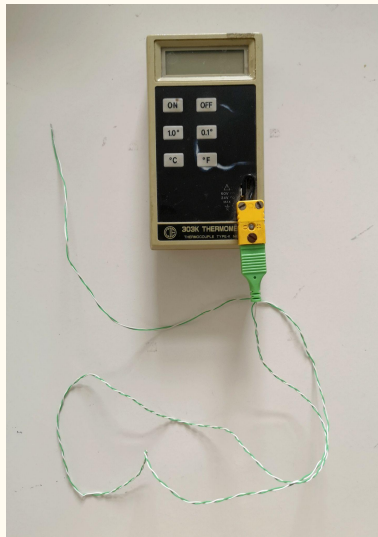
→ Équation régissant l'évolution de la température du film de vapeur d'eau :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{\rho_v c}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

→ Profil de température en régime stationnaire :

$$T(z) = T_p + \frac{T_e - T_p}{e_0} z$$

## Détermination de la température d'une surface



Thermocouple



Thermomètre  
infrarouge



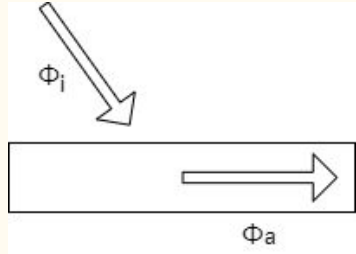
Caméra thermique

## Caractérisation de l'émissivité d'un matériau

### ❑ Modèle du corps noir :

- Loi de Stefan-Boltzmann pour le corps noir :

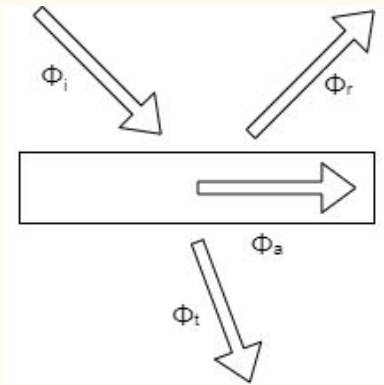
$$\boxed{\varphi_{\text{émis}}^{\text{CN}}(T) = \sigma T^4} \quad \text{où} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}$$



### ❑ Cas d'un corps quelconque :

- Loi de Stefan-Boltzmann pour un corps quelconque :

$$\boxed{\varphi_{\text{émis}}(T) = \varepsilon \sigma T^4} \quad \text{avec} \quad 0 < \varepsilon \leq 1$$



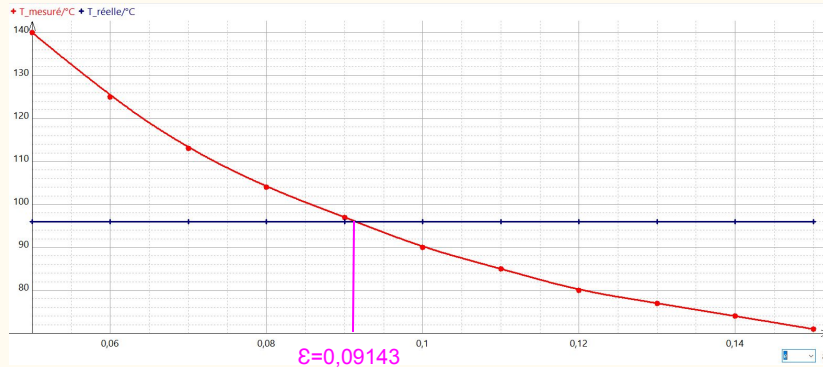
# Principe de la mesure



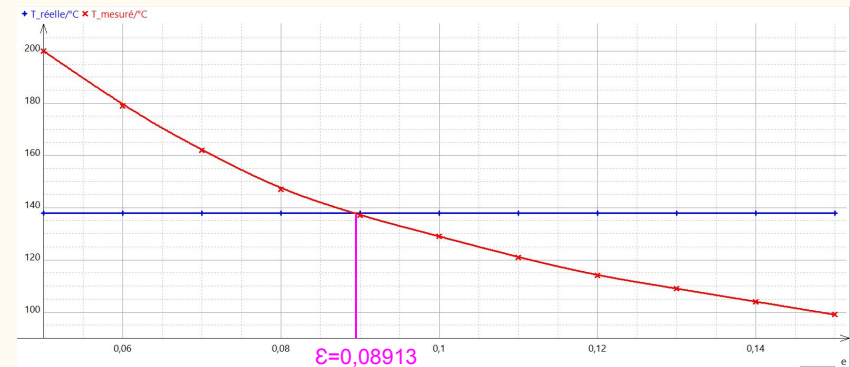


## Émissivité à différentes températures

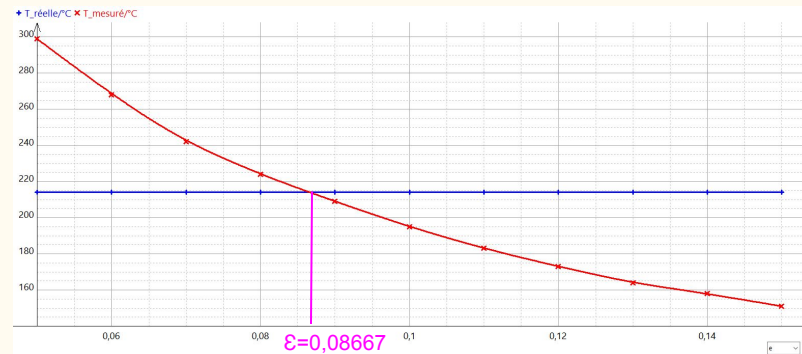
□  $T=96^{\circ}\text{C}$



□  $T=138^{\circ}\text{C}$



□  $T=214^{\circ}\text{C}$



# Émissivité de différents matériaux

- ❑

Acier :

$\varepsilon \approx 0,09$
- ❑

Cuivre :

$\varepsilon \approx 0,03$
- ❑

Aluminium :

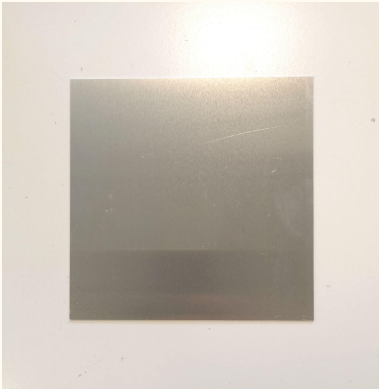
$\varepsilon \approx 0,06$



Plaque d'acier



Plaque de cuivre



Plaque d'aluminium

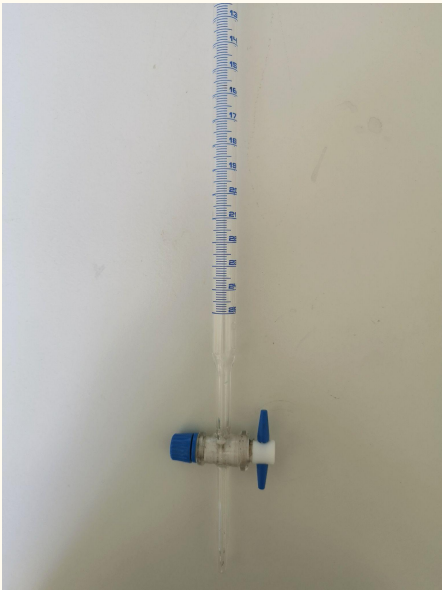
# Mesure du temps de vie de la goutte



Montage pour la mesure du temps de vie d'une goutte

# Contrôle du volume de la goutte

❑ Burette manuelle :

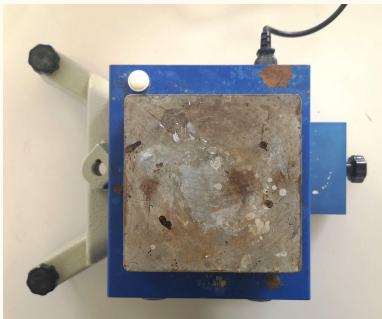


❑ Burette électrique :

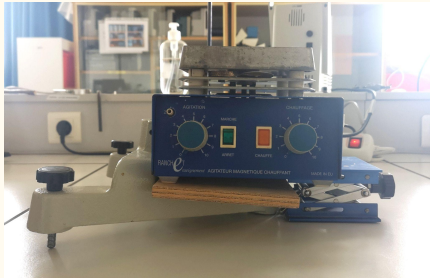


# Mobilité de la goutte

- ❑ Réglage de la planéité :



Système de réglage de la planéité (vue de dessus)

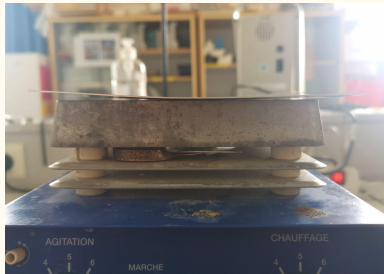


Système de réglage de la planéité (vue de côté)

- ❑ Emprisonnement de la goutte :

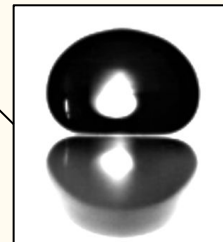
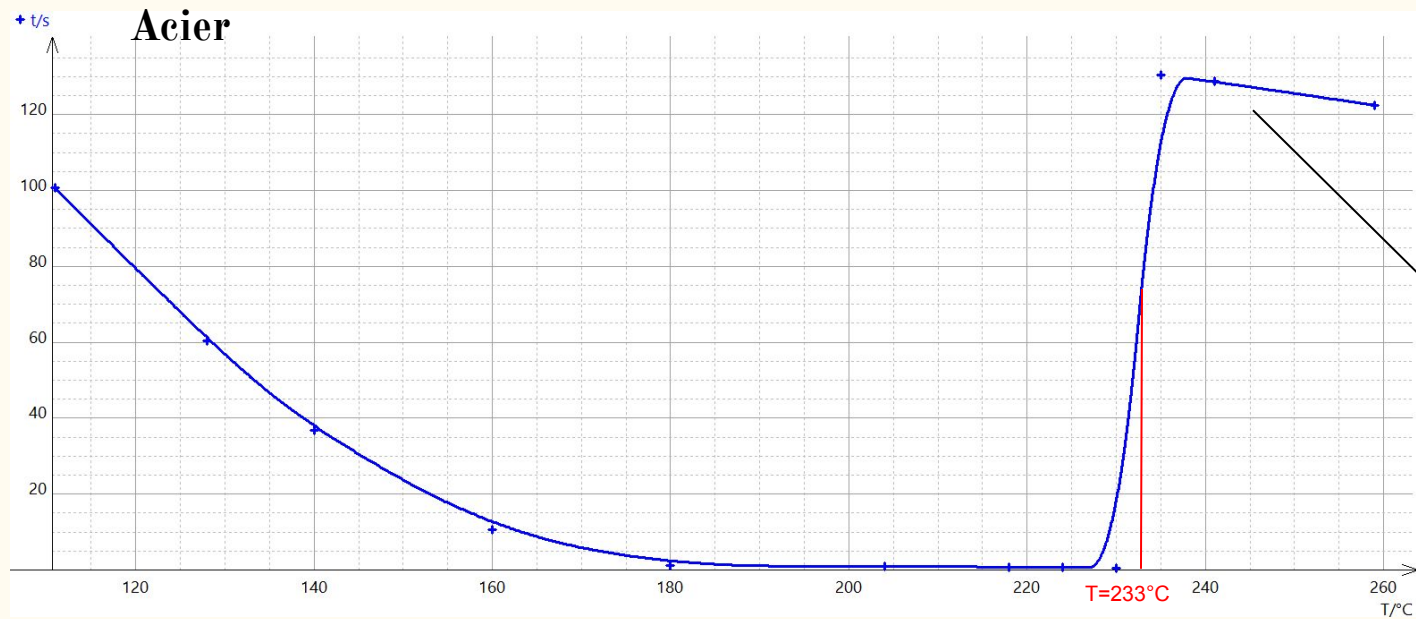


Plaque plane



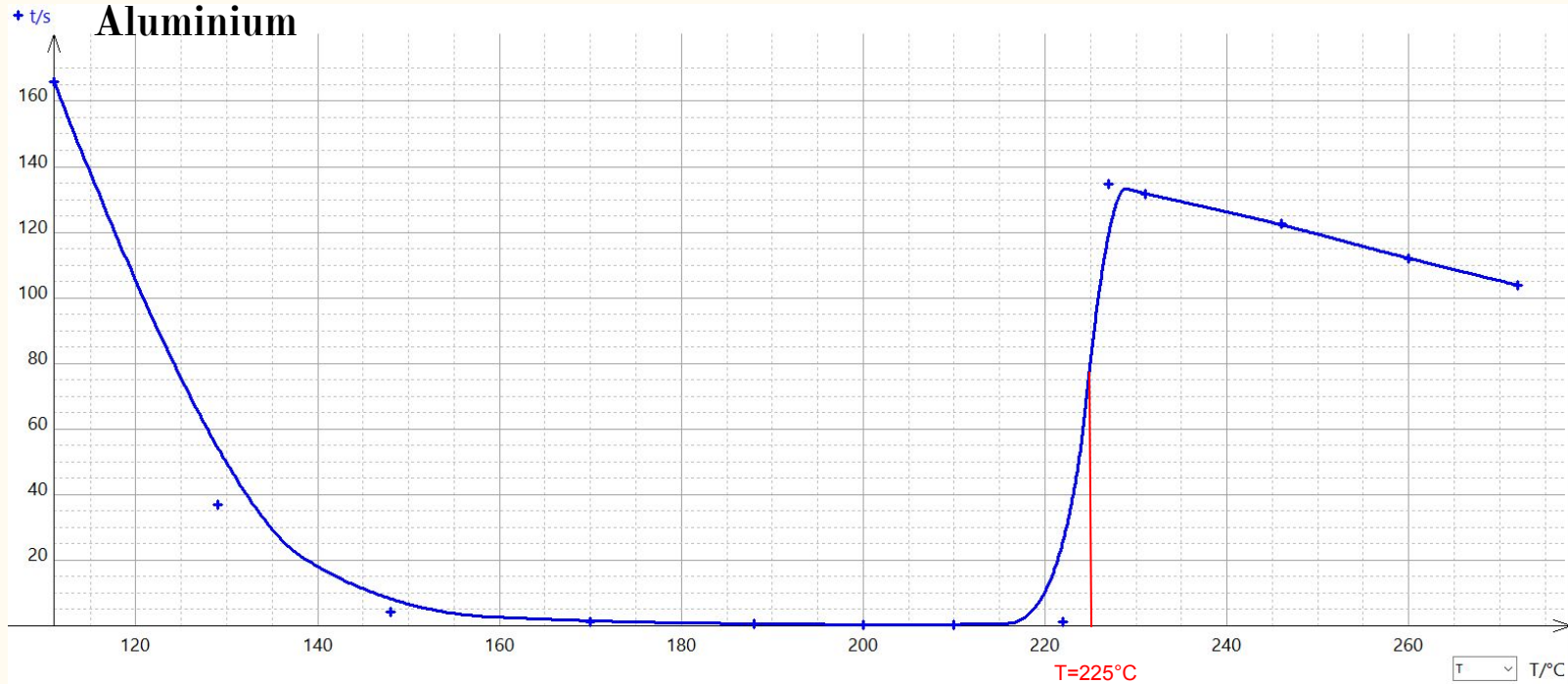
Plaque concave

# Résultats



Temps de vie d'une goutte sur une plaque d'acier en fonction de la température

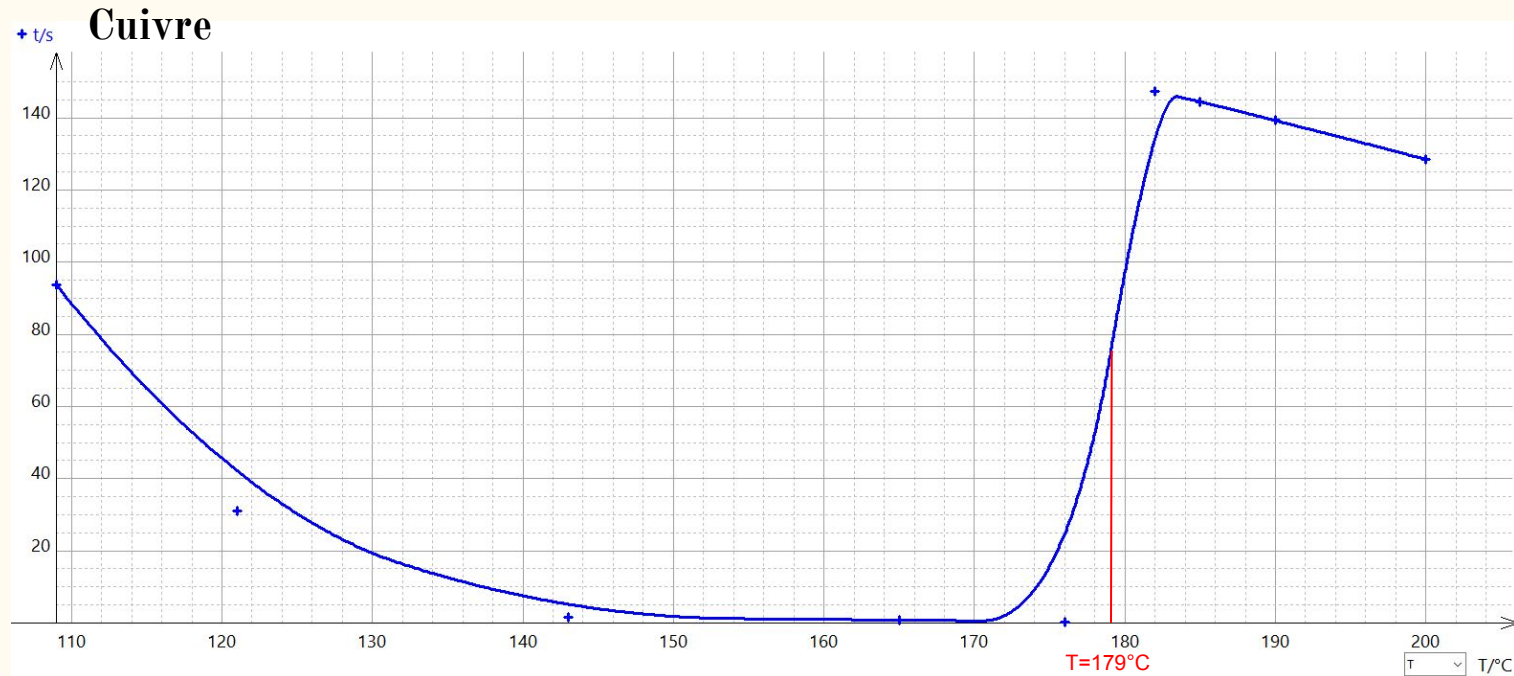
# Influence du matériau



Temps de vie d'une goutte sur une plaque d'aluminium en fonction de la température



# Influence du matériau



Temps de vie d'une goutte sur une plaque de cuivre en fonction de la température



# Conclusion

Ce qui a été fait :

- Modélisation simple du phénomène
- Mesure de température précise
- Observation du phénomène
- Mise en évidence de l'influence du matériau

Et par la suite :

- Influence d'autres facteurs
- Généralisation du procédé

# Annexes

On applique le premier principe de la thermodynamique les instants  $t$  et  $t + dt$  sur une tranche comprise entre  $z$  et  $z + dz$  :

$$dU = \delta Q_{entrant} - \delta Q_{sortant}$$

$$\Leftrightarrow \rho_v d\tau c [T(z, t + dt) - T(z, t)] = [j(z, t) - j(z + dz, t)] \pi R^2 dt$$

$$\Leftrightarrow \rho_v d\tau c \frac{\partial T}{\partial t} dt = - \frac{\partial j}{\partial z} d\tau dt$$

$$\Leftrightarrow \rho_v c \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial j}{\partial z}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{\rho_v c}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Loi de Fourier :  $\vec{j} = -\lambda \overrightarrow{grad} T$

En régime stationnaire :  $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

L'équation de diffusion se réécrit alors :  $\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$

En intégrant l'équation on obtient une solution de la forme :

$$T(z) = Az + B$$

or 
$$\begin{cases} T(z = 0) = T_p = B \\ T(z = e_0) = T_e = Ae_0 + B \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} A = \frac{T_e - T_p}{e_0} \\ B = T_p \end{cases}$$

d'où 
$$T(z) = T_p + \frac{T_e - T_p}{e_0} z$$