



# Comment évacuer les calories d'une source d'éclairage ?

**B. Garnier**

*Laboratoire de Thermocinétique (LTN) CNRS, Université de Nantes, France*

[bertrand.garnier@univ-nantes.fr](mailto:bertrand.garnier@univ-nantes.fr)



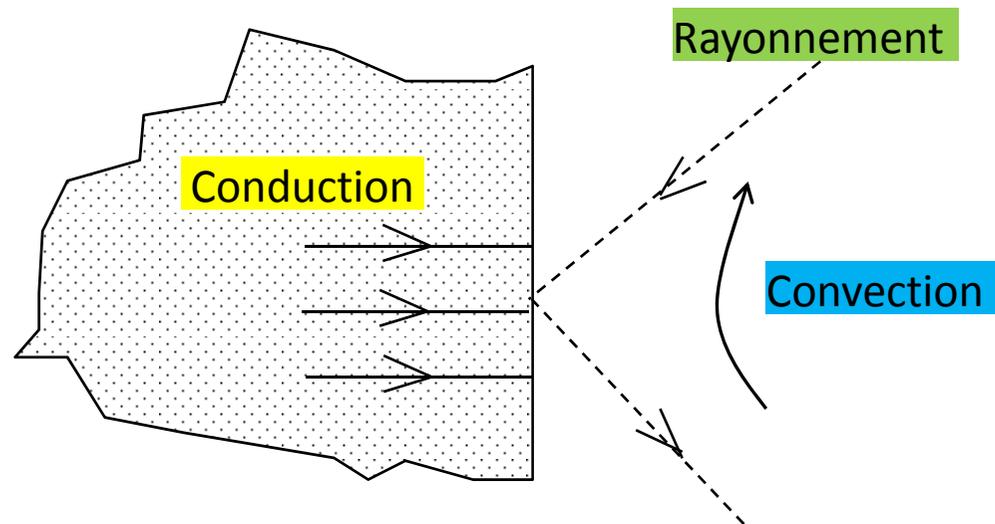


## Sommaire

---

### **Comment évacuer les calories d'une source d'éclairage à LED?**

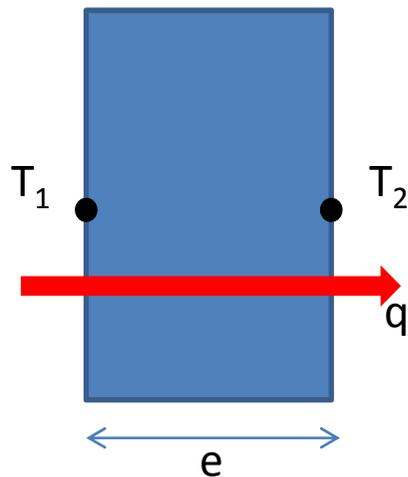
- Les différents modes de transfert de chaleur
- Quelques règles de l'art pour améliorer l'efficacité des transferts
- La pertinence des simulations



Rq: les transferts radiatifs peuvent exister simultanément avec la convection en paroi et aussi avec la conduction dans les solides

Loi de Fourier :

$$q = \lambda S \frac{dT}{dx}$$



Où:

$q$ : flux de chaleur (W)

$dT/dx$ : gradient de température ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )

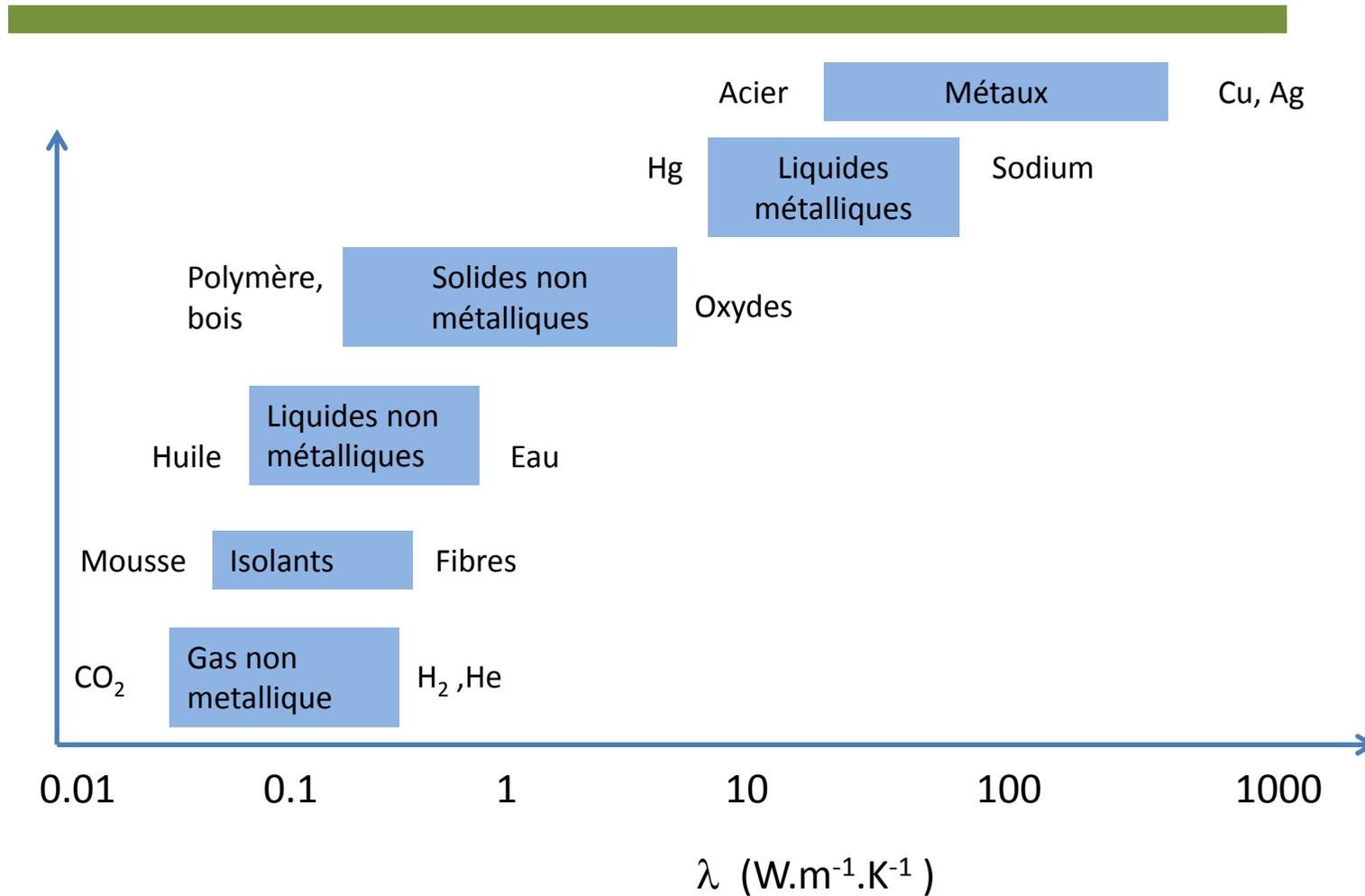
En régime permanent:  $\frac{dT}{dx} = \frac{T_1 - T_2}{e}$

$S$ : section ( $\text{m}^2$ )

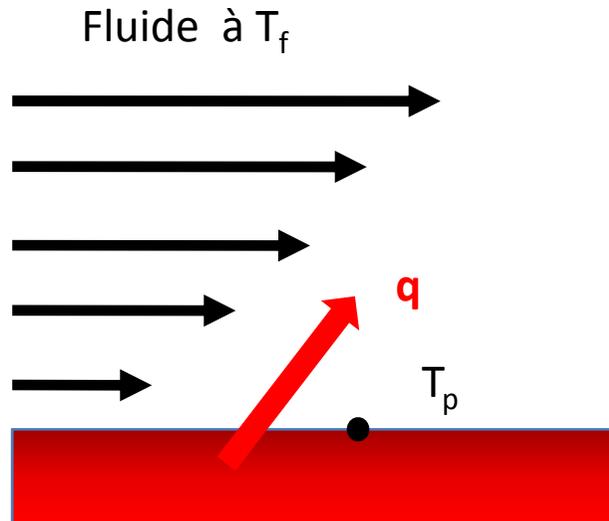
$\lambda$ : conductivité thermique ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

→ Equation de la chaleur

## Conductivité thermique, $\lambda$



Rq: seulement trois ordres de grandeurs entre  $\lambda \approx 0.1$  et  $\lambda_{\text{max}} \approx 100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$



$$T_p > T_f$$

### Trois équations:

- conservation de la masse
- conservation de la quantité de mouvement
- conservation de l'énergie

**Rq:** Souvent, on tient compte des transferts convectifs en paroi en utilisant :

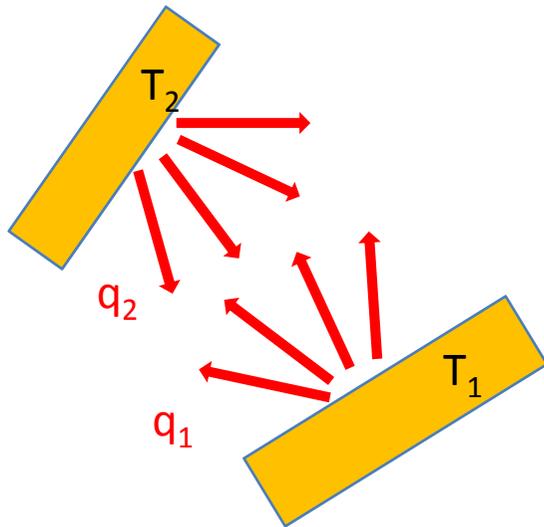
$$q = hS(T_p - T_f)$$

Loi de Newton

où  $h$  est le coefficient d'échange qui dépend du type d'écoulement et de la géométrie de la paroi → **Corrélations** :  $Nu = hL/\lambda = f(Re, Pr)$



au domaine de validité !



Loi Stefan-Boltzmann :

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \varepsilon_1 f_{12} \sigma T_1^4 \\ q_2 &= \varepsilon_2 f_{21} \sigma T_2^4 \end{aligned} \right\} q = q_1 - q_2$$

$f_{12}, f_{21}$ : facteurs de forme

$\sigma$ : constante

$\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$ : émissivité des milieux 1 et 2

$\varepsilon$  ?

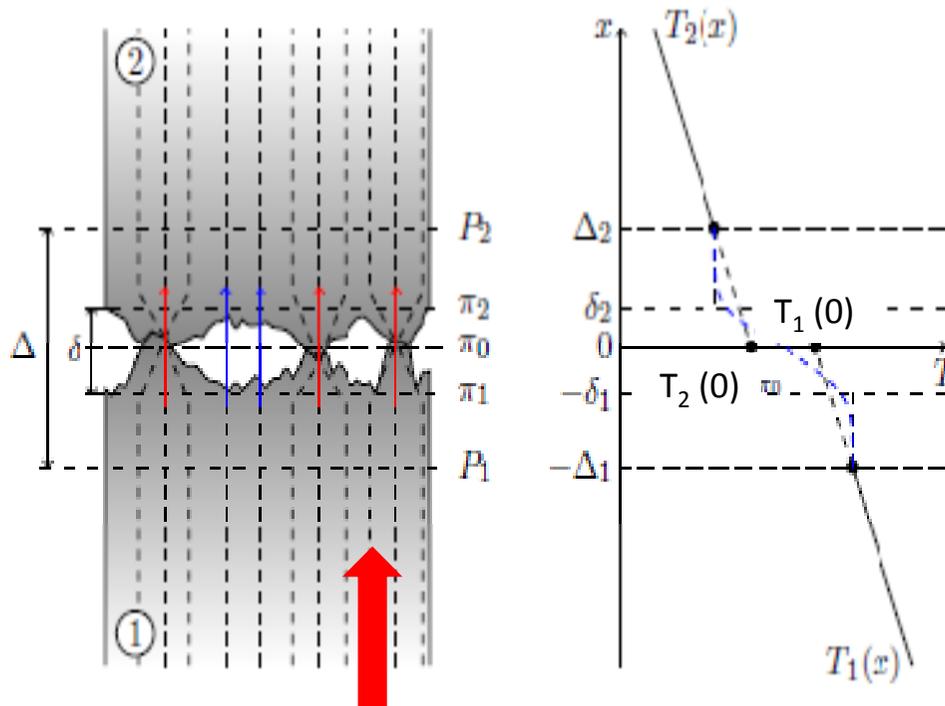
$0 < \varepsilon < 1$

- diélectriques: 0.8 à 0.95

- métaux : 0.05 à 0.8

Poli

Oxydé



$$T_1(0) - T_2(0) = R_c \frac{q}{S}$$

$$\Rightarrow q = \frac{S}{R_c} (T_1(0) - T_2(0))$$

$q \uparrow$  si  $R_c \downarrow$  ou  $S \uparrow$

$S_{\text{réelle de contact}} \approx 2 \text{ à } 3\% \text{ de } S_{\text{nominal}}$

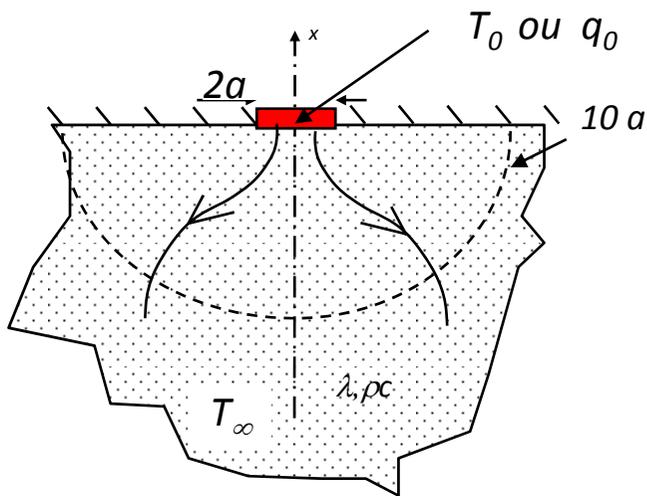
Valeurs de  $R_c$  :

$$T_1 - T_2 = R_c \frac{q}{S}$$

- $R_c : 10^{-3} \text{ à } 10^{-5} \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$  Solides avec irrégularités de surface (rugosité , ondulations)  
**Mauvais contact**
- $R_c : 10^{-5} \text{ à } 10^{-6} \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$  Solides pressés ou milieu interstitiel conducteur (graisse conductrice)
- $R_c : 10^{-7} \text{ à } 10^{-8} \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$  - Pièces soudées  
**Très bon contact** - Couches minces déposées sur substrat

Dans ce cas , l'effet de  $R_c$  est négligeable si le flux de chaleur est modéré ( $q/s < 10^7 \text{ W.m}^{-2}$  )

Rq: avec les dielectriques, on néglige l'effet de  $R_c$  ( $e=1\text{mm}$  et  $\lambda=0.1 \rightarrow R = e/\lambda=10^{-2} \text{ m}^2 \text{ K}^{-1} \text{ W}^{-1}$  )



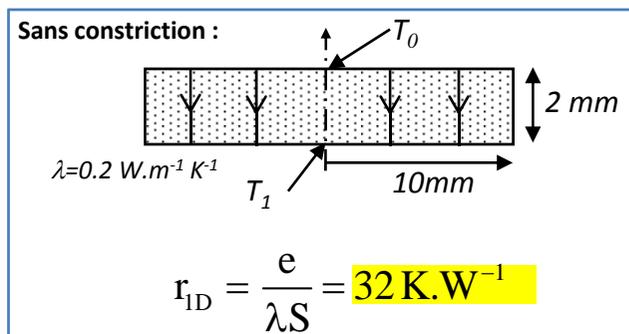
$$r_{\text{constriction}} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{T_0 - T_\infty}{q}$$

$$r_{\text{constriction}} = \frac{F}{\lambda}$$

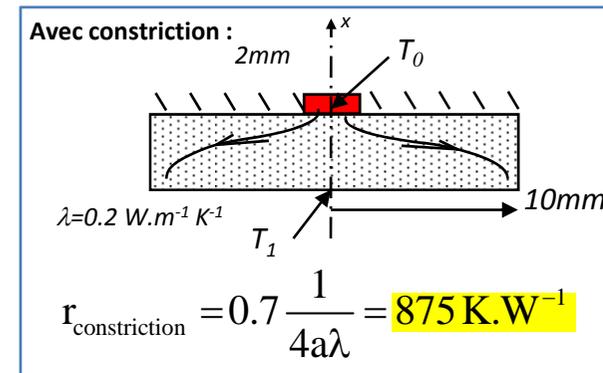
F? :

- $T_0$  imposé :  $F = \frac{1}{4a} = 0.25 \text{ a}^{-1}$
- $q_0$  imposé :  $F = \frac{1}{3\pi^2 a} \cong 0.27 \text{ a}^{-1}$

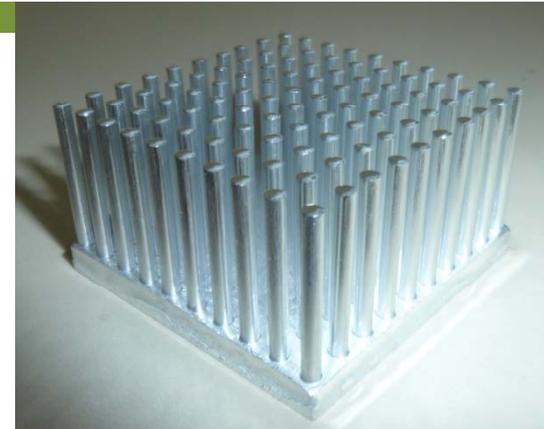
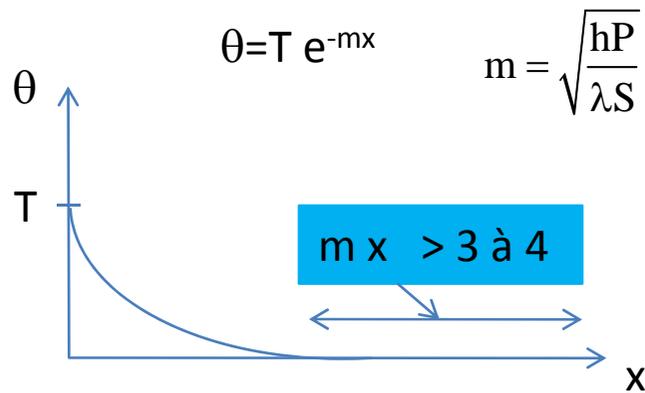
Exemple:



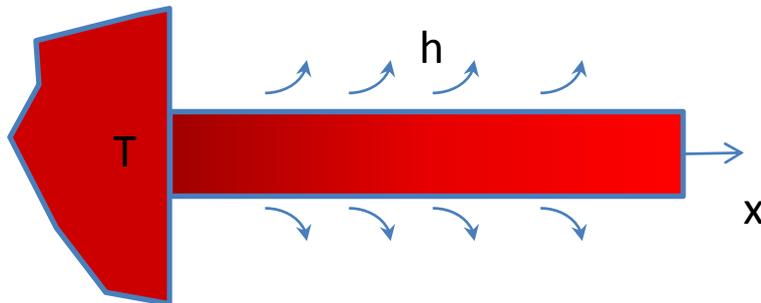
<<



Longueur optimale de l'ailette?



$L_{\text{optimale}} = 3/m \text{ à } 4/m$



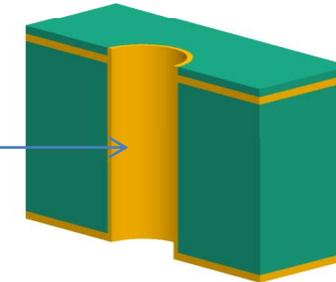
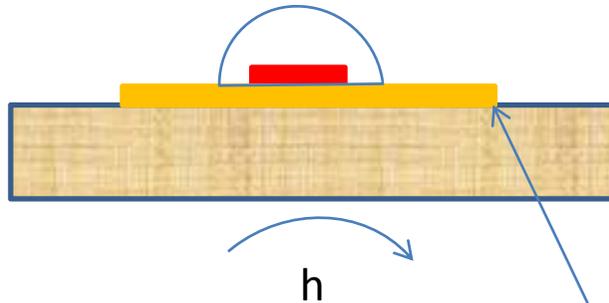
P: périmètre de l'ailette  
S: section de l'ailette

Exemple:  $2a = 3\text{mm}$        $S = \pi a^2$   
 $\lambda = 160 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}(\text{alu})$        $P = 2\pi a$   
 $h = 5 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$

→  $m = 0.2$

$L_{\text{optimale}} = 15 \text{ à } 20 \text{ mm}$

# Quelques règles de l'art pour améliorer l'efficacité des transferts

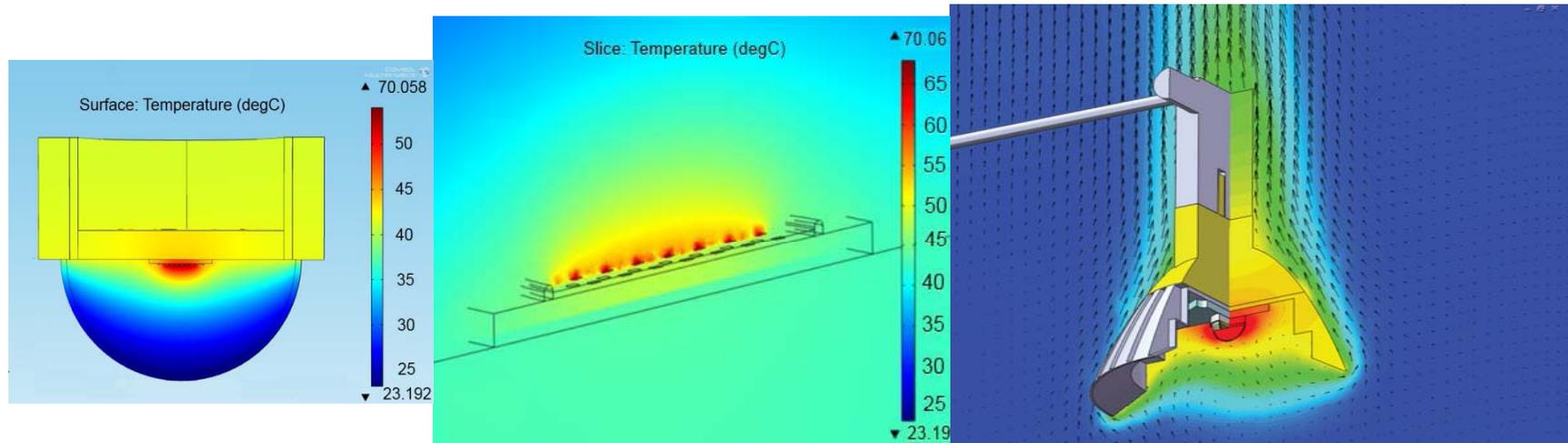


- Insérer des drains thermiques
- Usage de substrat métallique
- Améliorer les contacts thermiques ( $R_c \downarrow$ ) : graisse thermique, réduire les irrégularités de surface,  $\uparrow$  pression de contact...
- Augmenter l'émissivité thermique (pour les surfaces métalliques polies)
- Intensifier le refroidissement (ailettes, ventilateur, caloduc...)

Stratégie: Réduire en priorité les plus fortes résistances thermiques !



- Quels modes de transfert prend en compte le logiciel ?
- Quelle est la pertinence des valeurs attribuées aux différents paramètres des équations (hypothèses simplificatrices)
- Si possible, valider les résultats par rapport à une réalisation expérimentale





Merci de votre attention

