



Problématiques de transferts aux interfaces dans Constellium

Ph. Jarry, V. Duhoux
Constellium C-TEC

GDR TRANSINTER
Aussois, 16 décembre 2019

Constellium at a glance

- Global leader in the design and manufacture of a broad range of rolled and extruded aluminium products

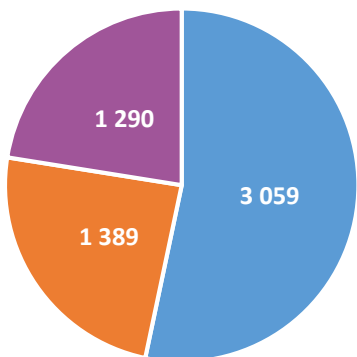


- Organized into three business units:

- Packaging and Automotive Rolled Products
- Aerospace and Transportation
- Automotive Structures and Industry

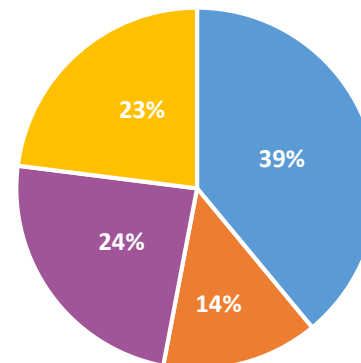
- Focused on three core end markets:

- Aerospace
- Automotive
- Packaging



2018 revenues by business unit (in millions of euros)

- Packaging and Automotive Rolled Products
- Aerospace and Transportation
- Automotive Structures and Industry



2018 revenues per end market (in percentage)

- Packaging
- Aerospace
- Automotive
- Other

Leader in value-add downstream Aluminium products



Aluminium Suppliers

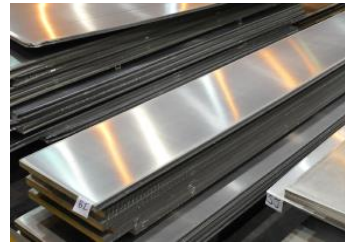
Aluminium Smelters

Aluminium Recyclers



Value-Add Downstream Aluminium Products

Rolled products



Extrusions



Automotive structures



Customers

Automotive



Aerospace



Packaging



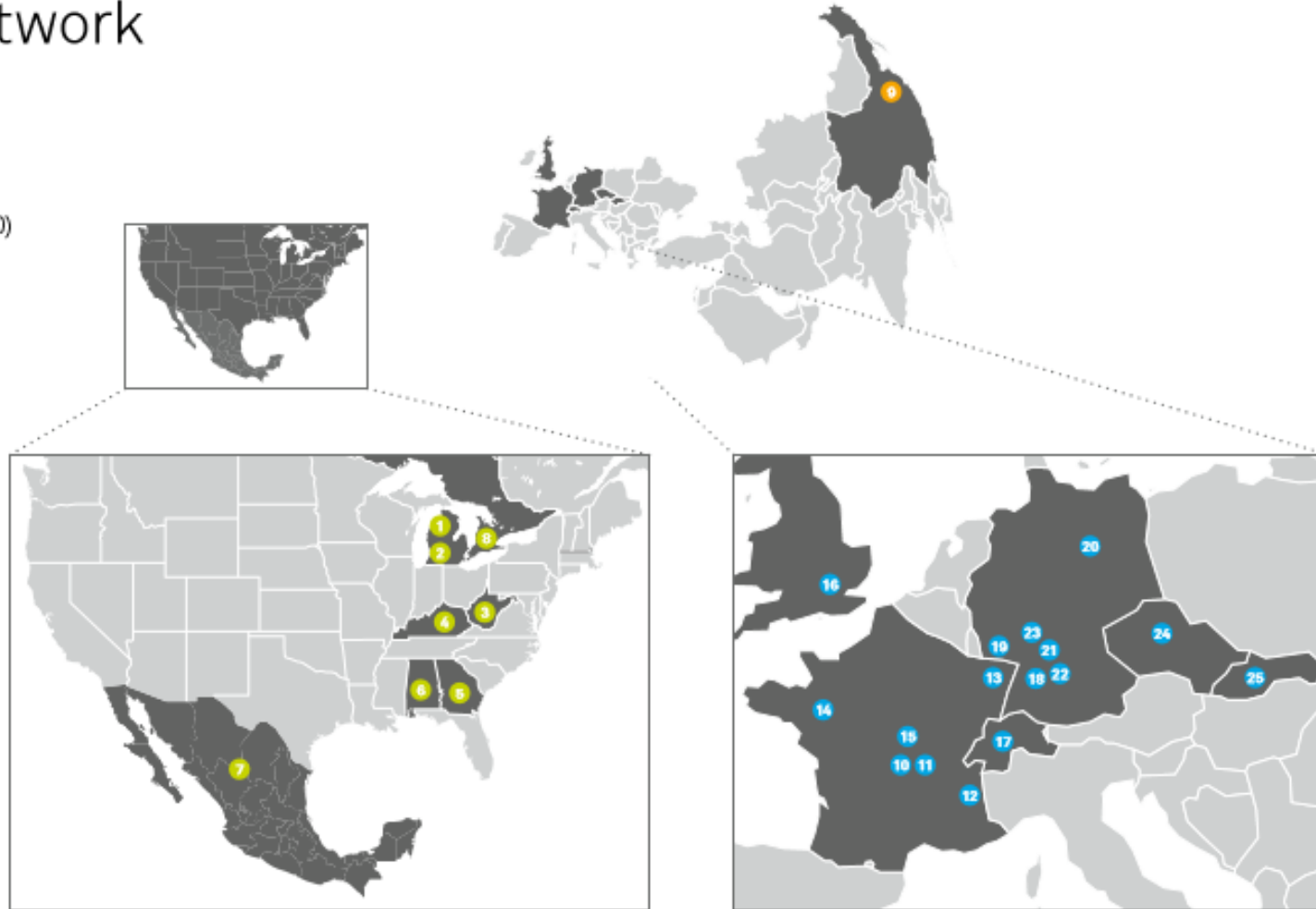
Specialties, Transportation, Industry, Defense

- Auto Body Sheet
- Heat exchangers
- Auto Body Structures
- Crash Management Systems
- Battery boxes
- Airware®
- Fuselage sheets
- Wingskins
- Pre-machined parts
- Bottle cans
- Closures
- Coffee capsules

A global network – 12 casthouses in Europe and the USA

A global network

- 1 **Plymouth, MI, U.S.** (R&D)
- 2 **Van Buren, MI, U.S.**
- 3 **Ravenswood, WV, U.S.**
- 4 **Bowling Green, KY, U.S.**
- 5 **White, GA, U.S.**
- 6 **Muscle Shoals, AL, U.S.**
- 7 **San Luis Potosi, Mexico**
- 8 **Lakeshore, ON, Canada**
- 9 **Changchun, Jilin Province, China**

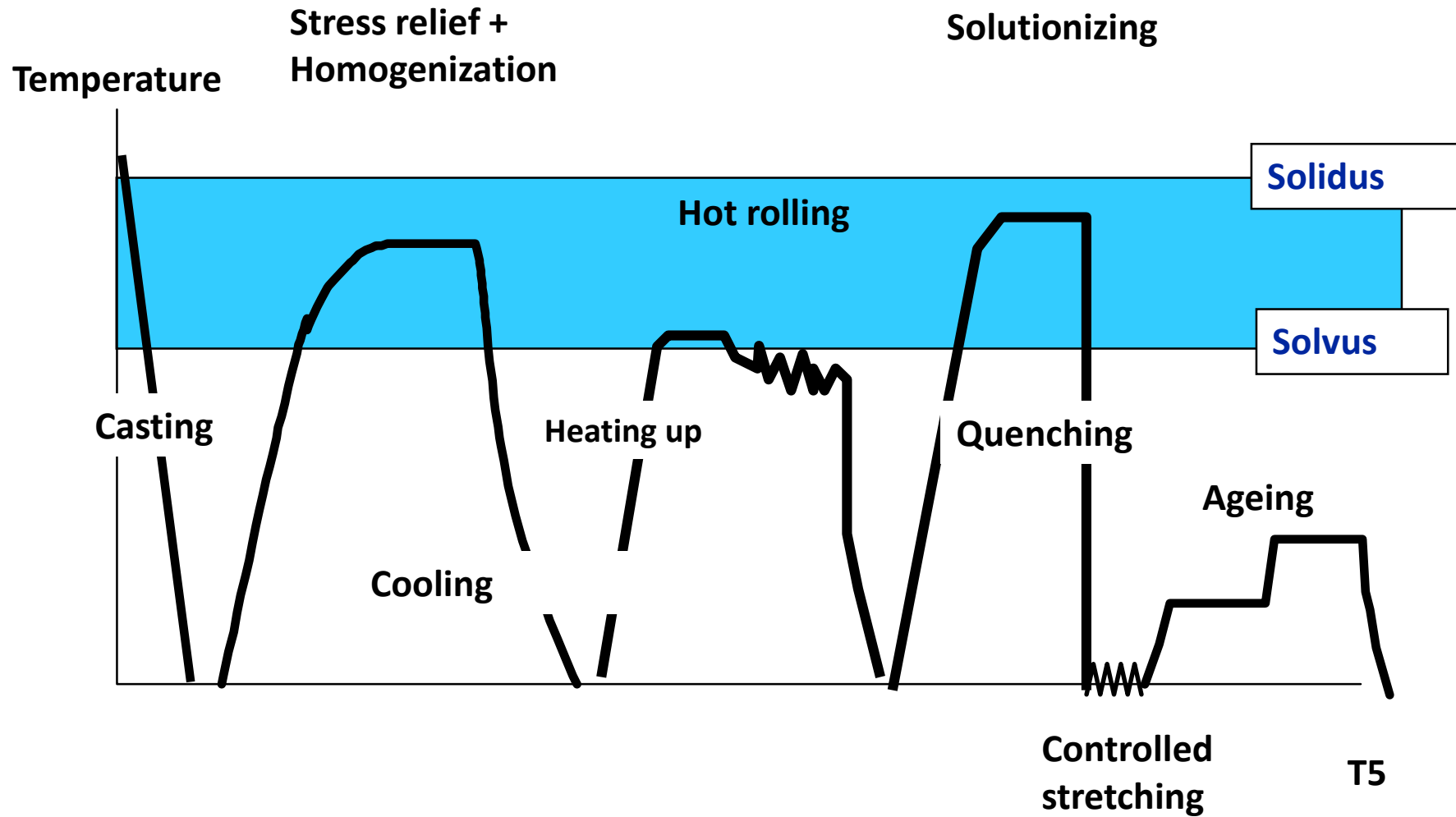


- 10 **Ussel, France**
- 11 **Issoire, France**
- 12 **C-TEC, France (R&D)**
- 13 **Neuf-Brisach, France**
- 14 **Montreuil Juigné, France**
- 15 **Nuits-Saint-Georges, France**
- 16 **Constellium UTC, Brunel University London, U.K. (R&D)**
- 17 **Valais, Switzerland**
- 18 **Singen, Germany**
- 19 **Landau, Germany**
- 20 **Burg, Germany**
- 21 **Crailsheim, Germany**
- 22 **Gottmadingen, Germany**
- 23 **Dahenfeld, Germany**
- 24 **Děčín, Czech Republic**
- 25 **Levice, Slovakia**

Plant with casthouses

- The only company with two leading aerospace facilities in North America and Europe
- Strategically located, best-in class packaging and automotive plants
- Extensive network of extrusion facilities

Gamme de fabrication de tôles aéronautiques



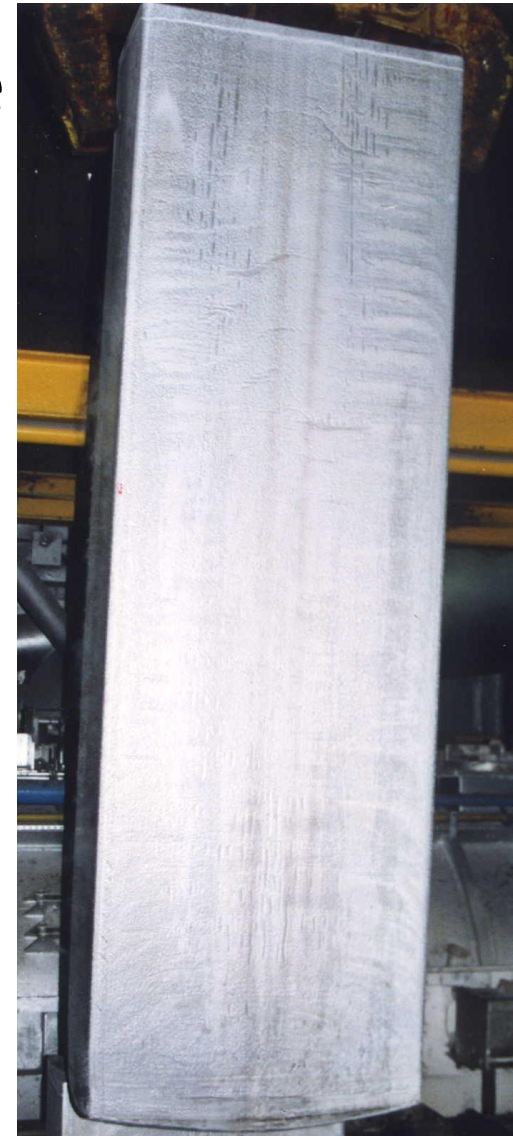


Problématiques thermiques actuelles en coulée semi-continue verticale

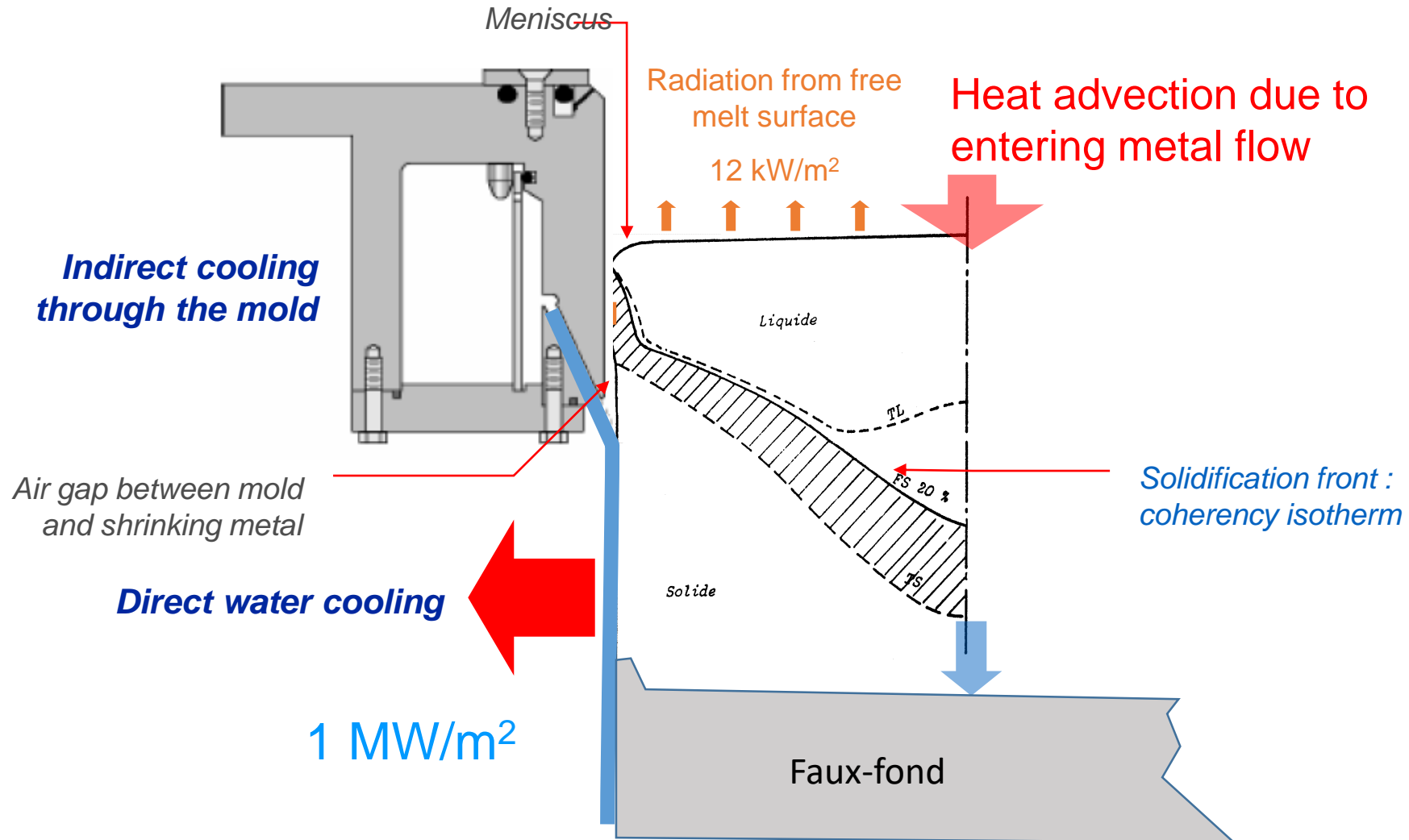
Transfert thermique en coulée semi-continue verticale

Plan de la présentation

1. Qu'est-ce que la coulée semi-continue verticale?
2. Phénomènes thermomécaniques transitoires au démarrage
3. Comment extraire moins de chaleur? La caléfaction
4. Solutions techniques de moules: jets multiples, interactions entre jets, le paradoxe des faibles débits en comparaison des forts débits
5. Importance de la qualité de l'eau
6. Conclusion: vers l'explicitation des lois d'échange thermique en caléfaction en configuration de ruissellement.



Plaques = lingots de laminage
longueur 3.5 à 9 m;
largeur 1 à 2.5 m;
ép. 300 à 700 mm



Phénomènes thermomécaniques transitoires au démarrage de la coulée: la cambrure du pied de plaque



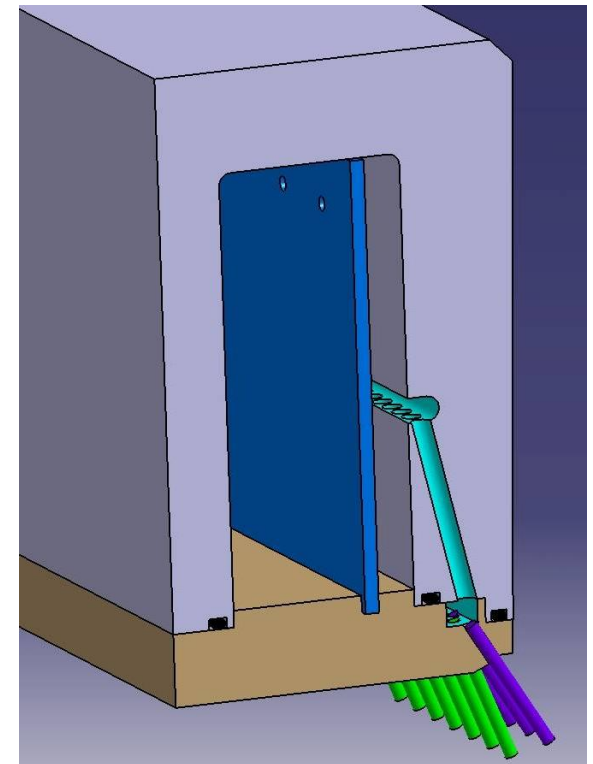
Quand la périphérie de la plaque sort du moule et est exposée au refroidissement direct par l'eau, la vitesse de croissance de l'épaisseur solidifiée en périphérie augmente brusquement. Le retrait volumétrique à solidification est alors accommodé par la déformation de la semelle dont la solidification au contact du faux-fond reste nettement plus lente. C'est la cambrure.

Pour minimiser la cambrure, on s'efforce de diminuer le flux extrait par l'eau, en recherchant les conditions d'obtention d'un régime de caléfaction.

Vidéo démarrage de coulée

Technologies de moules pour faciliter l'obtention de caléfaction au démarrage

- L'industrie de la coulée d'aluminium utilise aujourd'hui des moules à trous, non des buses de pulvérisation.
- Design des trous de façon à ce que :
 - L'on puisse abaisser le débit suffisamment pour que la température de Leidenfrost soit compatible avec les températures de solidification des alliages d'Al.
 - La zone d'impact soit suffisamment étendue pour minimiser le flux thermique local et le gradient thermique associé → double rangée de jets.
 - Les angles des jets soient tels qu'ils évitent les rebonds, favorisés par la caléfaction.



S. J. Slayzak

R. Viskanta

F. P. Incropera

Heat Transfer Laboratory,
School of Mechanical Engineering,
Purdue University,
West Lafayette, IN 47907

Effects of Interactions Between Adjoining Rows of Circular, Free-Surface Jets on Local Heat Transfer From the Impingement Surface

Experiments have been conducted to obtain single-phase local heat transfer coefficient distributions associated with impingement of one or two rows of circular, free-surface water jets on a constant heat flux surface. The nozzle diameter, the centerline-to-centerline distance between nozzles in a row, and the nozzle-to-heater separation distance were fixed at 4.9, 6.3, and 89.7 mm, respectively. Two row-to-row separations (81 and 51 mm) were considered, and nozzle discharge Reynolds numbers were varied over the range from 16,800 to 30,400. The interaction zone created by opposing wall jets from adjacent rows is characterized by an upwelling of spent flow (an interaction fountain) for which local coefficients can approach those of the impingement zones. Interactions between wall jets associated with nozzles in one row can create sprays that impact the adjoining row with sufficient momentum to induce a dominant/subordinate row behavior. In this case the interaction zone is juxtaposed with the subordinate row, and local coefficients in the impingement and wall jet regions of the affected row may be significantly enhanced. This result contrasts with the deleterious effects of crossflow reported for submerged jets throughout the literature. Spray-induced enhancements, as well as interaction zone maxima, increase with decreasing row-to-row pitch and with increasing Reynolds number.

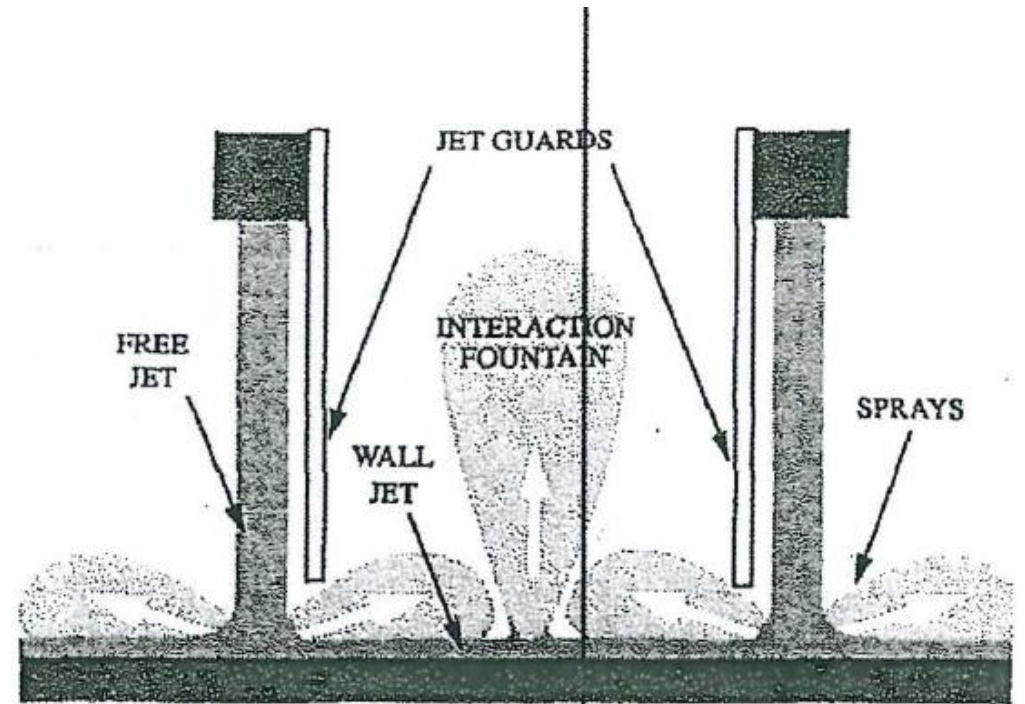
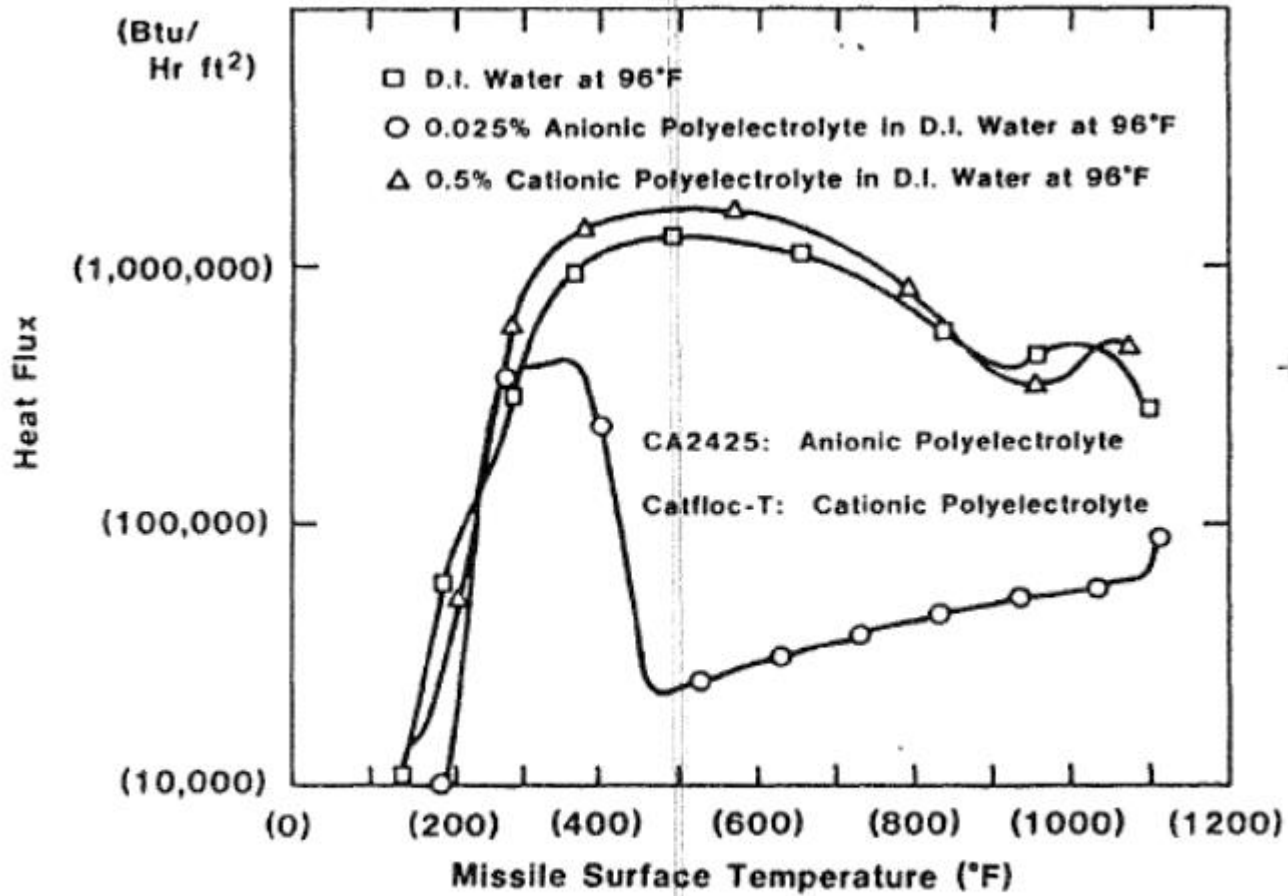


Fig. 3 Positioning of the jet guards

La tendance à l'augmentation de l'extraction thermique liée à l'interaction dynamique entre jets est inversée dans le régime de caléfaction !



Mais la chimie de l'eau joue un rôle majeur...



**Effect of Surface Charge
on Natural Convection Quenching**

OH⁻ is an electric dipole which tends to adsorb preferentially at the water/vapour interface, concomitantly with the loss of part of its hydration shell, which creates a surface charge.

Vapour bubbles may therefore repulse each other, promoting nucleate boiling, all the more at higher pH

Les forces électrostatiques jouent un rôle prépondérant dans la coalescence des bulles de vapeur qui conduit à la caléfaction

“small hard ions behave classically with monotonic surface distributions, but salts comprising a sufficiently polarizable anion exhibit a non-monotonic surface distribution. In that case, the anions are enhanced at the outermost liquid layer but depleted in the next sublayer, where the cations, in turn, are enhanced”.

Therefore, the surface electric charge may be increased or decreased, depending upon steric occupation of the considered ions.

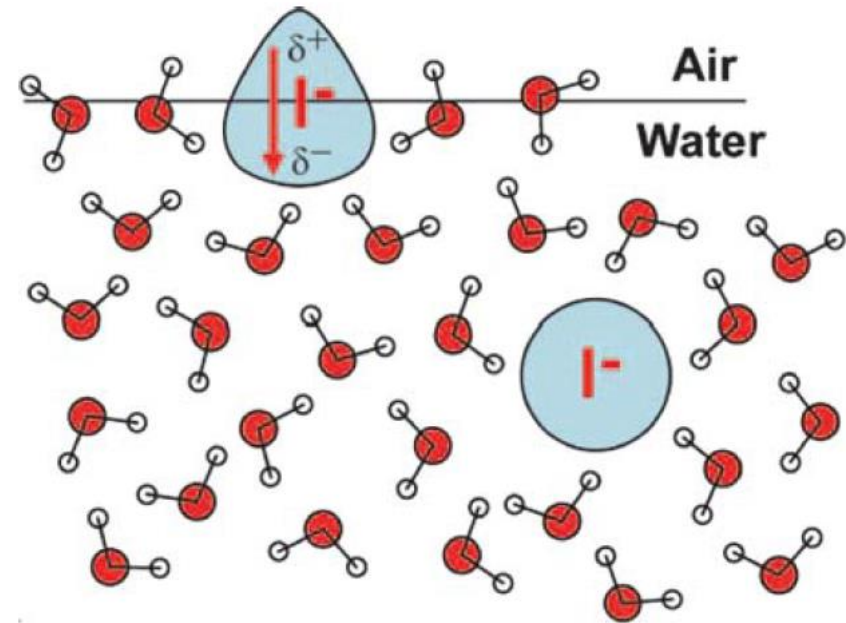


Figure 10 Surface structure of iodide. Due to the high polarizability, a dipole is induced in the otherwise spherical iodide anion at the surface. The attractive interaction between the induced surface dipole and the surrounding water molecules compensates for the electrostatic repulsion and the loss of solvation energy.



Notre ambition:

Identifier les lois d'échange thermique en caléfaction de façon à les intégrer à nos modèles numériques du transitoire de démarrage des coulées.

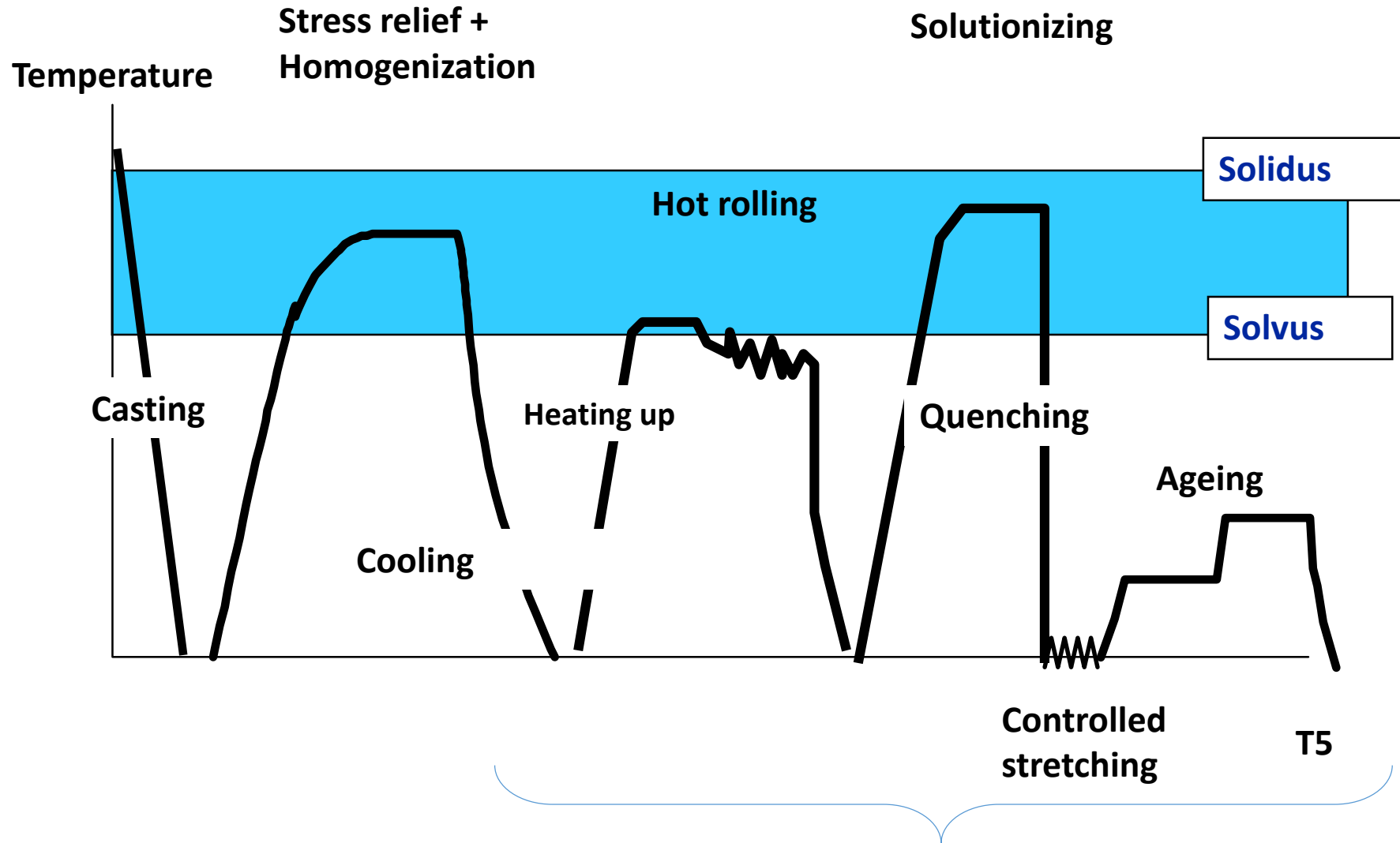
Les lois d'échanges devraient prédire le flux thermique en caléfaction et la température de Leidenfrost en fonction:

- du débit d'eau
- de l'angle d'incidence des jets
- de la température et de la qualité de l'eau



Problématiques thermiques actuelles dans le domaine de la trempe

Gamme de fabrication de tôles aéronautiques



Diversité des techniques de trempe
2 grandes familles : immersion et pulvérisation



Diversité des procédés de trempe

- Le liquide de trempe
 - Eau de nappe → composition dépendante du lieu
 - Eau désionisée → stabilité de la composition
 - Des éventuels additifs polymères type « aquaquench » pour l'immersion
 - Emulsion (eau + huile + tensio-actifs) → chaque « sauce » a un comportement thermique à la trempe différent
- Diversité des conditions de trempe en termes de:
 - compositions chimiques et température du liquide
 - granulométries et des vitesses des gouttes à l'impact, via la technologie de pulvérisation et le réglage débit / pression du liquide de trempe
 - angles d'impact gouttes / produit
 - présence de ruissellement ou pas
- Diversité des produits trempés (épaisseurs typiques)
 - Des plateaux épais (500 mm), des tôles fortes (20 - 100 mm), des bandes minces (2 mm)
 - Des profilés

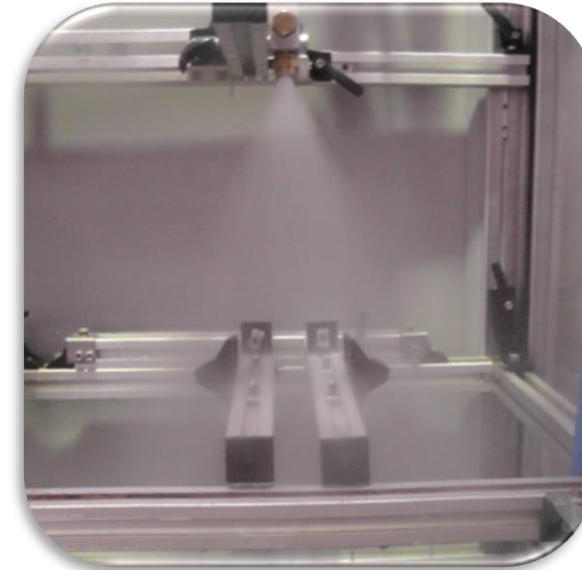
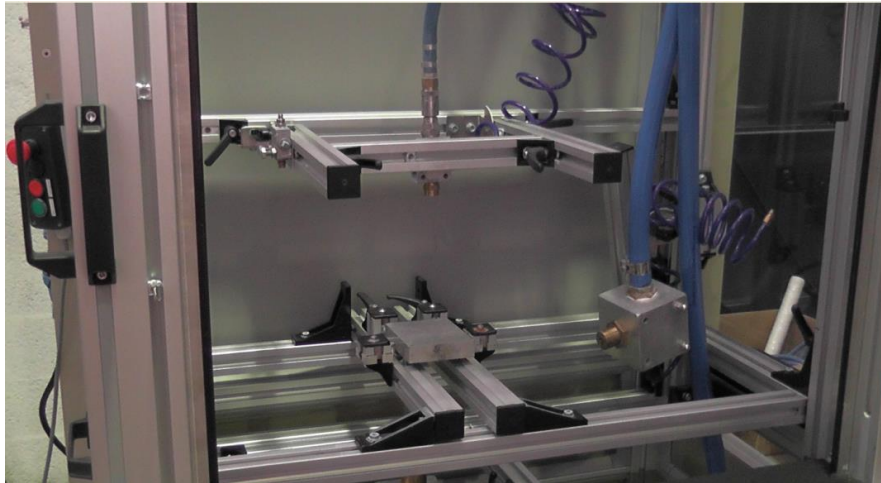


Enjeux de la modélisation thermique des procédés de trempe

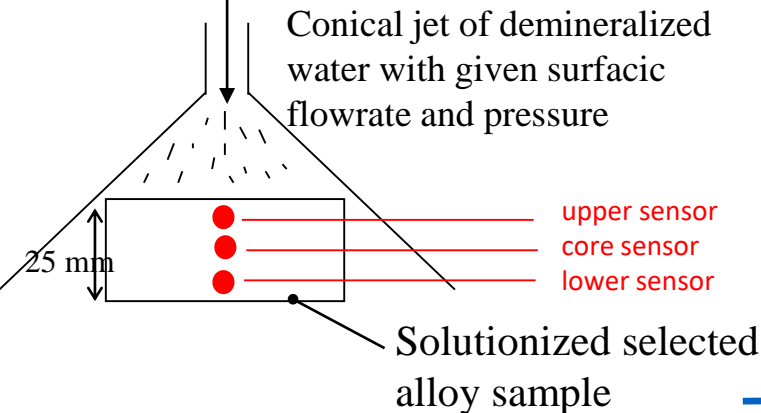
- Objectif : maîtriser le chemin thermique vu par le produit lors d'un procédé de trempe:
 - Pour mettre **sous contrôle** les caractéristiques métallurgiques du produit (performances mécaniques, tenue à la corrosion...).
 - Notion de robustesse du procédé fiable et reproductible
- En compromis avec
 - Les déformations thermomécaniques du produit
 - Les contraintes internes résiduelles du produit

Approche de modélisation thermique des procédés de trempe

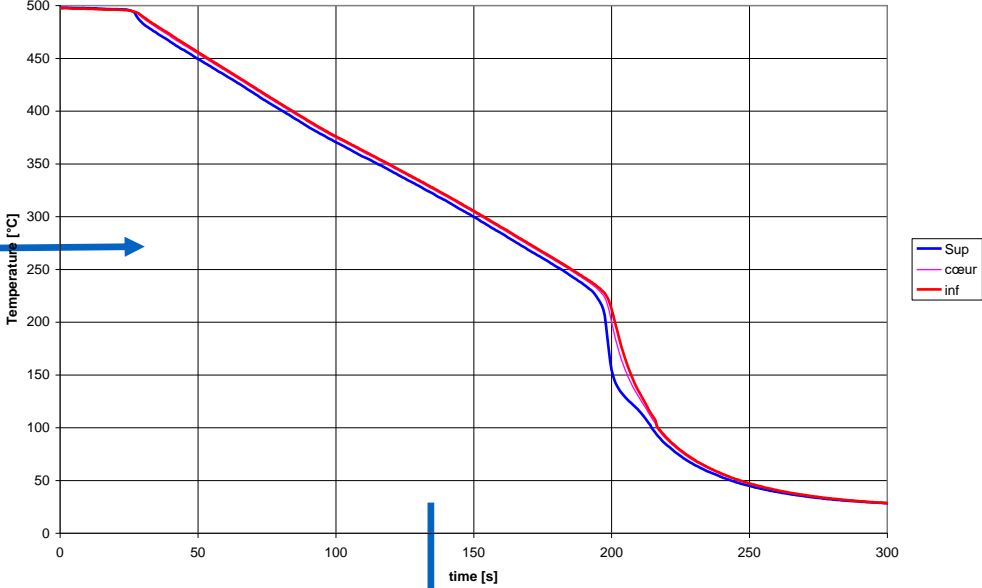
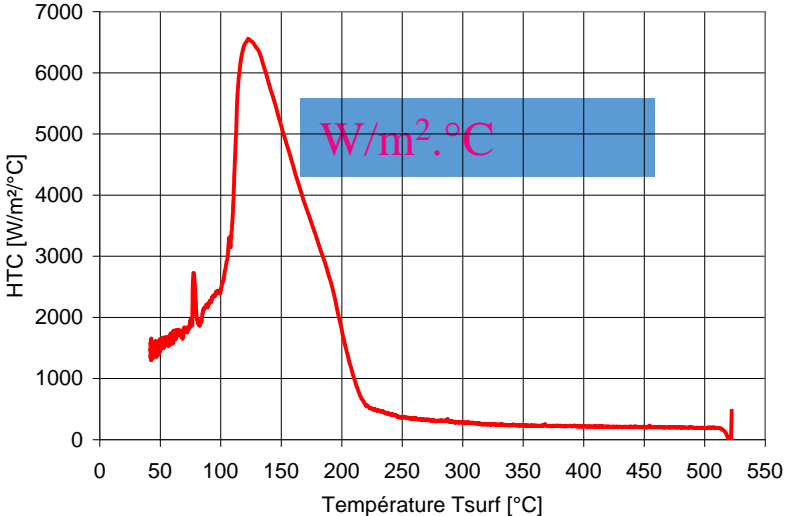
- Modèles thermiques (et thermomécaniques) simples 0D à 3D selon la géométrie du produit
 - Alimentés par base de données de lois d'échange thermique fluide / paroi empiriques
 - $HTC = f(T^{\circ} \text{ paroi})$ ou $f(T^{\circ} \text{ paroi}, \text{ position})$ vs technologie, fluide, Q_s , alliage
- Pas d'approche de calcul direct de loi d'échange, évaluée non mûre pour garantir une précision des flux extraits modélisés meilleure que +/- 10%



Détermination HTC par méthode inverse 1D



HTC(T) ?



1D Inverse method for HTC calculation (function of T_{surface})



Les attentes

- Progresser dans notre capacité à identifier les lois d'échanges en situation complexe, du type :
 - Jet plat ou conique impactant une surface plane horizontale ou verticale
 - en différenciant zone d'impact, puis zone de ruissellement
 - en fonction de l'angle d'impact du jet ou du spray
- Développement de nouvelles techniques expérimentales et d'outils numériques d'inversion
- Une contrainte : les alliages d'aluminium présentent un faible émissivité
 - Techniques pyrométriques IR (pyromètre et caméra) difficiles à mettre en œuvre.