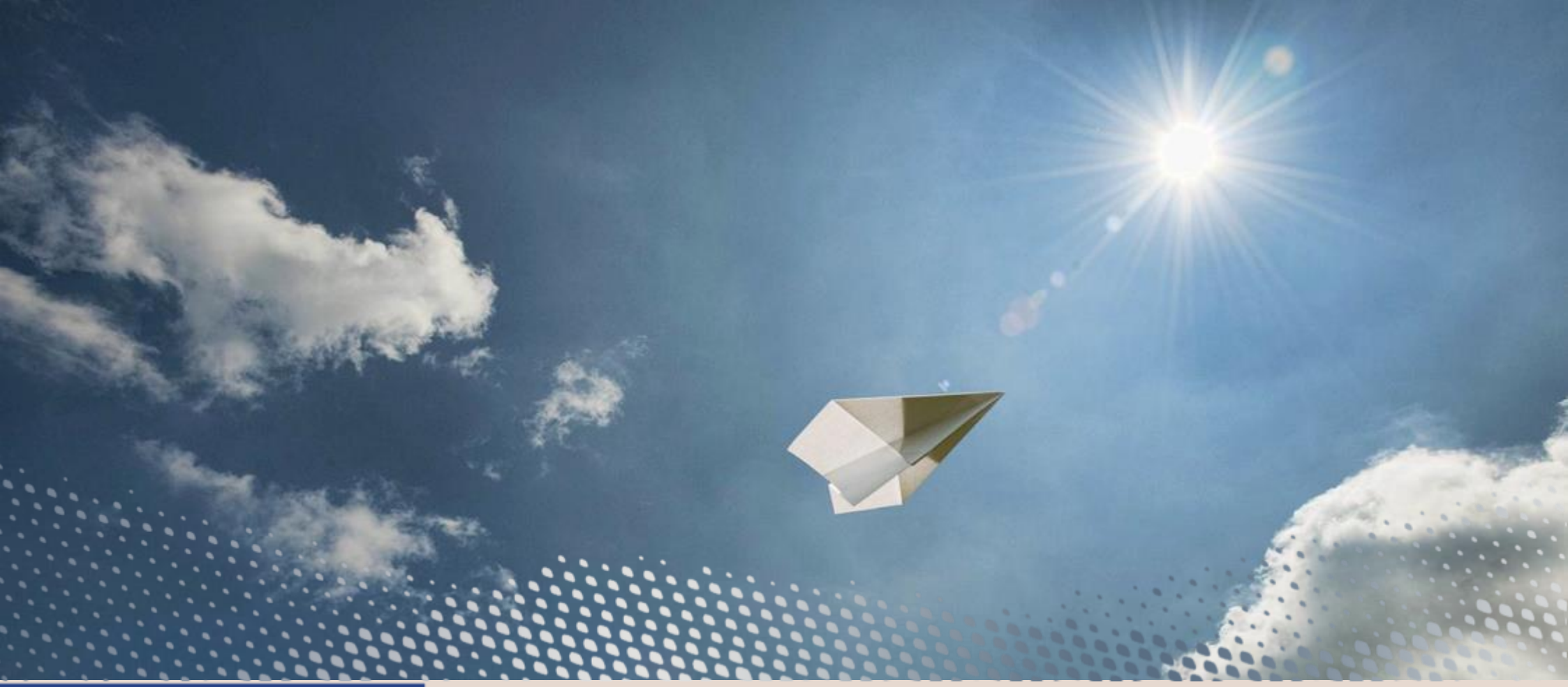


Expériences de caractérisation des échanges thermiques pour la simulation numérique du soudage

Dominique Deloison (Airbus), Daniel Nélias (INSA Lyon)

AIRBUS GROUP

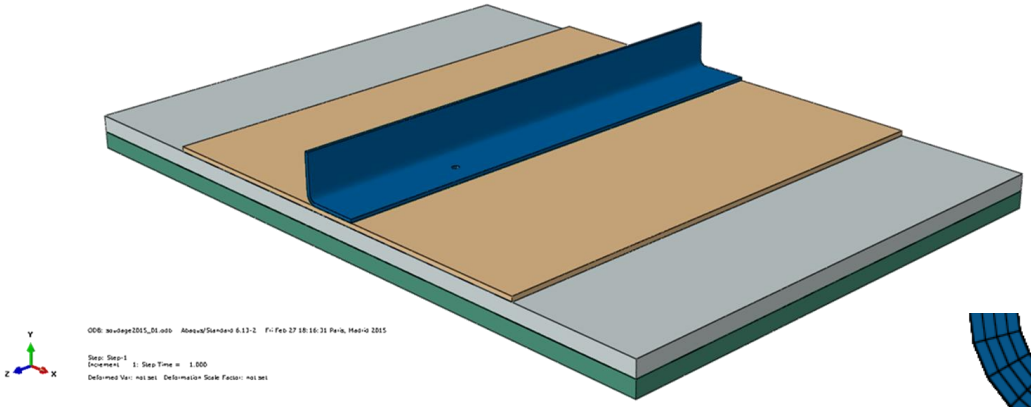
Contributeurs

INSA: J.F. Jullien
D. Nélias
E. Josserand
M. Zain

Airbus Group Innovations:
F. Marie
F. Vinhas

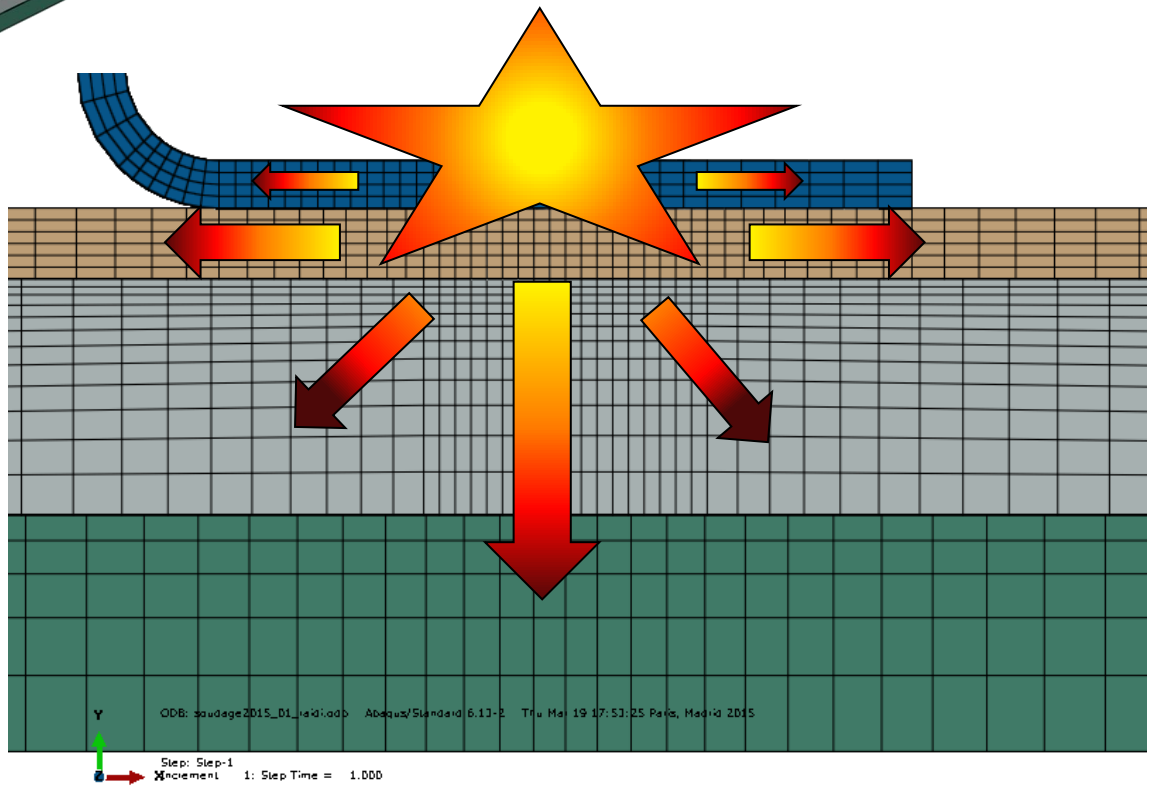
Stelia Aerospace :
D. Chartier

Simulation thermique du soudage



Source ??

Echanges ??

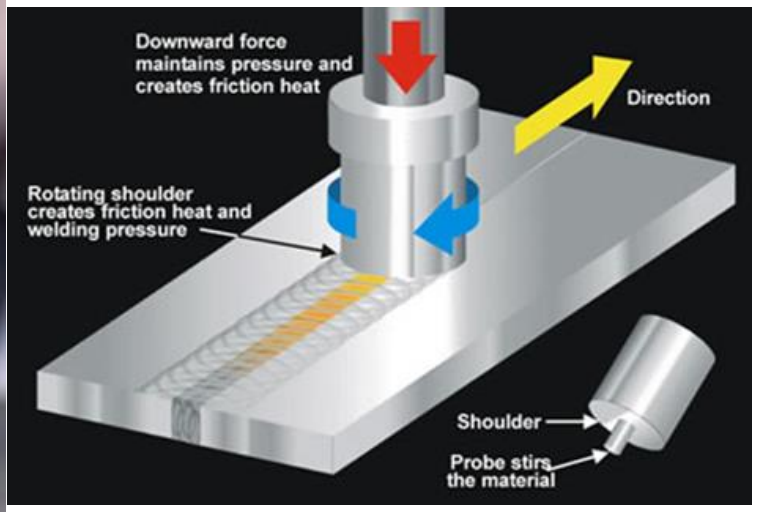


Procédés de soudage pour le fuselage

Soudage laser d’un panneau de fuselage (Premium Aerotec)

Procédés de soudage pour le fuselage

Soudage d'une nervure par Friction Stir Welding



ESAB

Expériences instrumentées de soudage Laser

Cadre: Programme multipartite INZAT4 (AREVA, CEA, EADS, EDF, ESI, INSA)

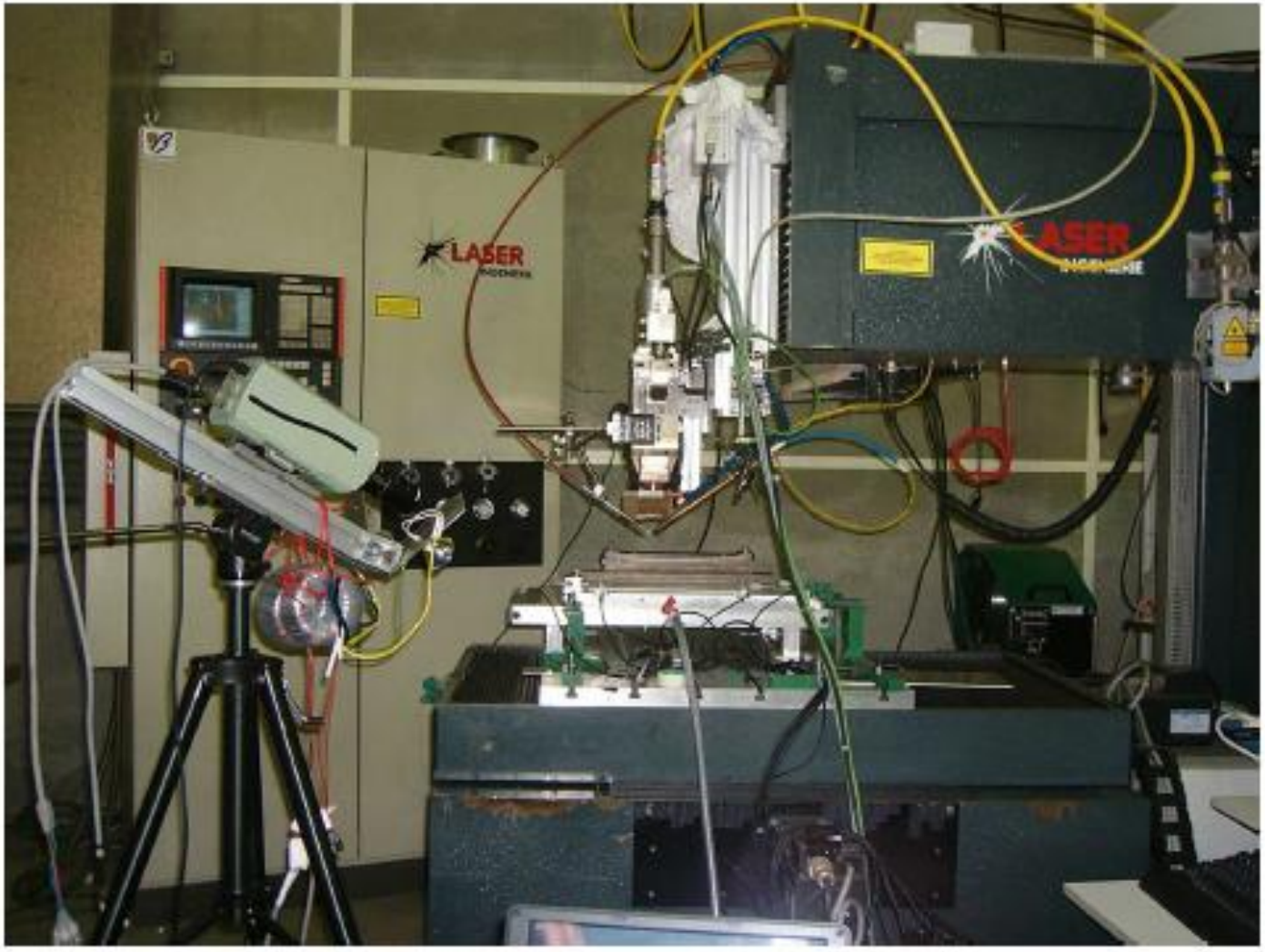
Objectif:

- Fournir les données permettant de caler le modèle thermique,
- Caractériser les échanges thermiques avec les outillages
- Mesurer les distorsions pour pouvoir évaluer la précision des simulations

E. Josserand, J.F. Jullien, D. Nelias, F. Boitout, D. Deloison ,«Numerical Simulation of Welding-Induced Distorsions Taking Into Account Industrial Clamping Conditions», Mathematical Modeling of Weld Phenomena, Graz 2007

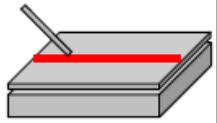
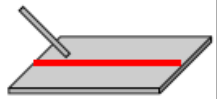
M. Zain-ul-abdein, « Experimental Investigation and Numerical Simulation of Laser Beam Welding Induced Residual Stresses and Distortions in AA6056-T4 Sheets for aeronautic applications », Thèse INSA, 2009

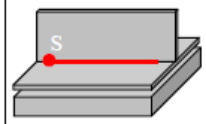
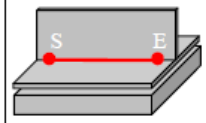
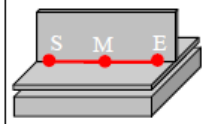
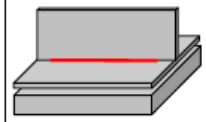
Expériences instrumentées de soudage Laser



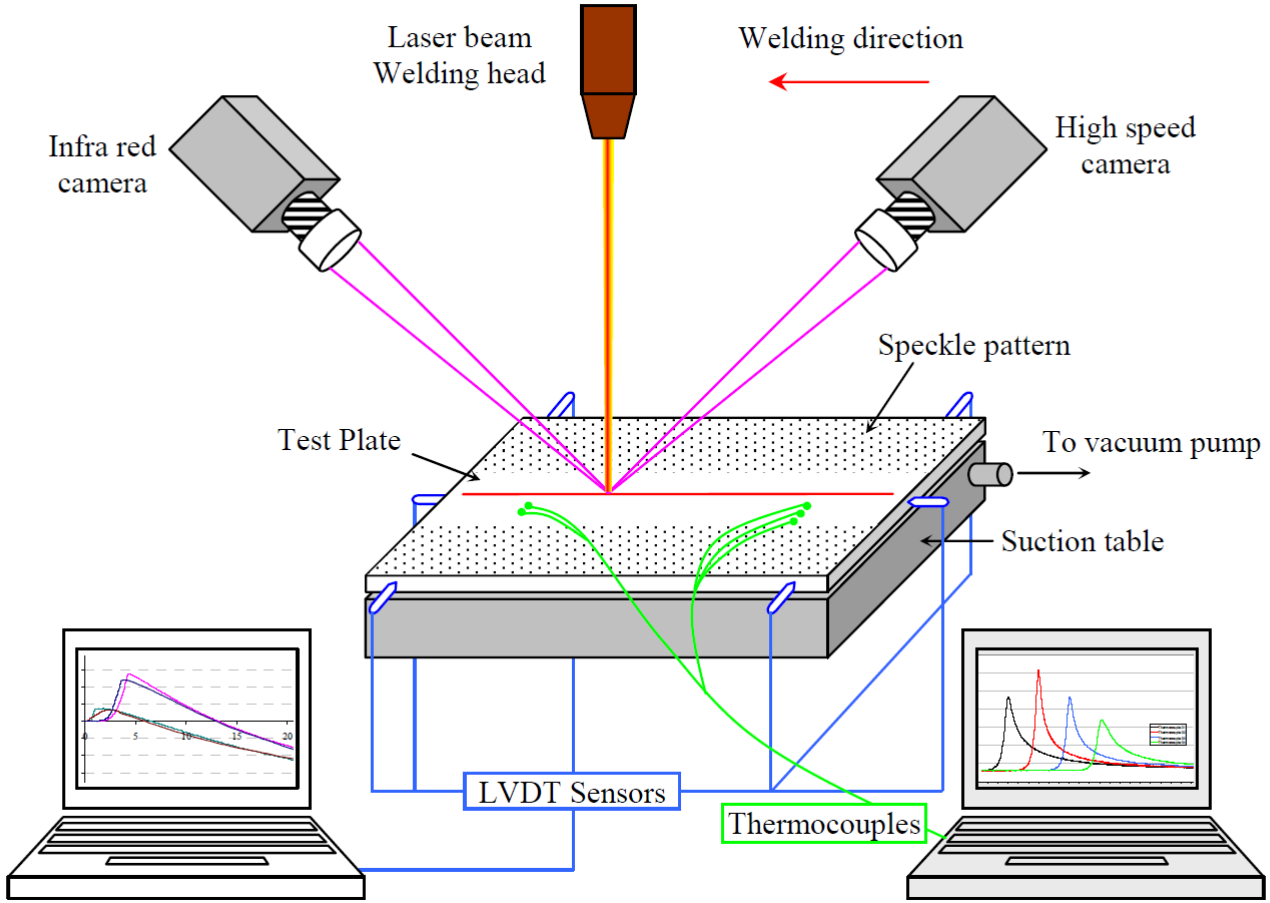
Pôle Laser Bourgogne Technologies, IUT du Creuzot

Expériences instrumentées de soudage Laser

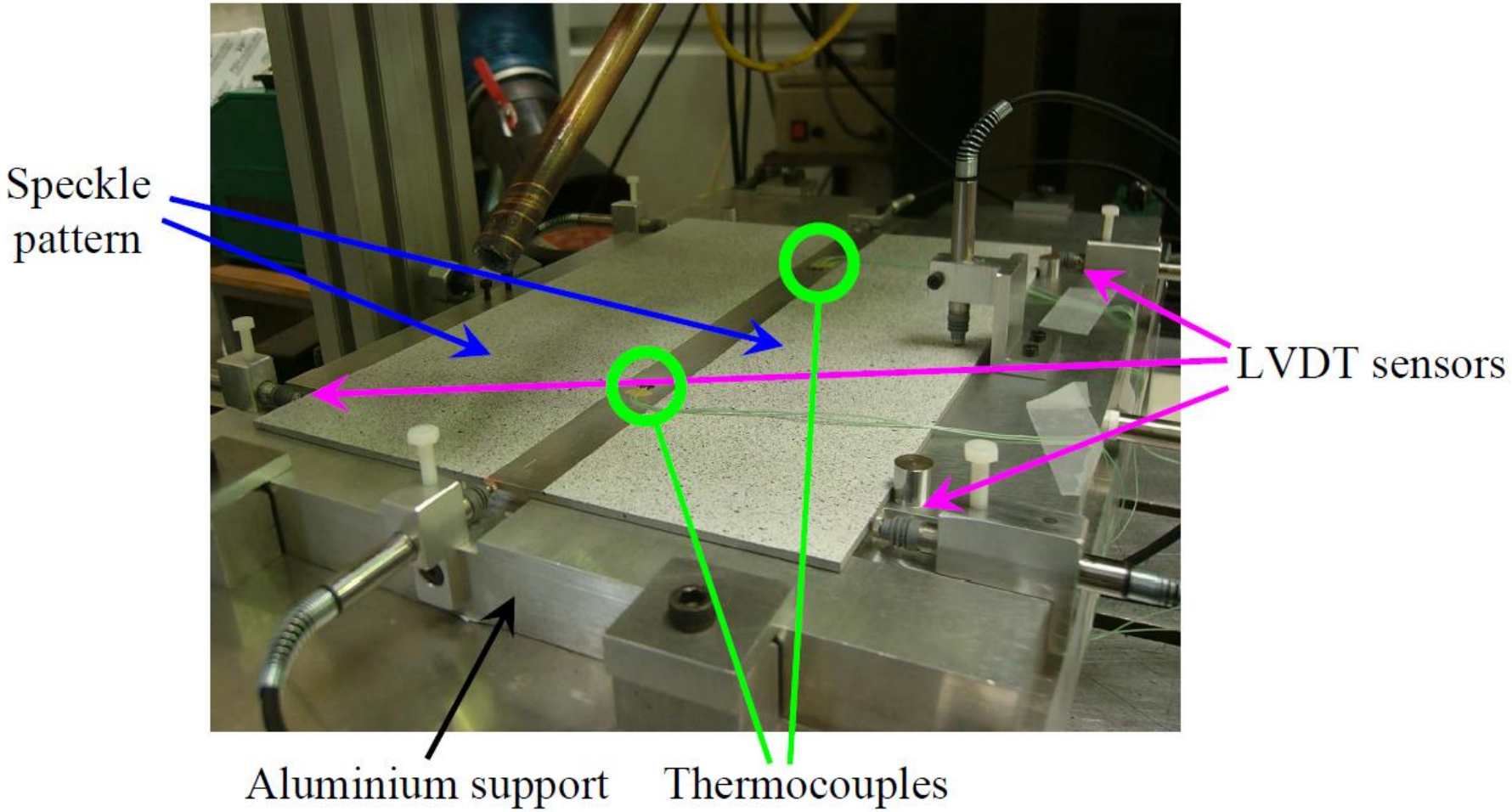
Test Case	Welding Operation	Support	Plates Welded	Welding Parameters	Symbol
01A	Fusion without filler metal	Aluminium	P06 (concave) P14 (convex) P15 (convex)	Power: 2300 W Speed: 8 m/mn	
01B	Fusion without filler metal	No support	P03 (concave) P01 (convex) P12 (convex)	Power: 2300 W Speed: 8 m/mn	
01C	Fusion without filler metal	Aluminium	P20 (convex)	Power: 3000 W Speed: 8 m/mn	
02A	Fusion with filler metal	Aluminium	P07 (concave) P17 (convex) P19 (convex)	Power: 3000 W Speed: 8 m/mn Wire feed: 5 m/mn	
02B	Fusion with filler metal	No support	P04 (concave) P11 (convex) P13 (convex)	Power: 3000 W Speed: 8 m/mn Wire feed: 5 m/mn	

Test Case	Welding Operation	Support	T-joints Welded	Welding Parameters	Symbol
03A	1 Tack at start + Fusion with filler metal	Aluminium	T01 (concave) T02 (convex)	Power (P): 2 x 2500 W Weld Speed: 5 m/mn Ar gas flow rate: 20 l/mn Wire feed rate: 3 m/mn Wire diameter: 1 mm Wire material: Al 4047 Tack length: 5 mm	
03B	1 Tack at start + 1 Tack at end + Fusion with filler metal	Aluminium	T03 (concave) T06 (concave)		
03C	1 Tack at start + 1 Tack at end + 1 Tack in middle + Fusion with filler metal	Aluminium	T05 (concave) T07 (convex)		
03D	No Tacks at all, Only fusion with filler metal	Aluminium	T08 (convex) T09 (convex)		

Expériences instrumentées de soudage Laser



Expériences instrumentées de soudage Laser



Expériences instrumentées de soudage Laser

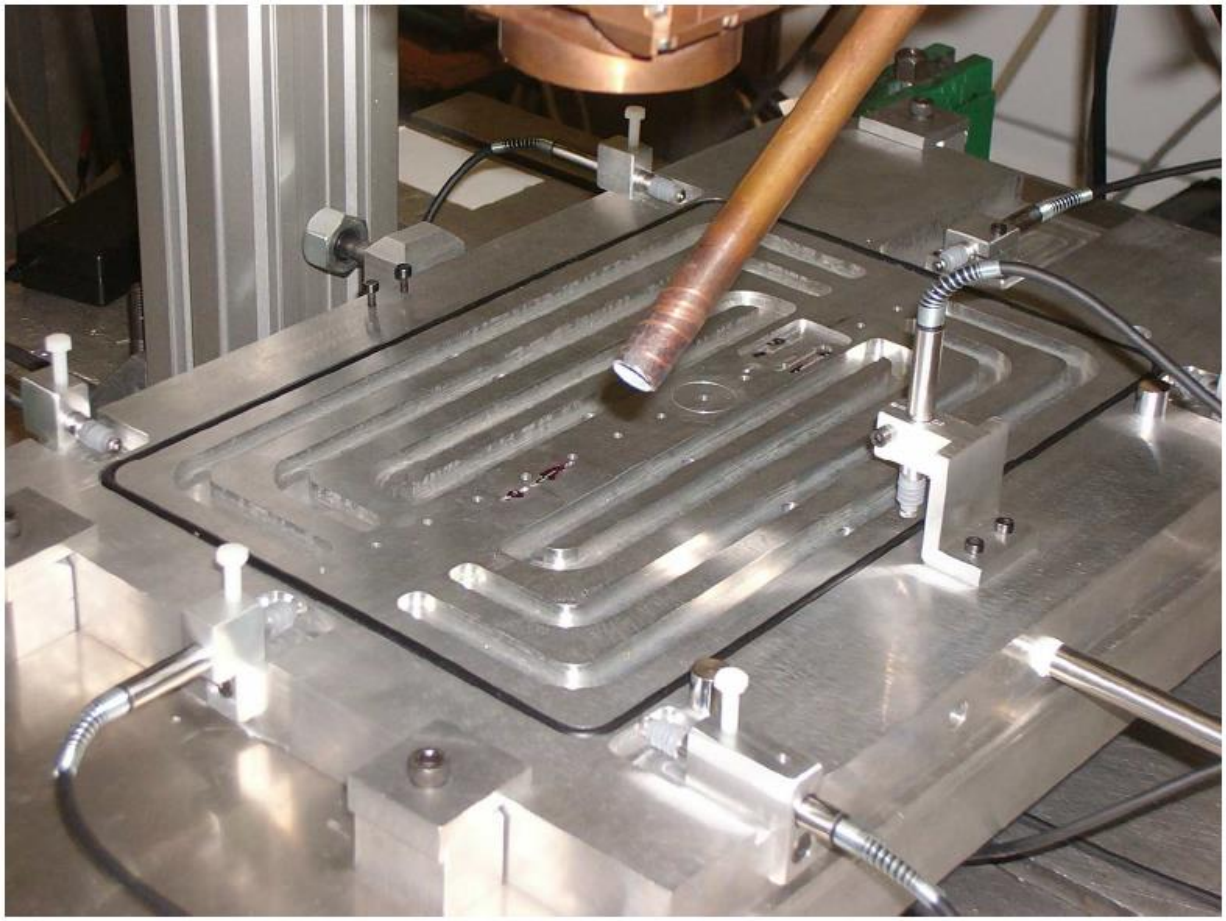


Table à dépression - Aluminium

Expériences instrumentées de soudage Laser

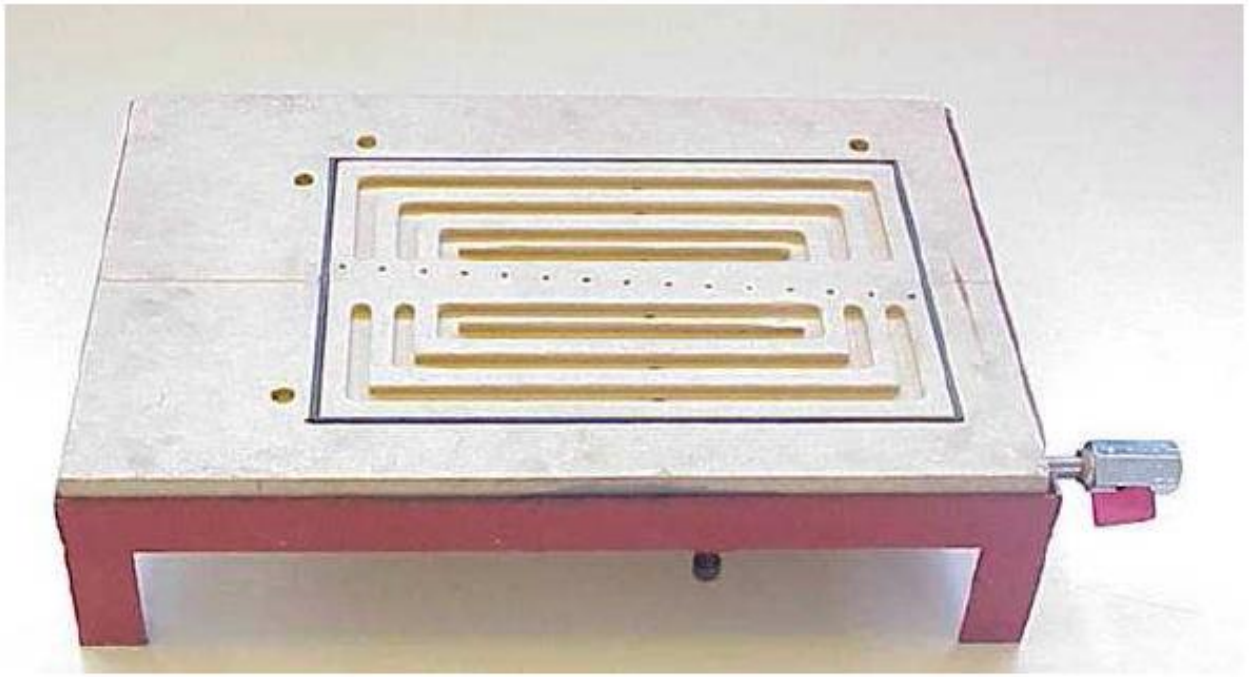
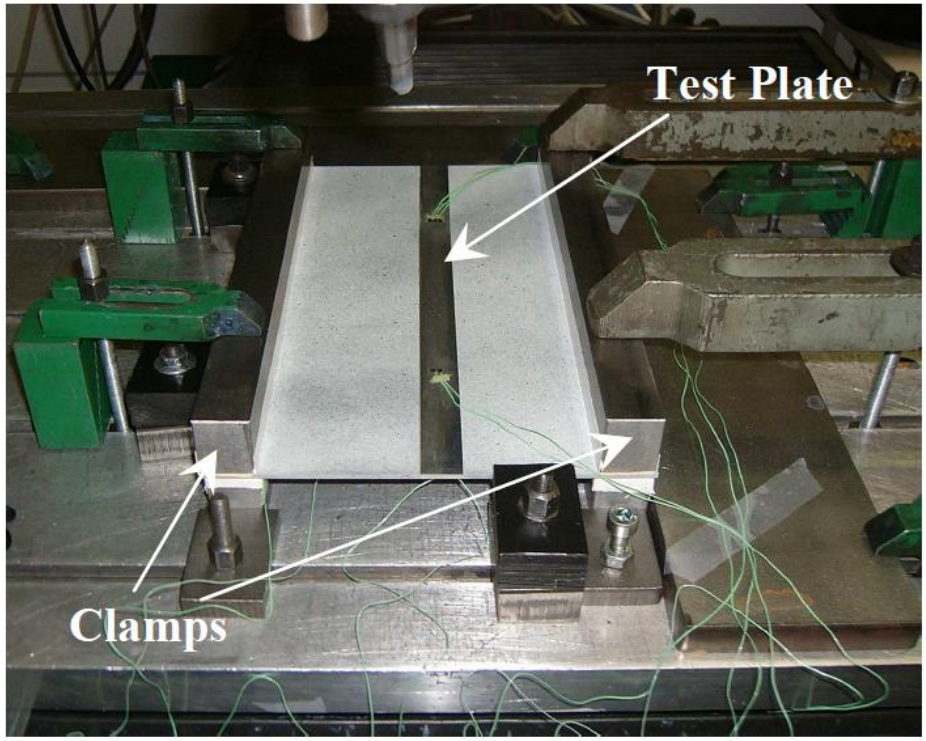
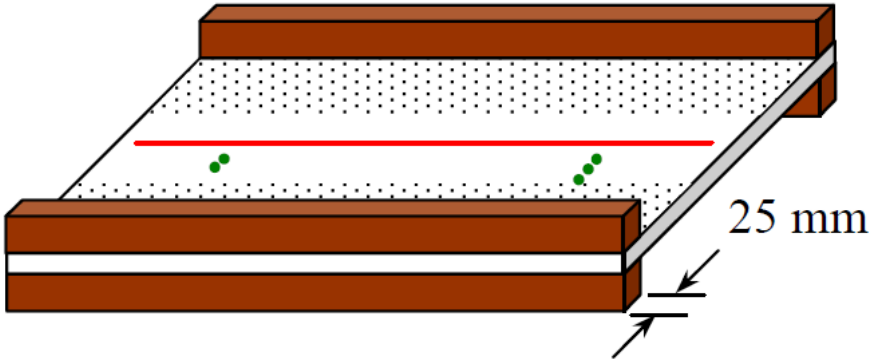
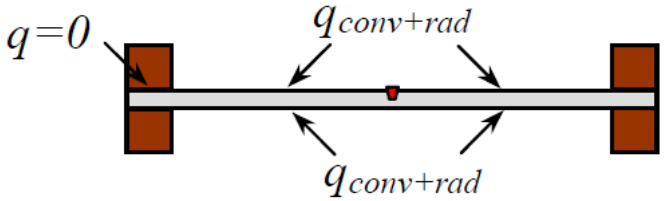


Table à dépression - Bois

Expériences instrumentées de soudage Laser

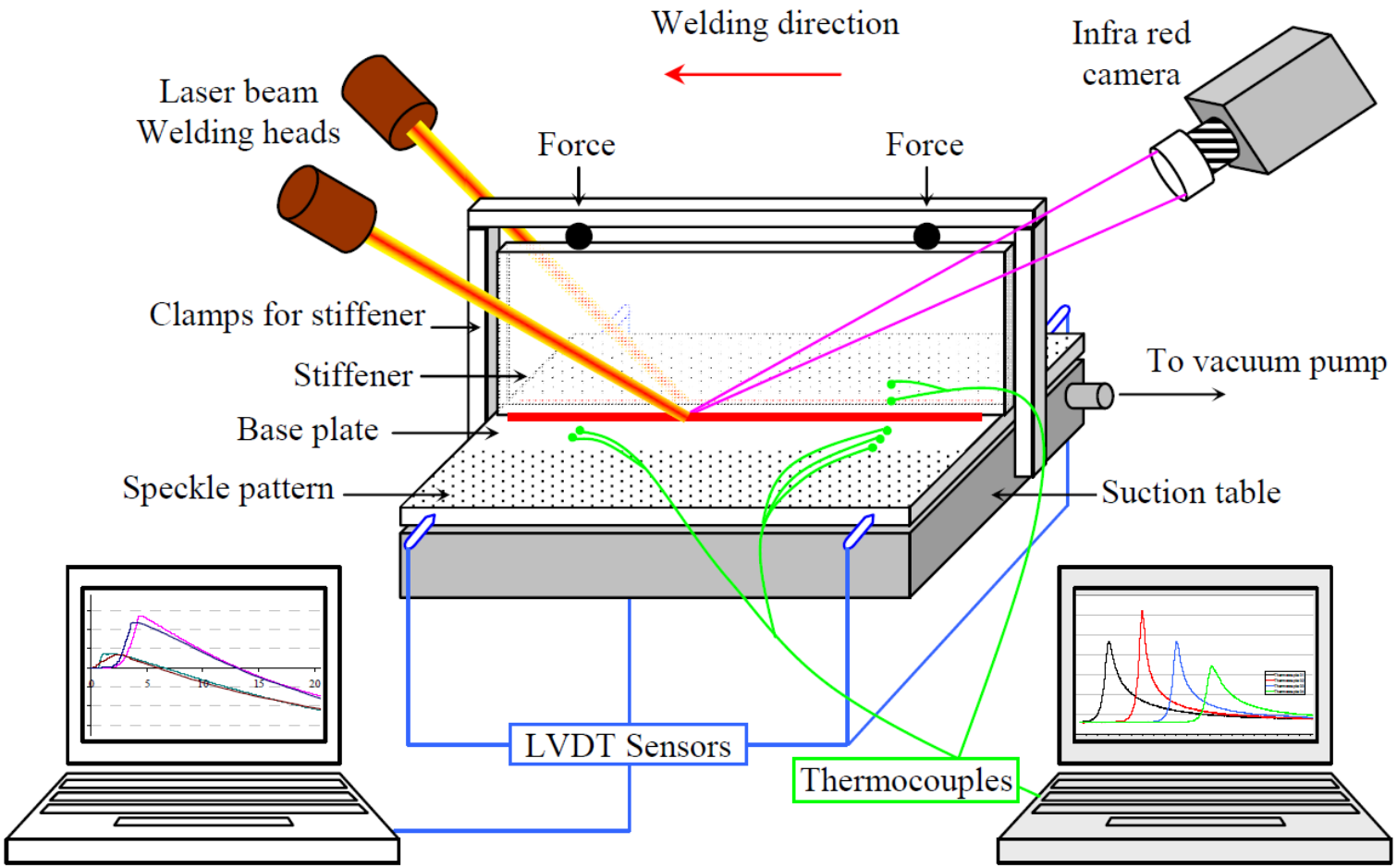




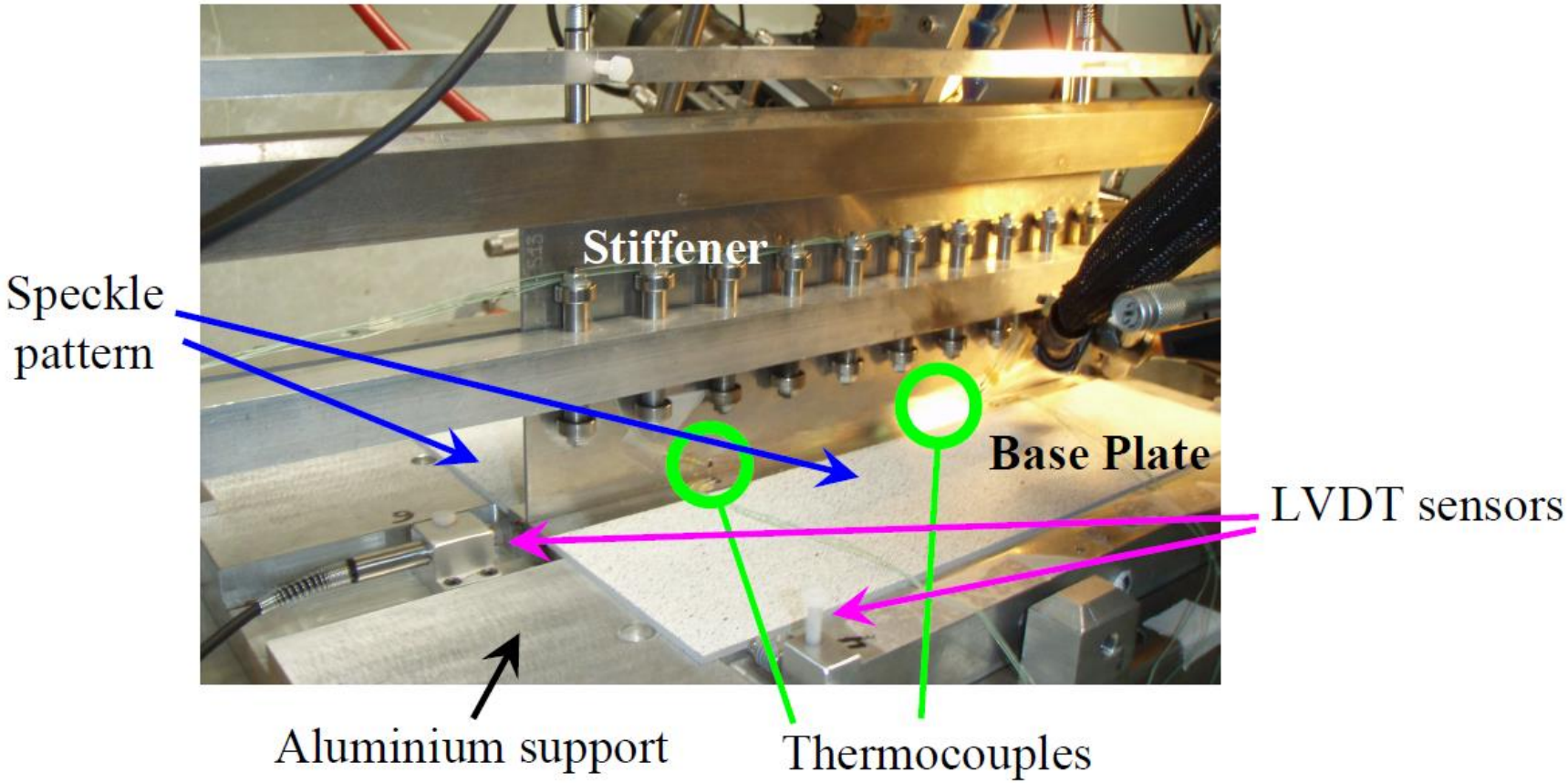


Expériences instrumentées de soudage Laser

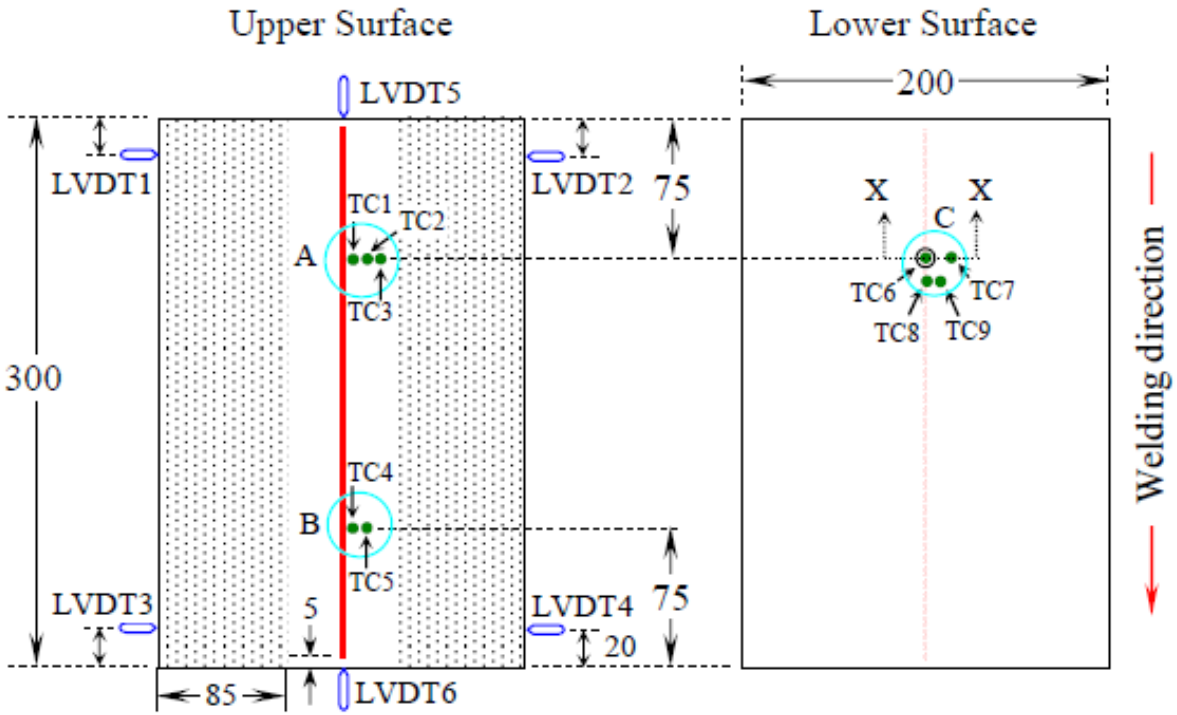
Zain

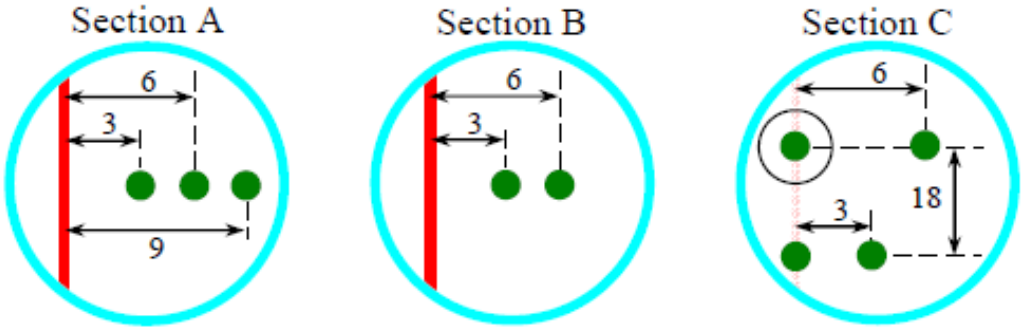


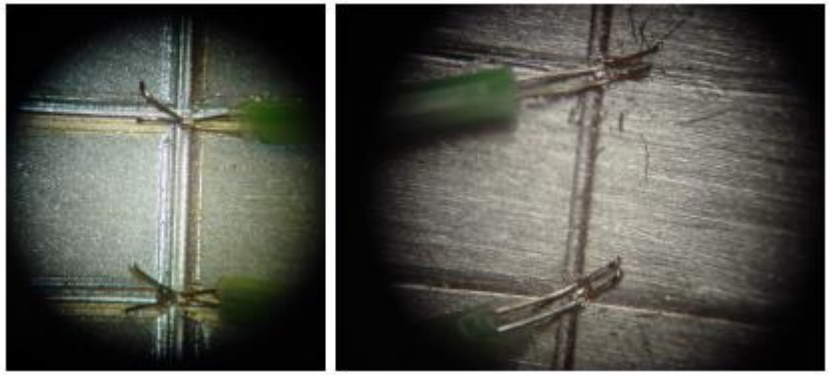
Expériences instrumentées de soudage Laser



Expériences instrumentées de soudage Laser

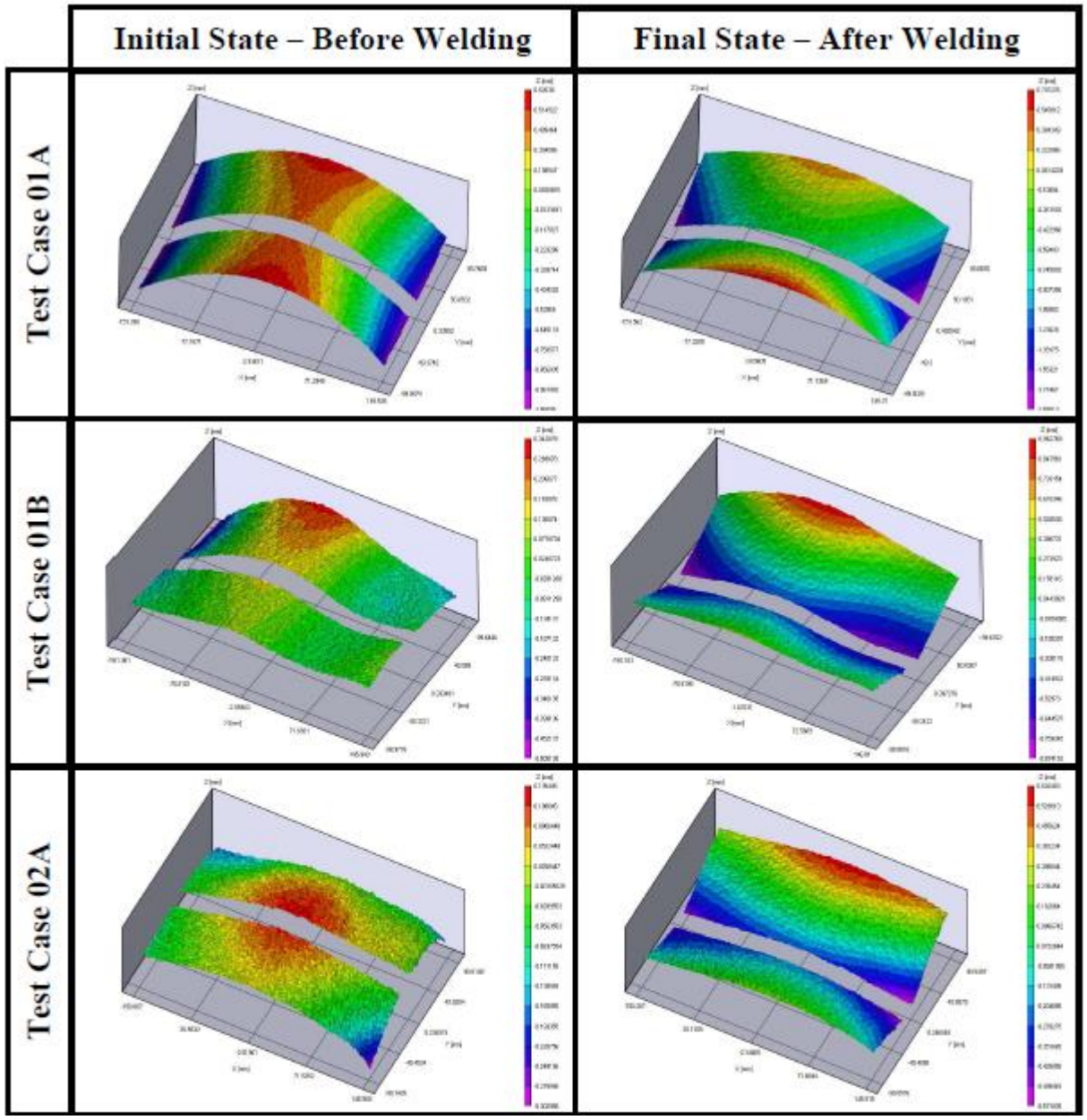






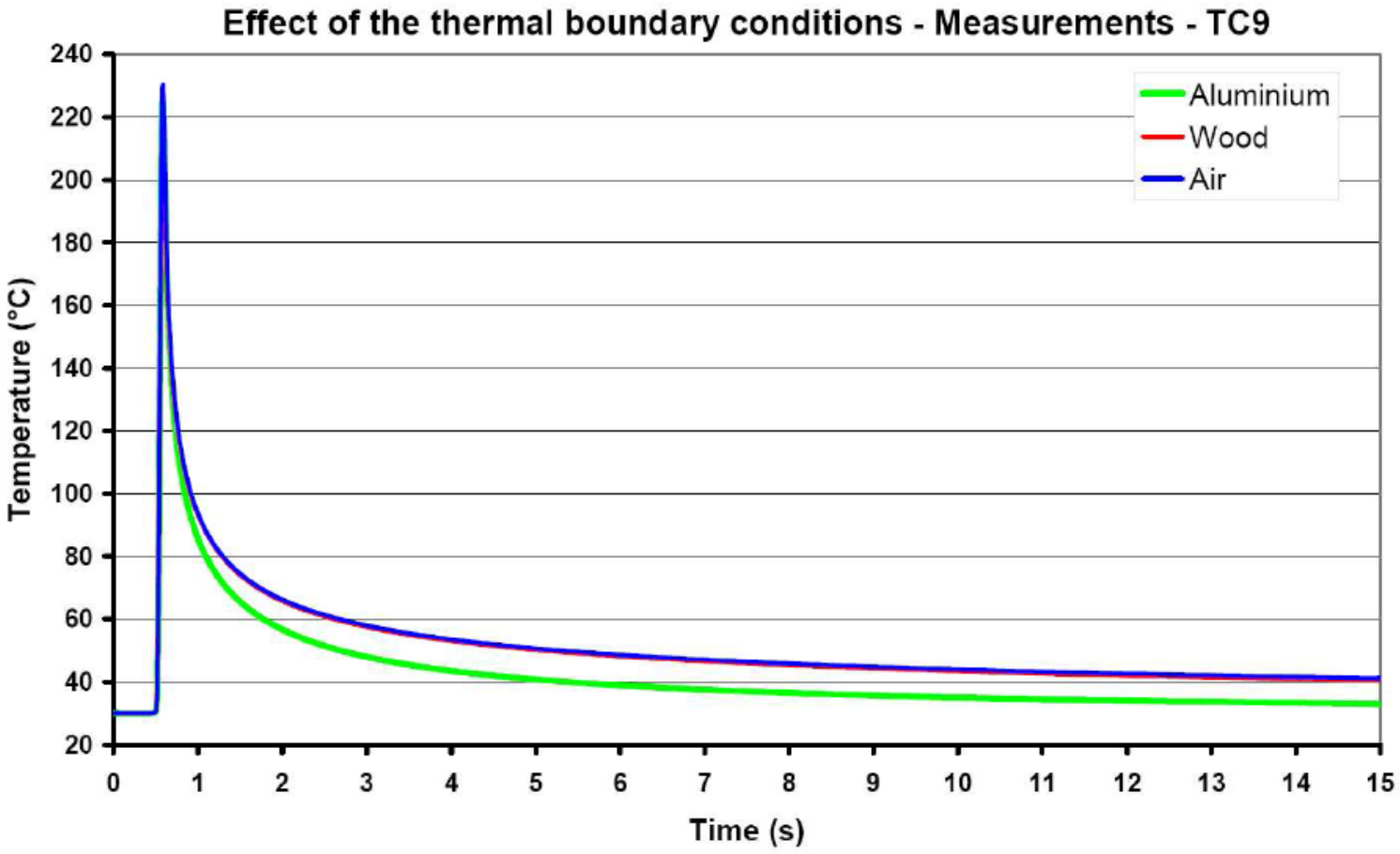
Thermocouples type K, 79 microns, soudés

Expériences instrumentées de soudage Laser

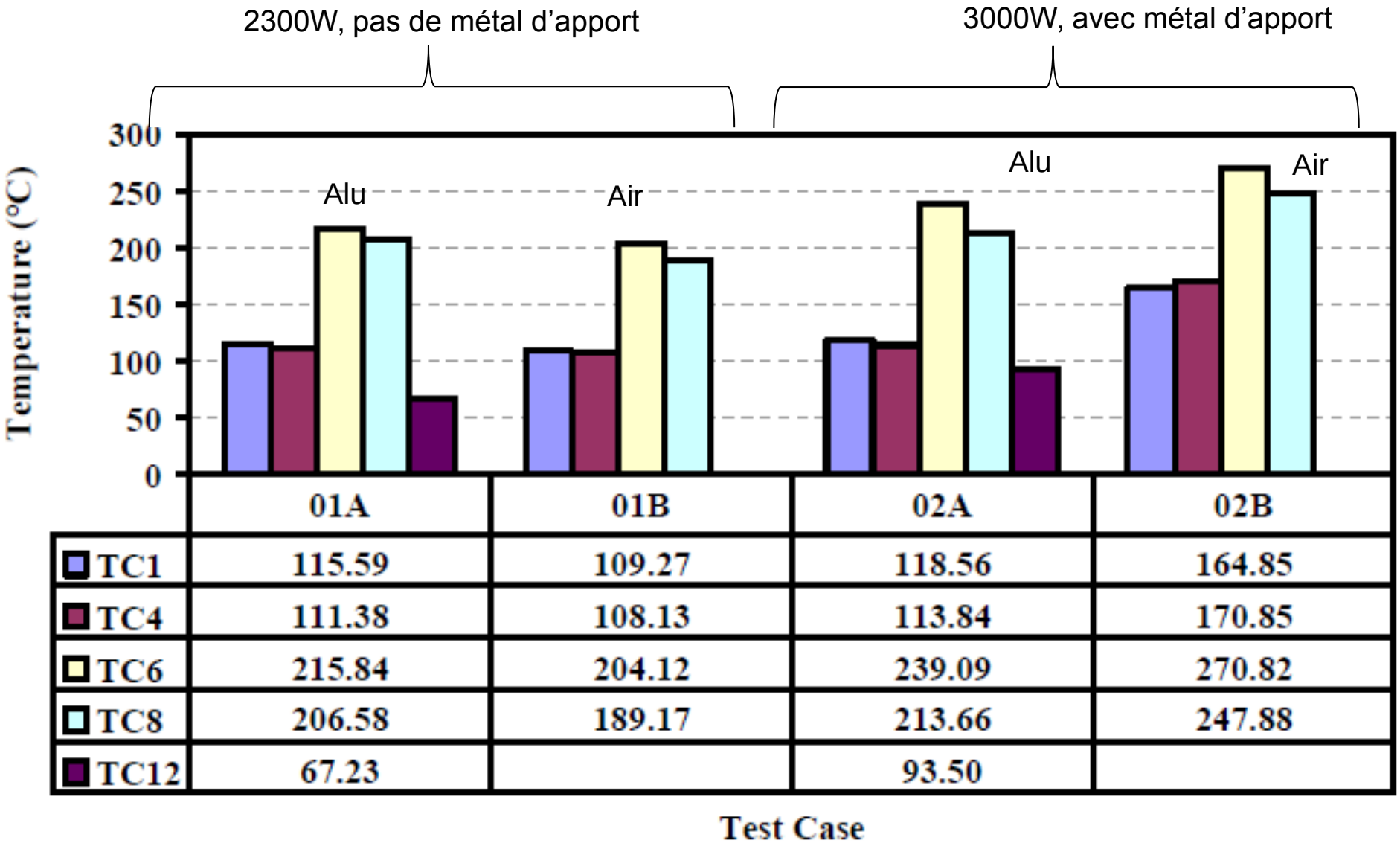


Observation des distorsions par corrélation d'images

Expériences instrumentées de soudage Laser



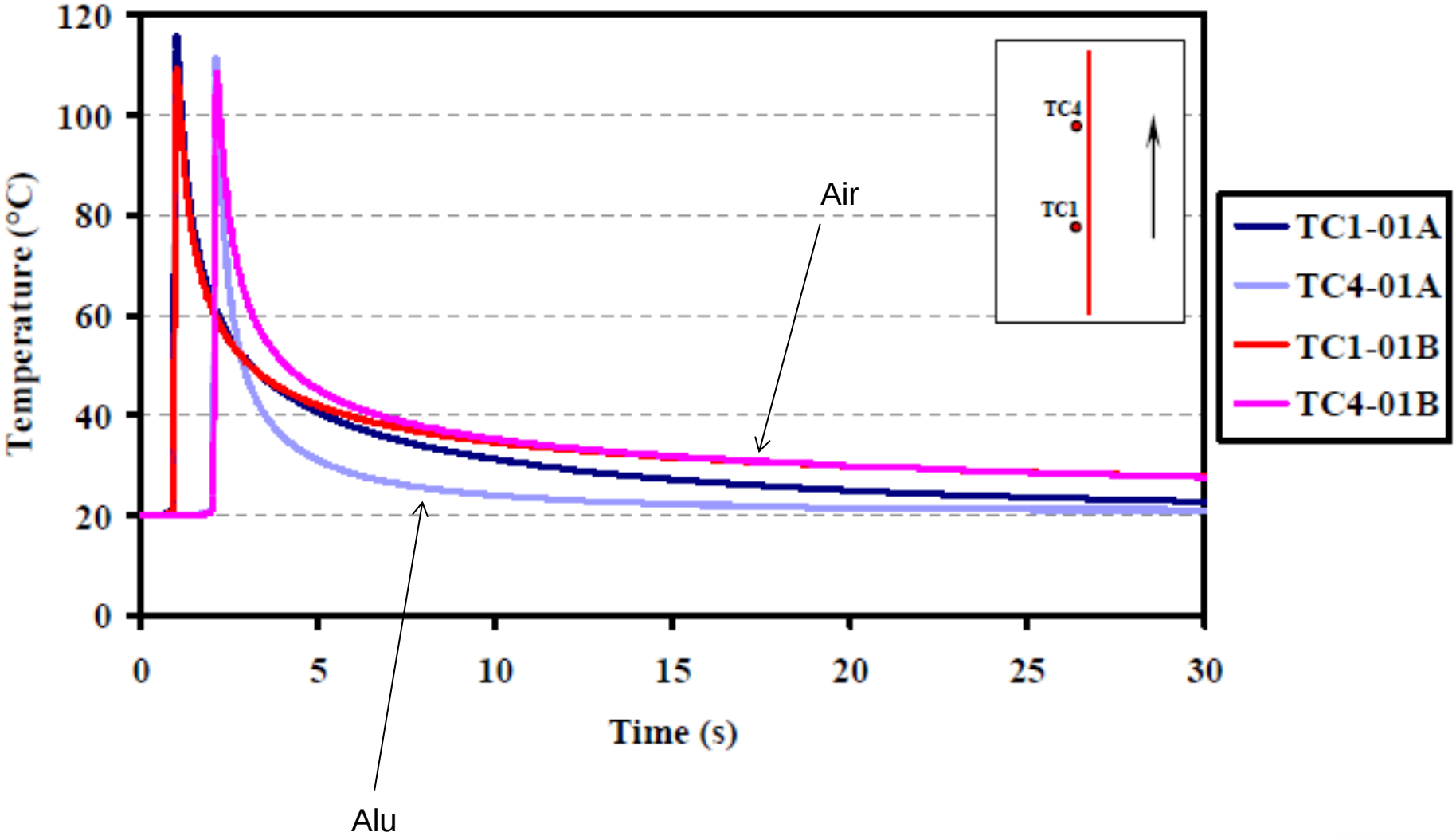
Expériences instrumentées de soudage Laser



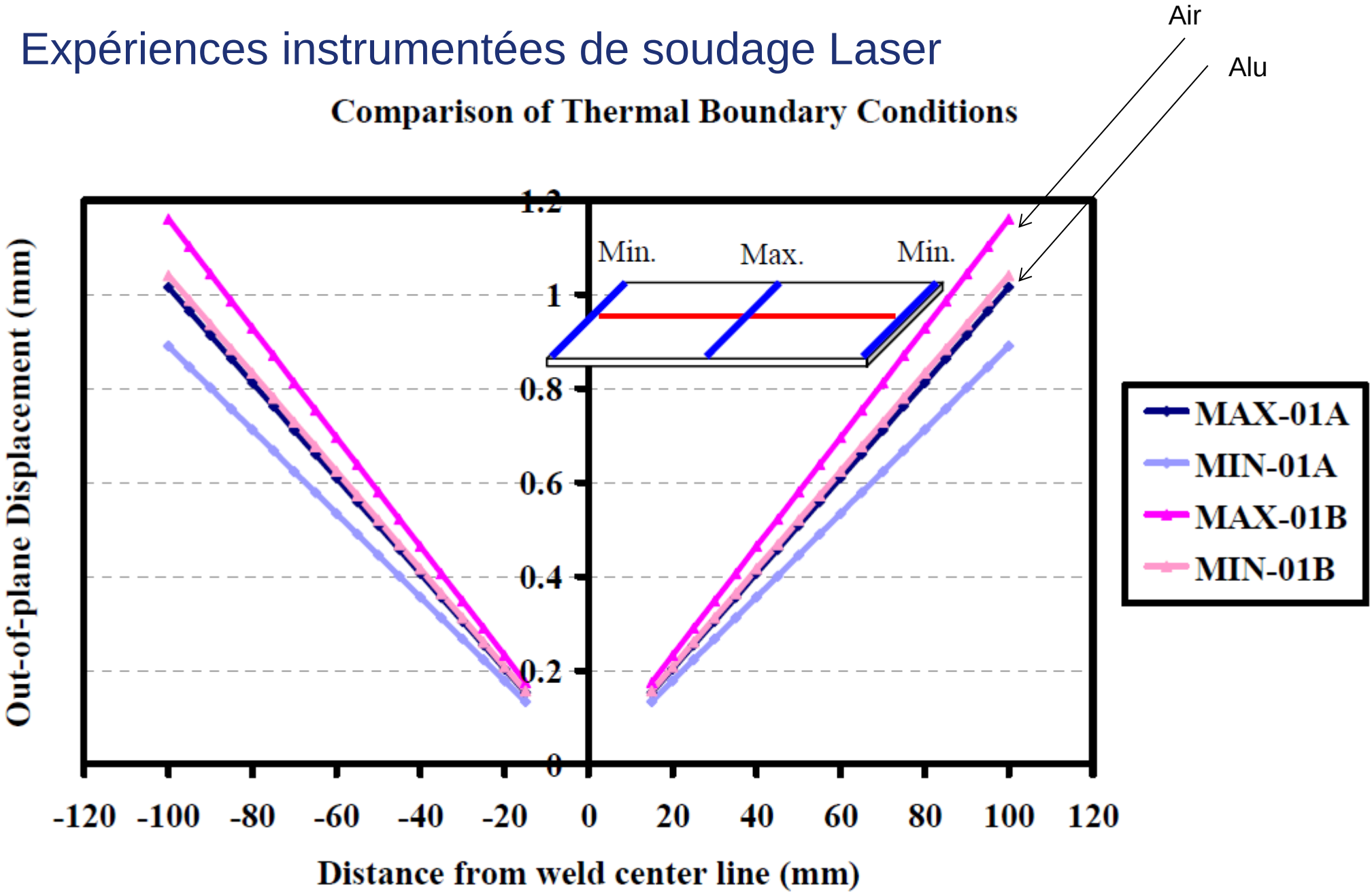
	01A	01B	02A	02B
TC1	115.59	109.27	118.56	164.85
TC4	111.38	108.13	113.84	170.85
TC6	215.84	204.12	239.09	270.82
TC8	206.58	189.17	213.66	247.88
TC12	67.23		93.50	

Températures maxi – Pas de raidisseur

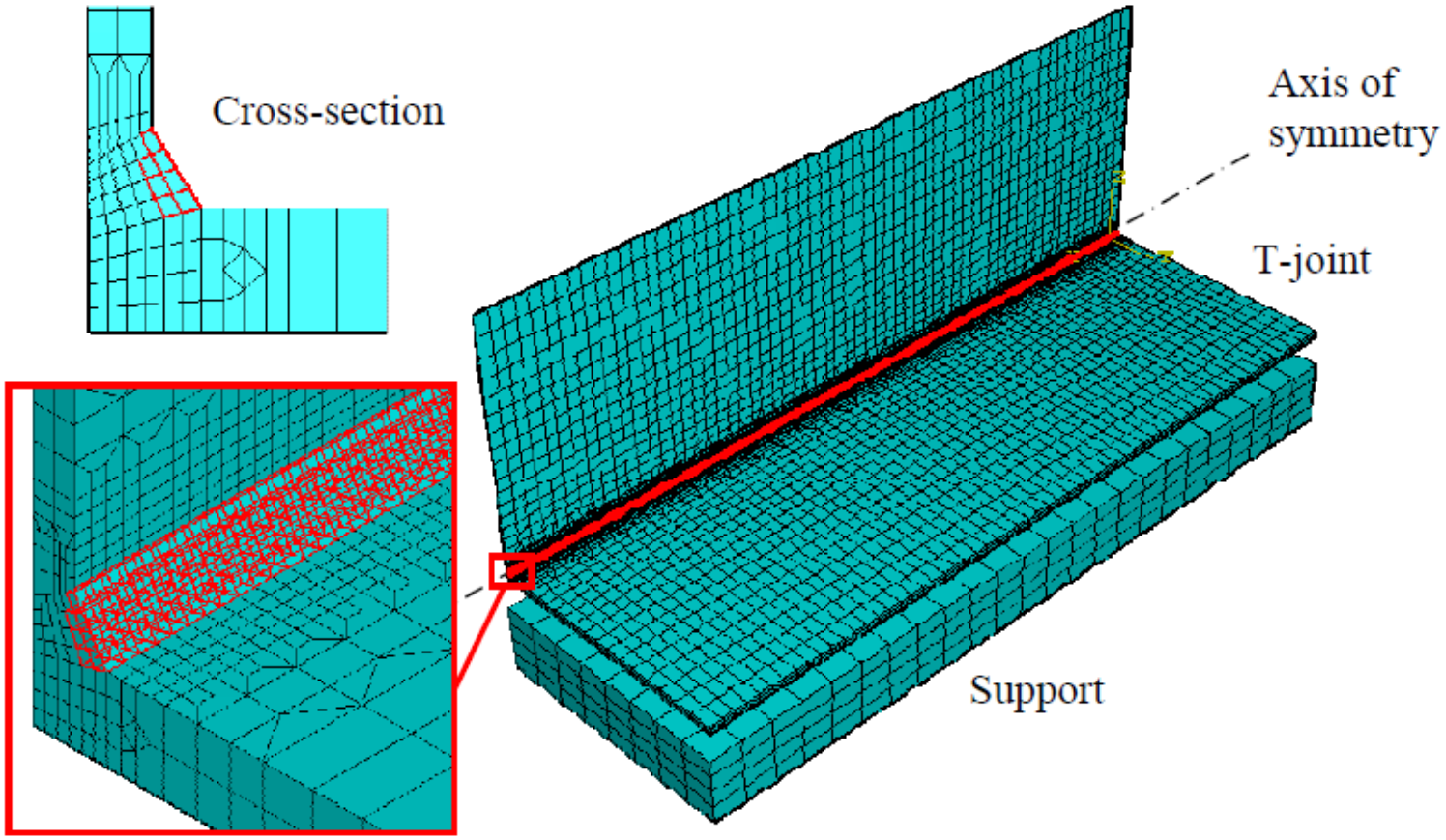
Expériences instrumentées de soudage Laser



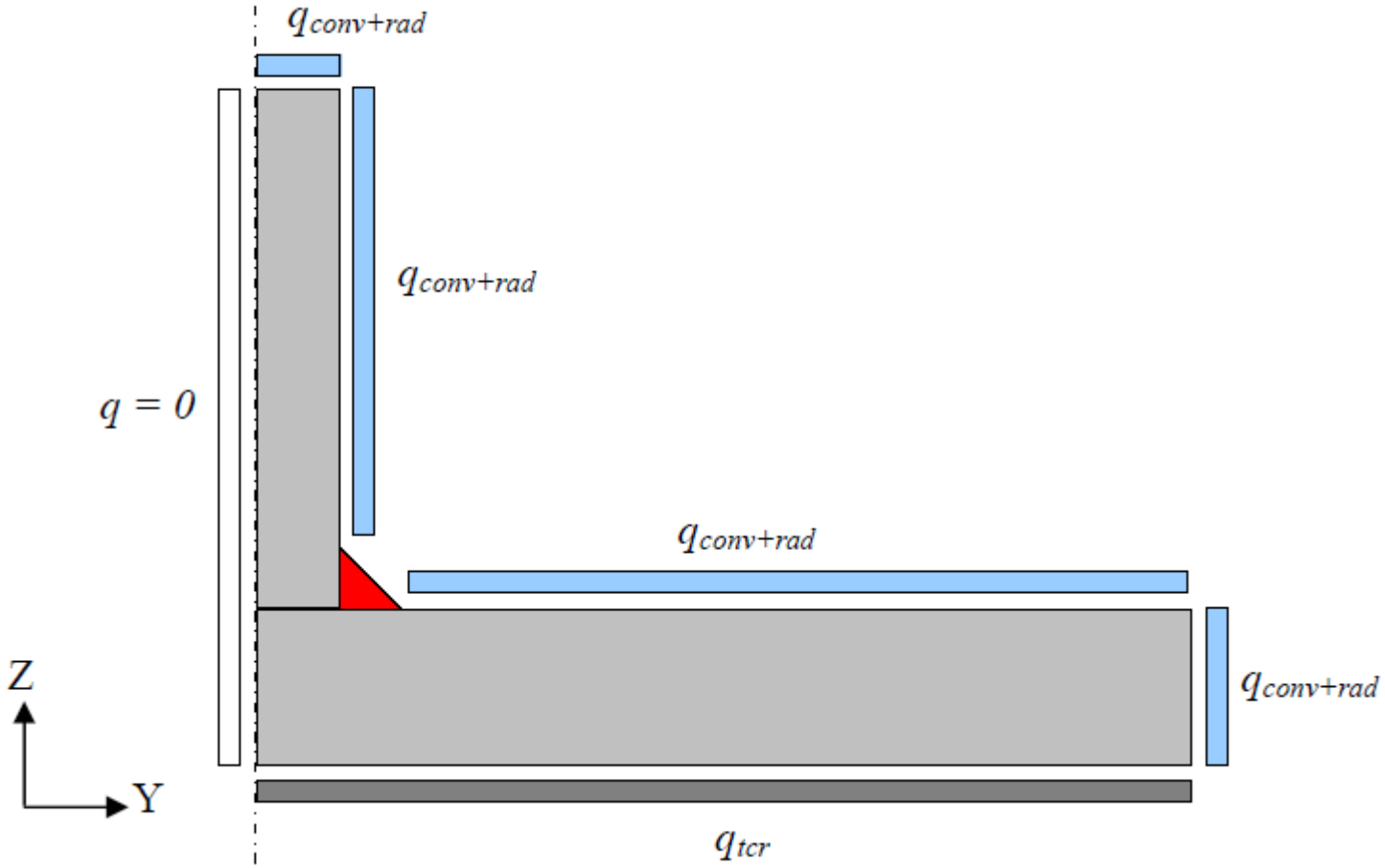
Expériences instrumentées de soudage Laser



Expériences instrumentées de soudage Laser

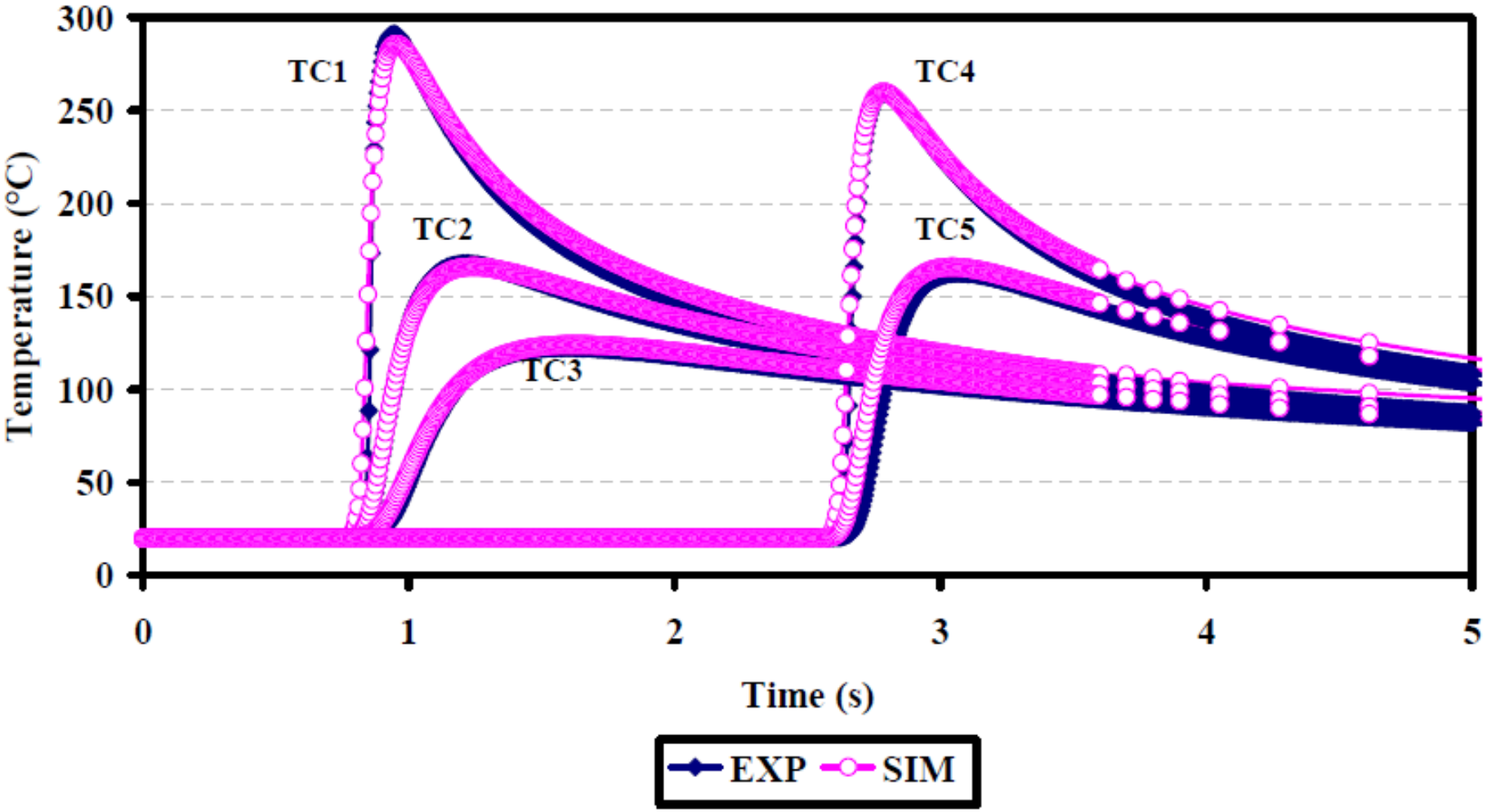


Expériences instrumentées de soudage Laser

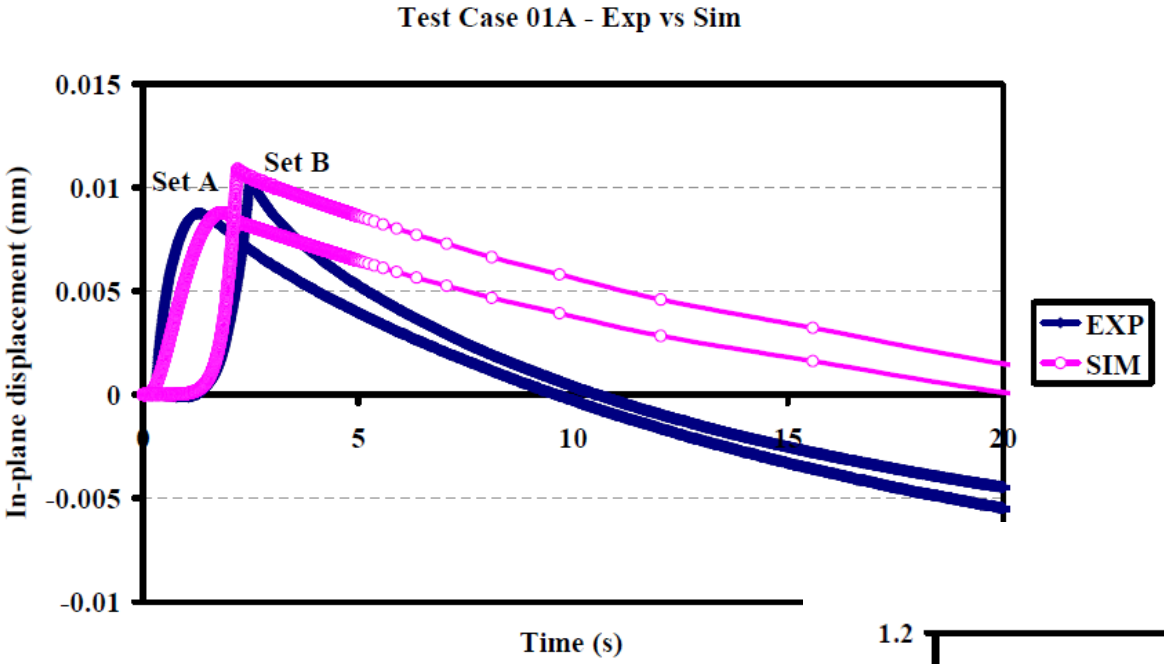


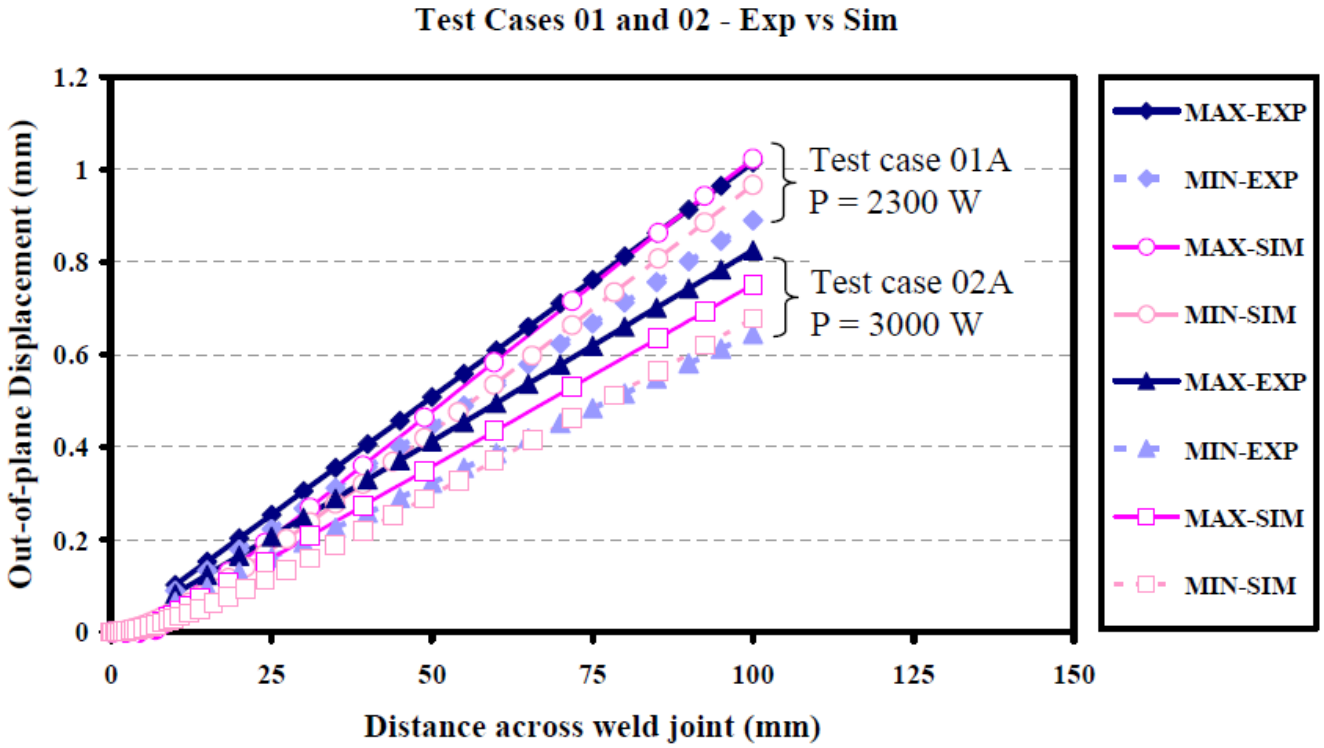
Résistance thermique de cpntact

Expériences instrumentées de soudage Laser

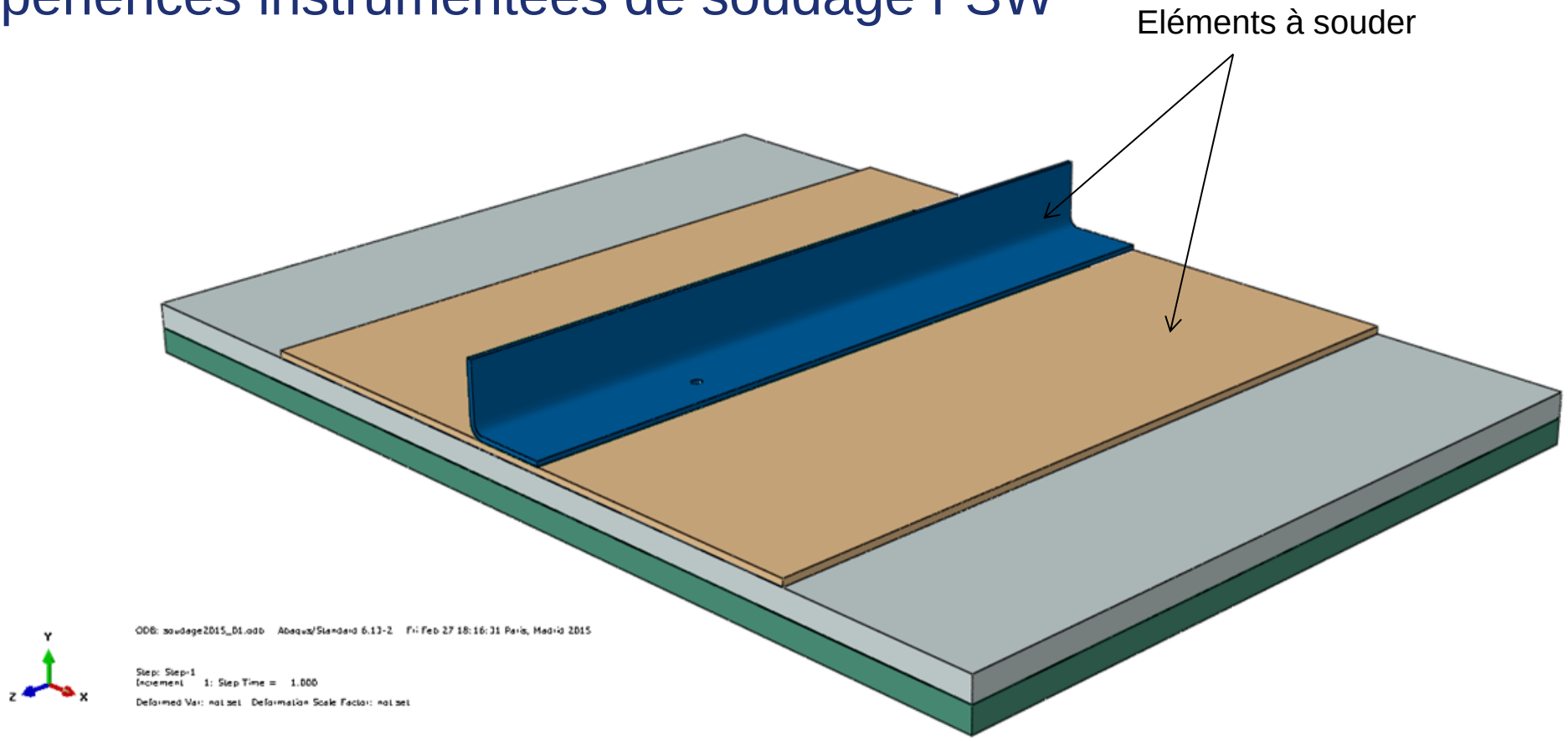


Expériences instrumentées de soudage Laser





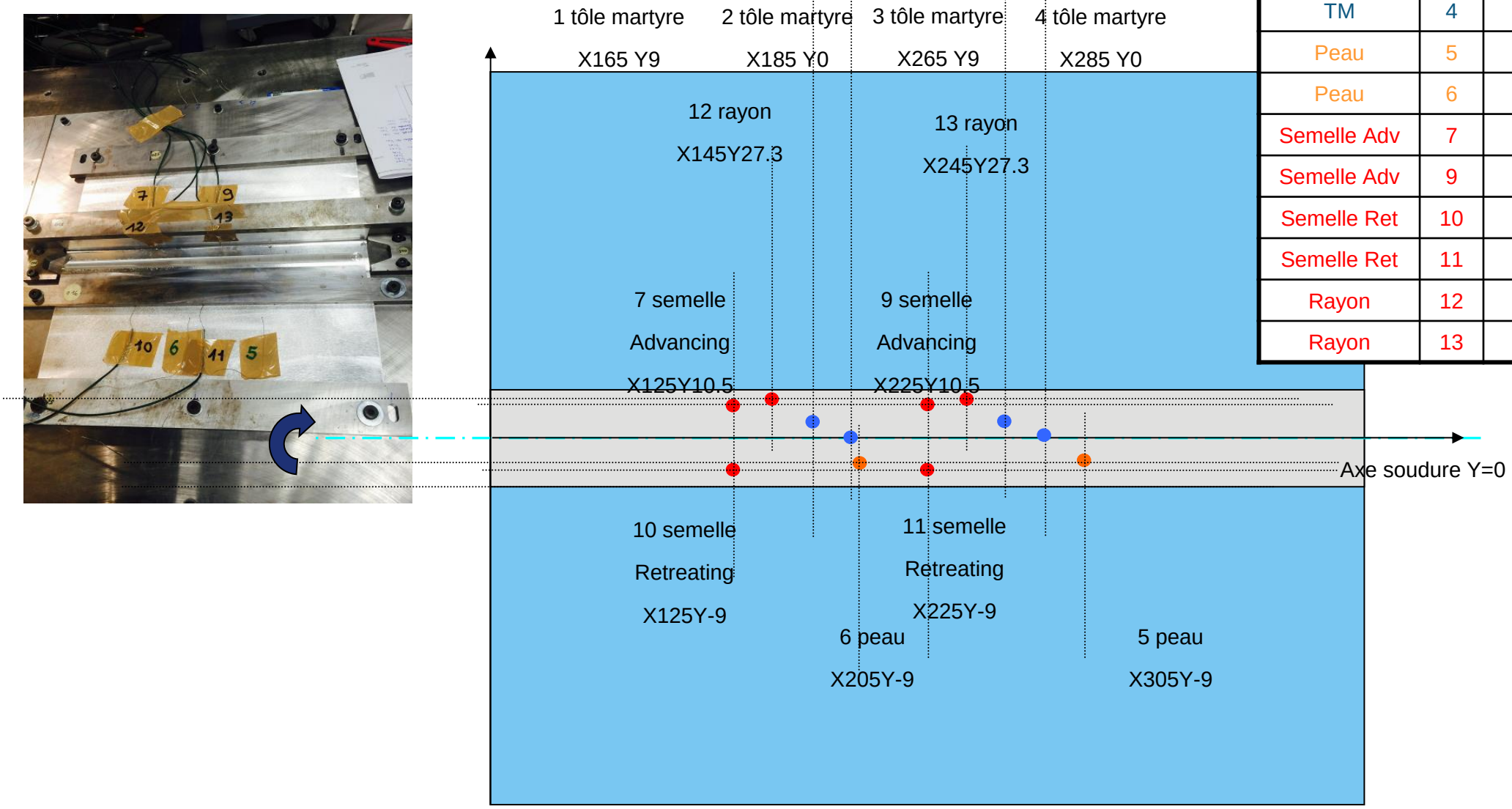
Expériences instrumentées de soudage FSW



Vitesse d’avance: 250 mm/mn

Vitesse de rotation : 400 tr/mn

Thermocouples – Position et Mesures

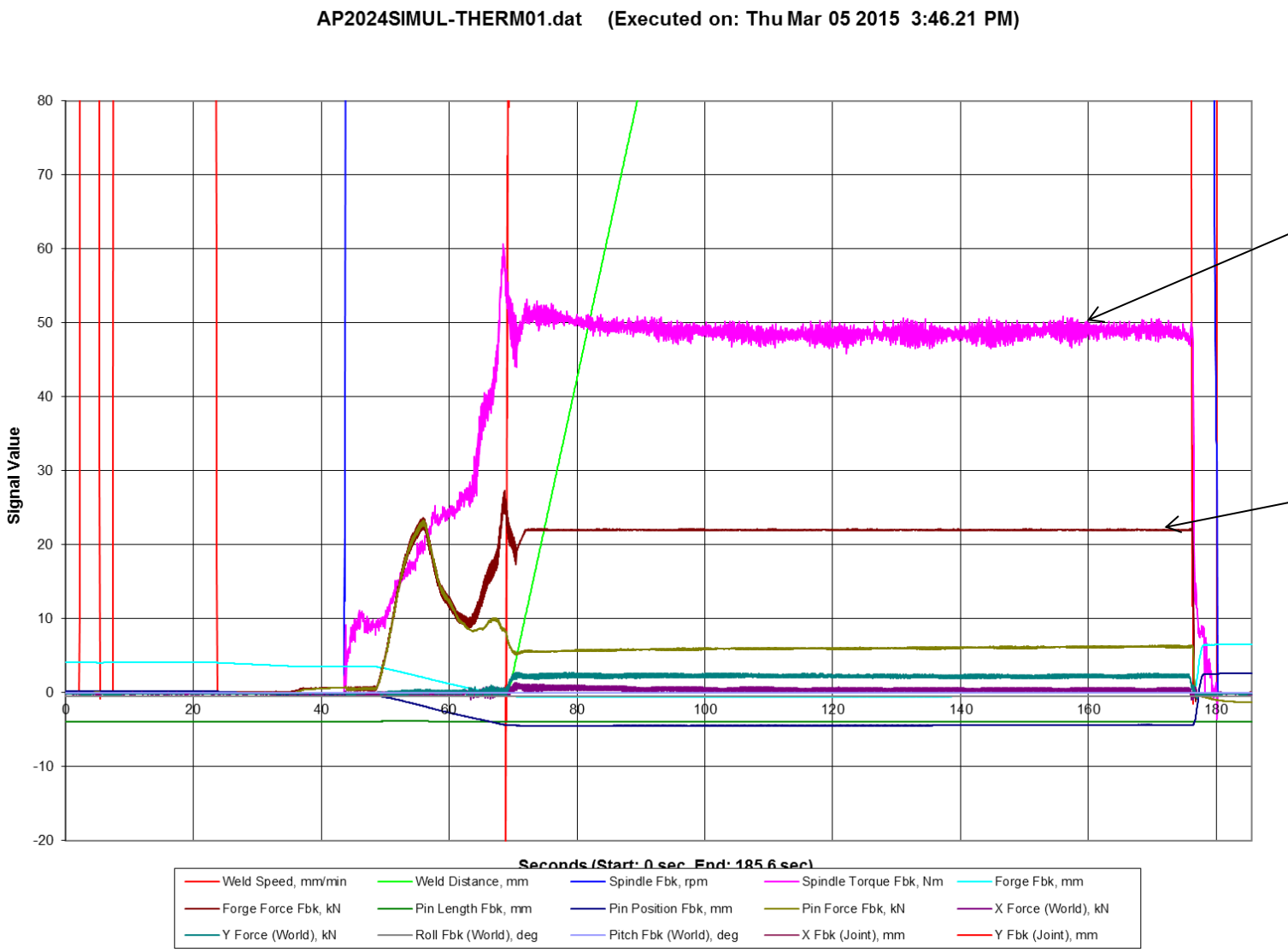


	TC	°C max
TM	1	127
TM	2	223
TM	3	143
TM	4	216
Peau	5	270
Peau	6	253
Semelle Adv	7	282
Semelle Adv	9	280
Semelle Ret	10	283
Semelle Ret	11	HS
Rayon	12	148
Rayon	13	136

Peau 450*400*4.5mm

Semelle 450*45*3mm

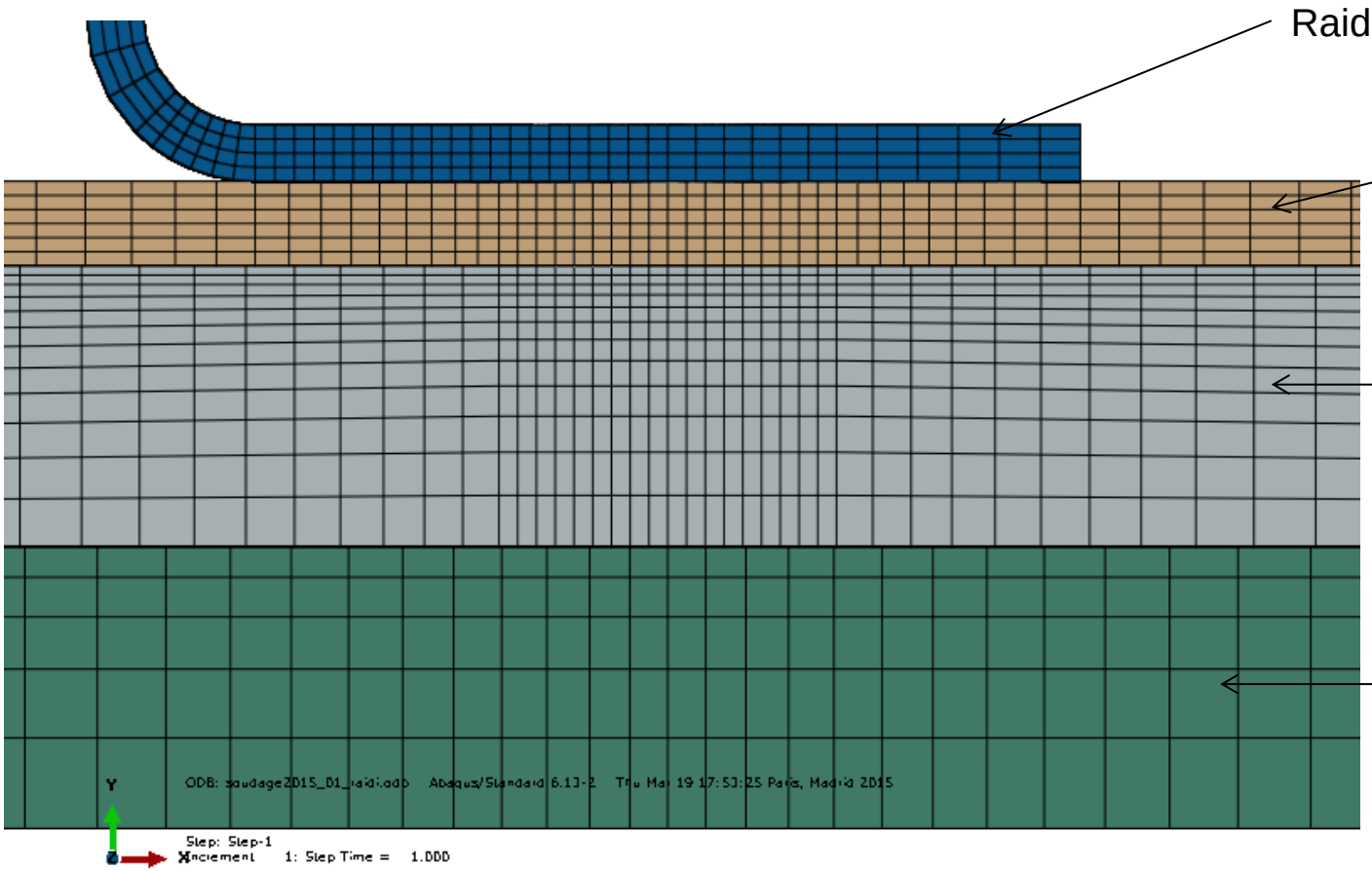
Mesure des efforts



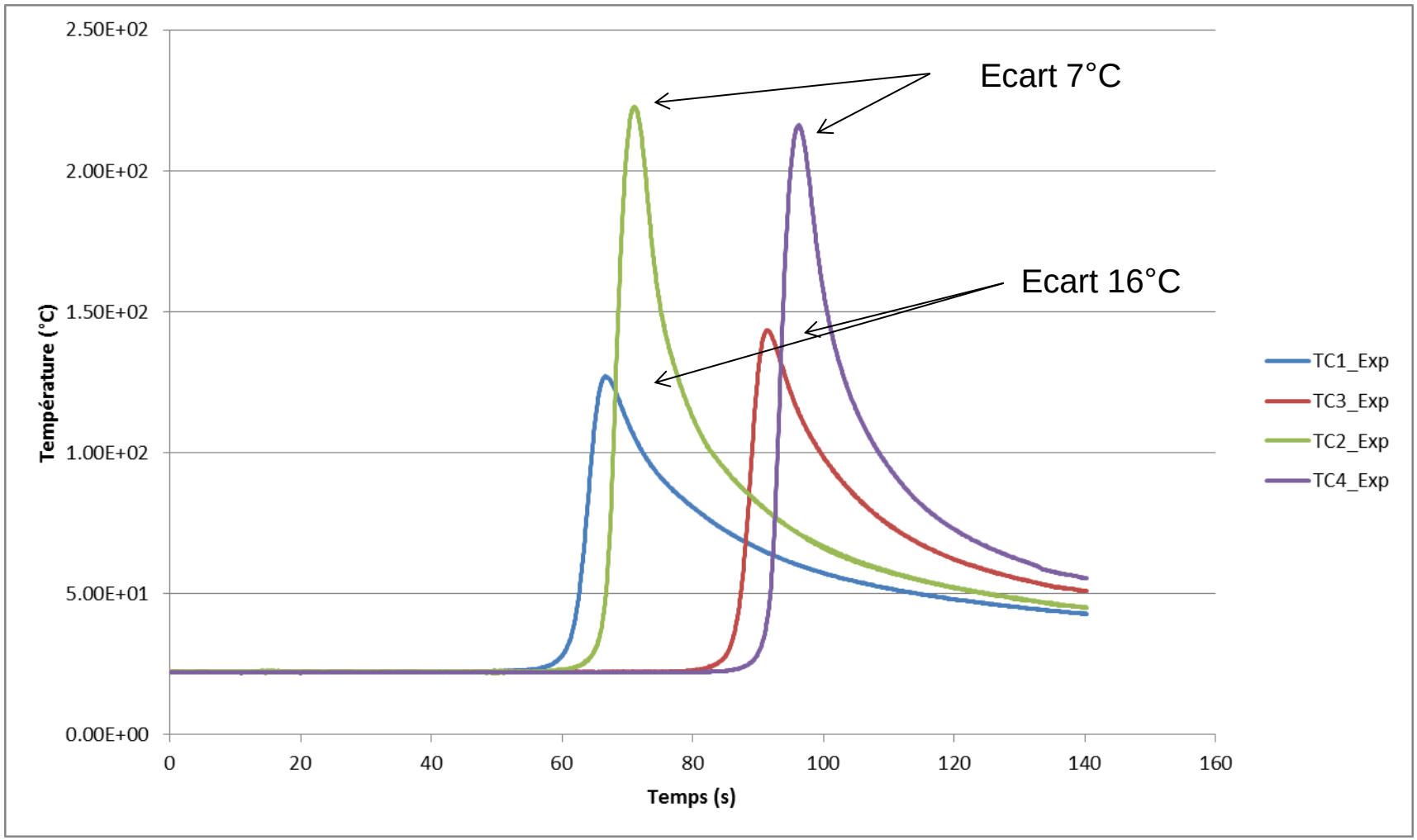
Couple : 49 N.m

Force : 22 kN

Configuration de soudage



Thermocouples – Tôle Martyre



	TC	°C max
TM	1	127
TM	2	223
TM	3	143
TM	4	216
Peau	5	270
Peau	6	253
Semelle Adv	7	282
Semelle Adv	9	280
Semelle Ret	10	283
Semelle Ret	11	HS
Rayon	12	148
Rayon	13	136

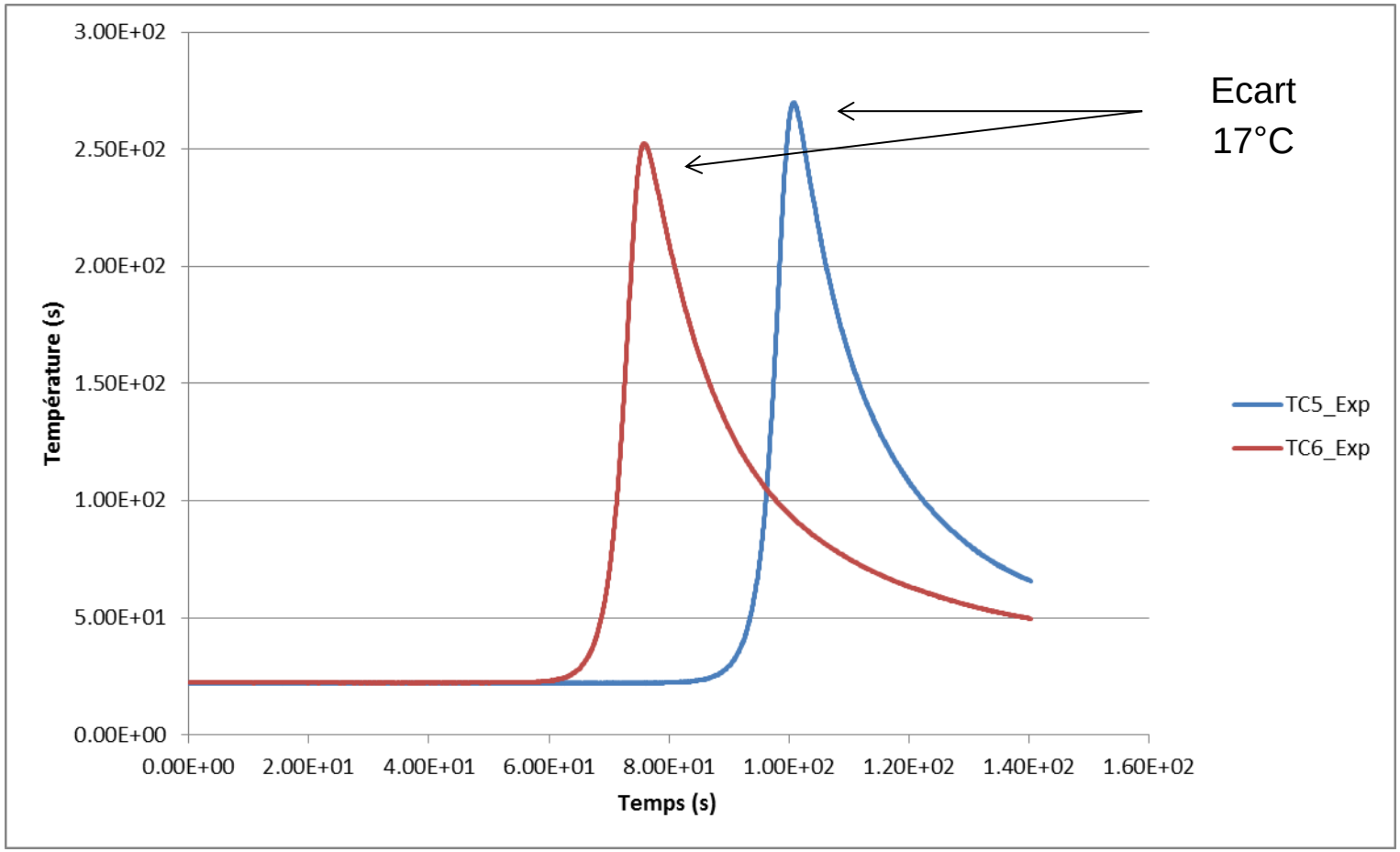
Des différences de température sont observées entre les deux lignes de TC

Cela semble plus lié à de la dispersion qu'à un phénomène physique (rechauffage, rebond)

Le positionnement des TC n'est peut-être pas assuré

AIRBUS GROUP

Thermocouples – Mesures – Tôle

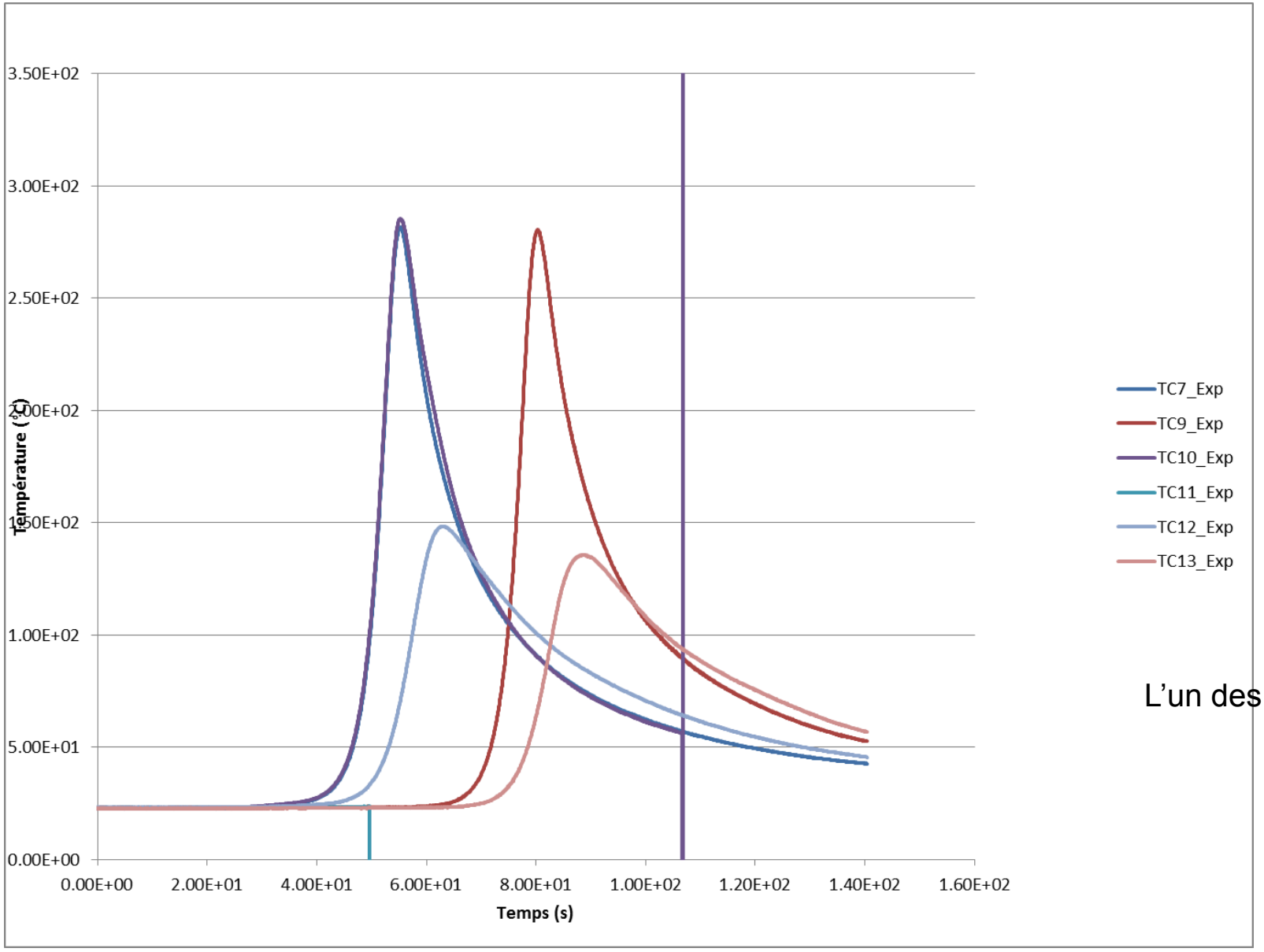


	TC	°C max
TM	1	127
TM	2	223
TM	3	143
TM	4	216
Peau	5	270
Peau	6	253
Semelle Adv	7	282
Semelle Adv	9	280
Semelle Ret	10	283
Semelle Ret	11	HS
Rayon	12	148
Rayon	13	136

Même remarque

AIRBUS GROUP

Thermocouples – Mesures – Raidisseur

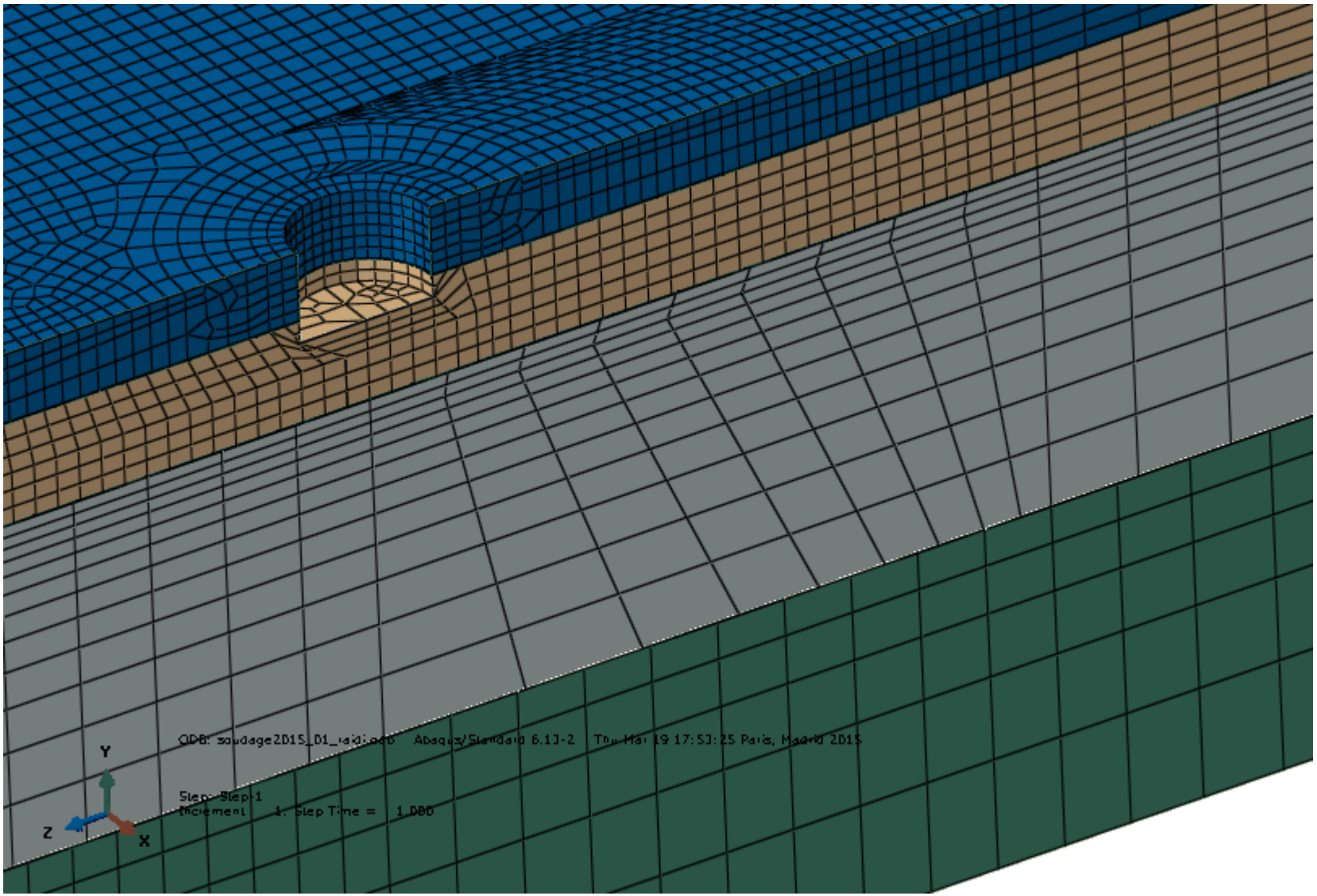


	TC	°C max
TM	1	127
TM	2	223
TM	3	143
TM	4	216
Peau	5	270
Peau	6	253
Semelle Adv	7	282
Semelle Adv	9	280
Semelle Ret	10	283
Semelle Ret	11	HS
Rayon	12	148
Rayon	13	136

Même remarque.
L'un des deux TC les proches de la ligne de soudage n'a pas fonctionné

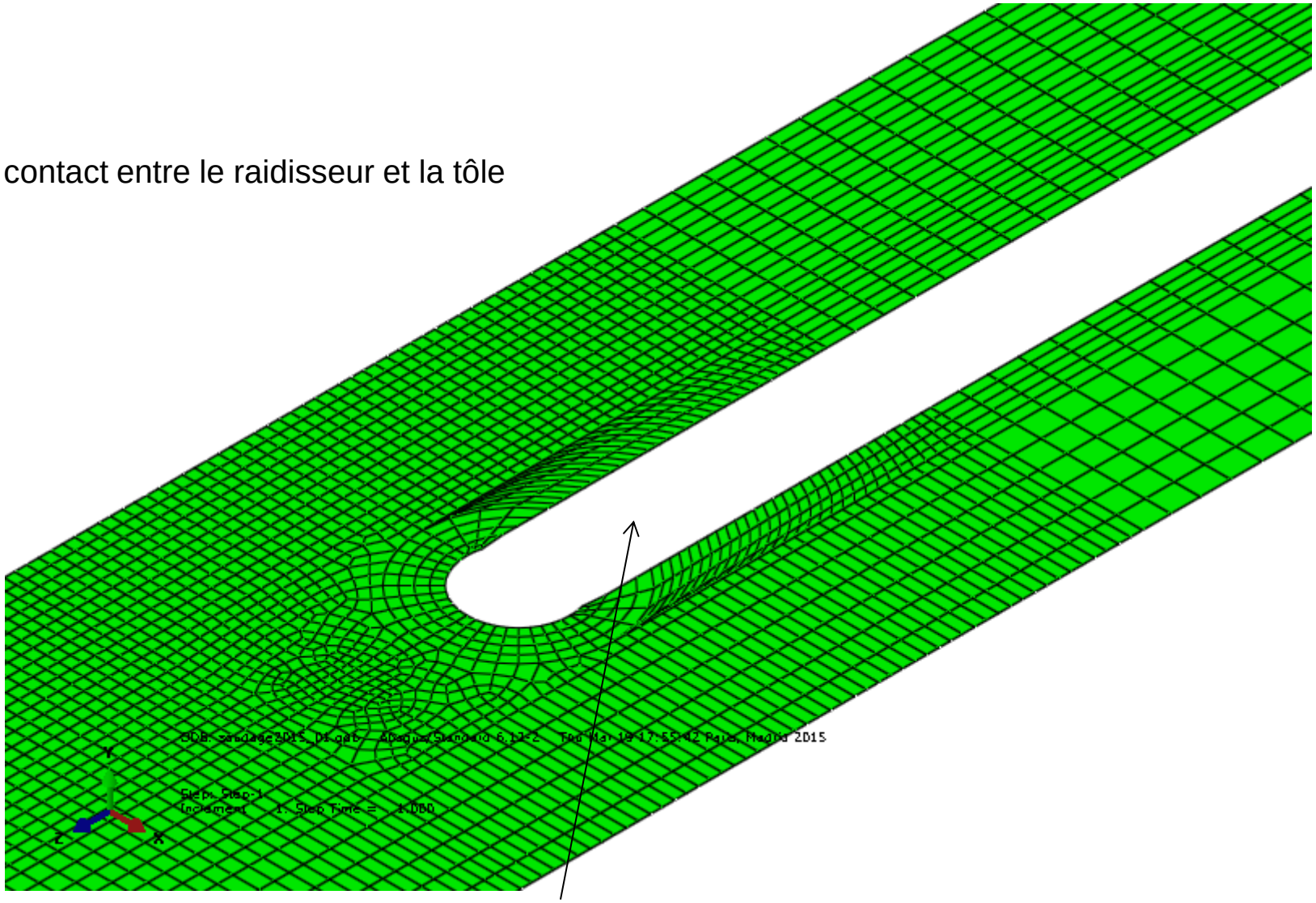
Modèle de simulation - Maillage

Calcul thermique stationnaire avec contact



Modèle de simulation - Maillage

Surface de contact entre le raidisseur et la tôle



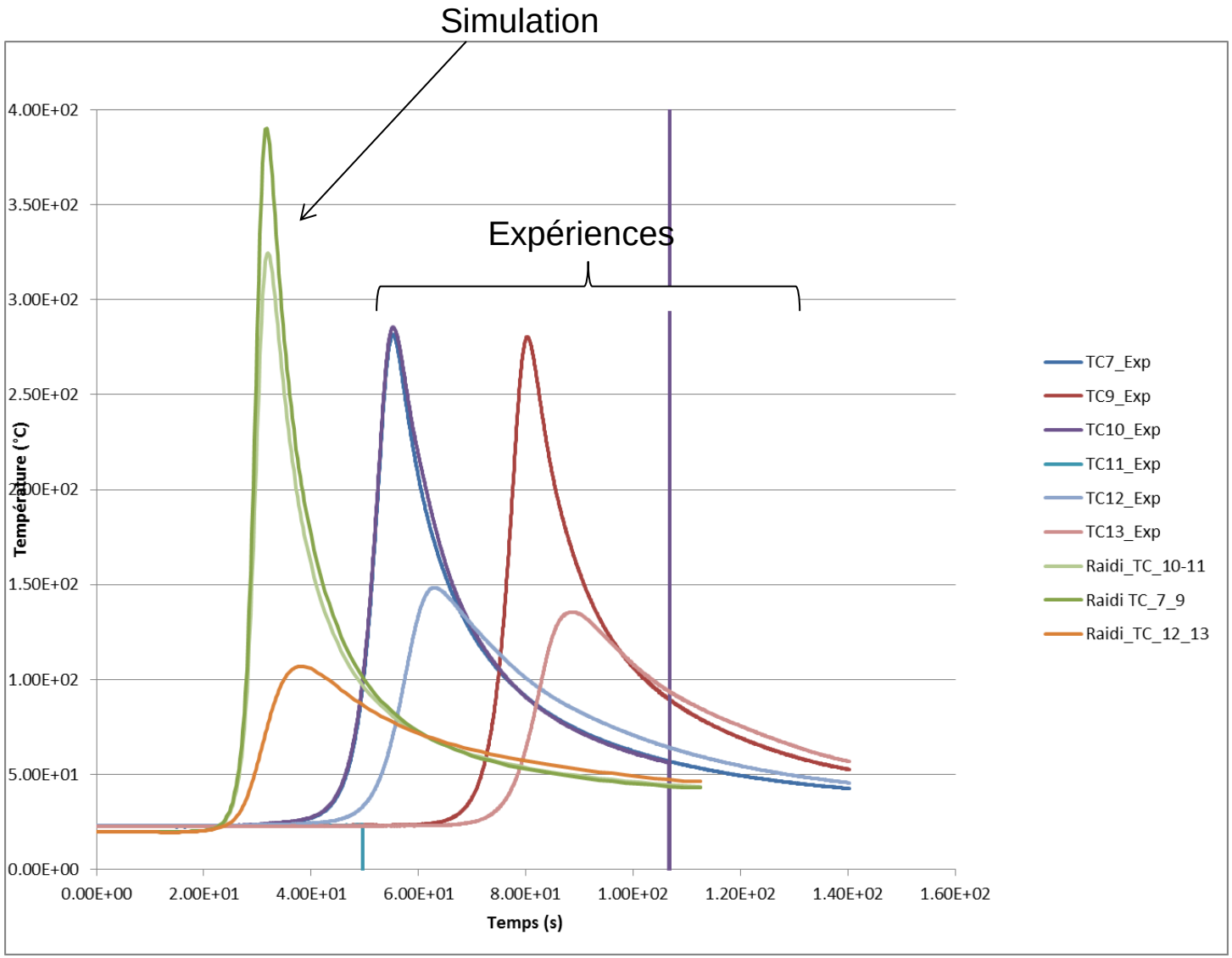
Pour cette zone, la matière est soudée, donc continue. Une autre surface est définie avec une conductance très élevée

Modèle de simulation – 1ère simulation – Conductance

Une valeur constante de 5000 W/m²/°C a été supposée (cf [R 1]) pour toutes les interfaces

[R 1] Prediction of temperature distribution and thermal history during friction stir welding: input torque based model
M. Z. H. Khandkar, J. A. Khan and A. P. Reynolds

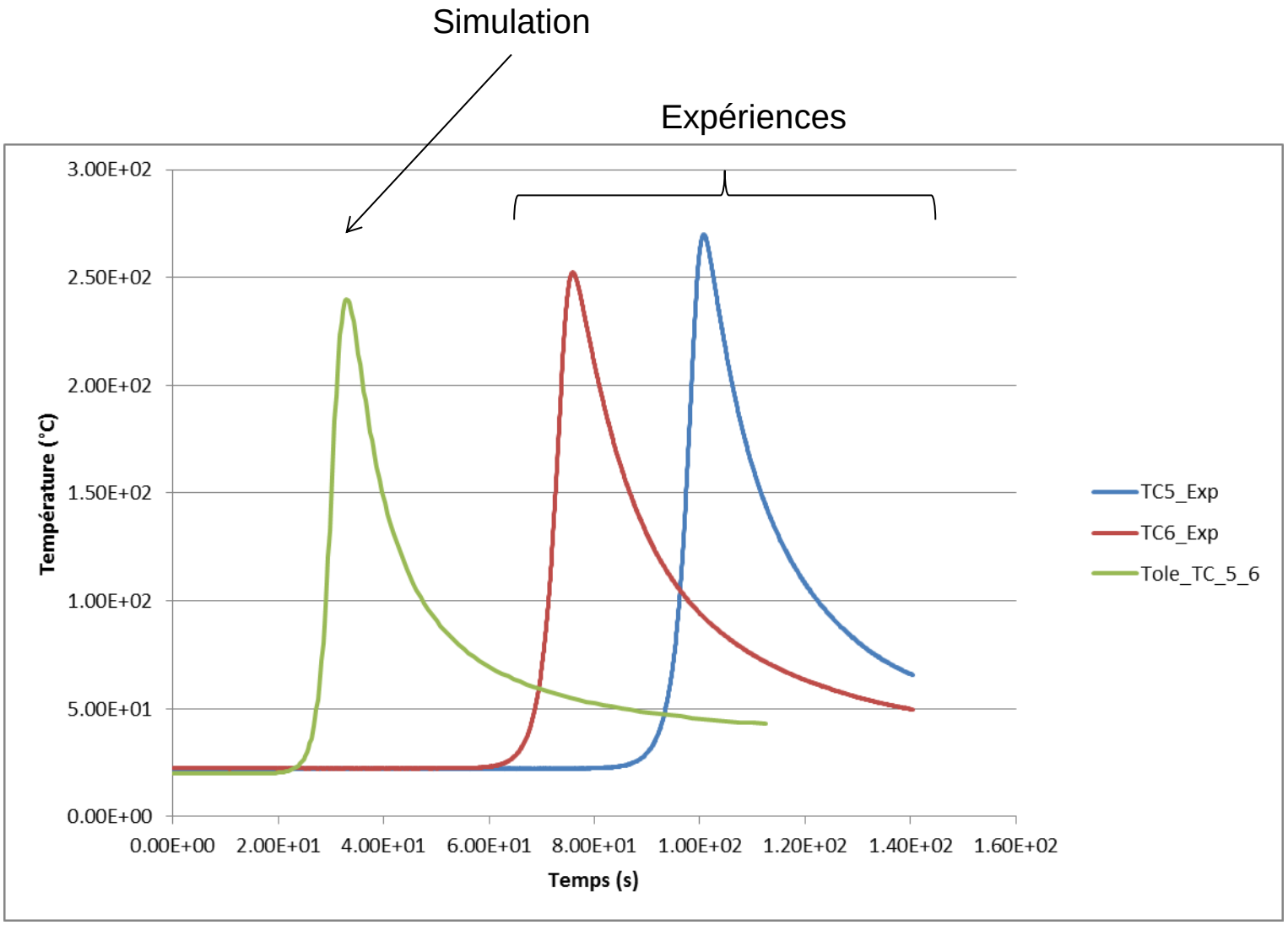
Modèle de simulation – 1ère simulation – Comparaison Raidisseur



Température trop élevée
près de l'outil

Température trop basse dans le rayon

Modèle de simulation – 1ère simulation – Comparaison Tôle

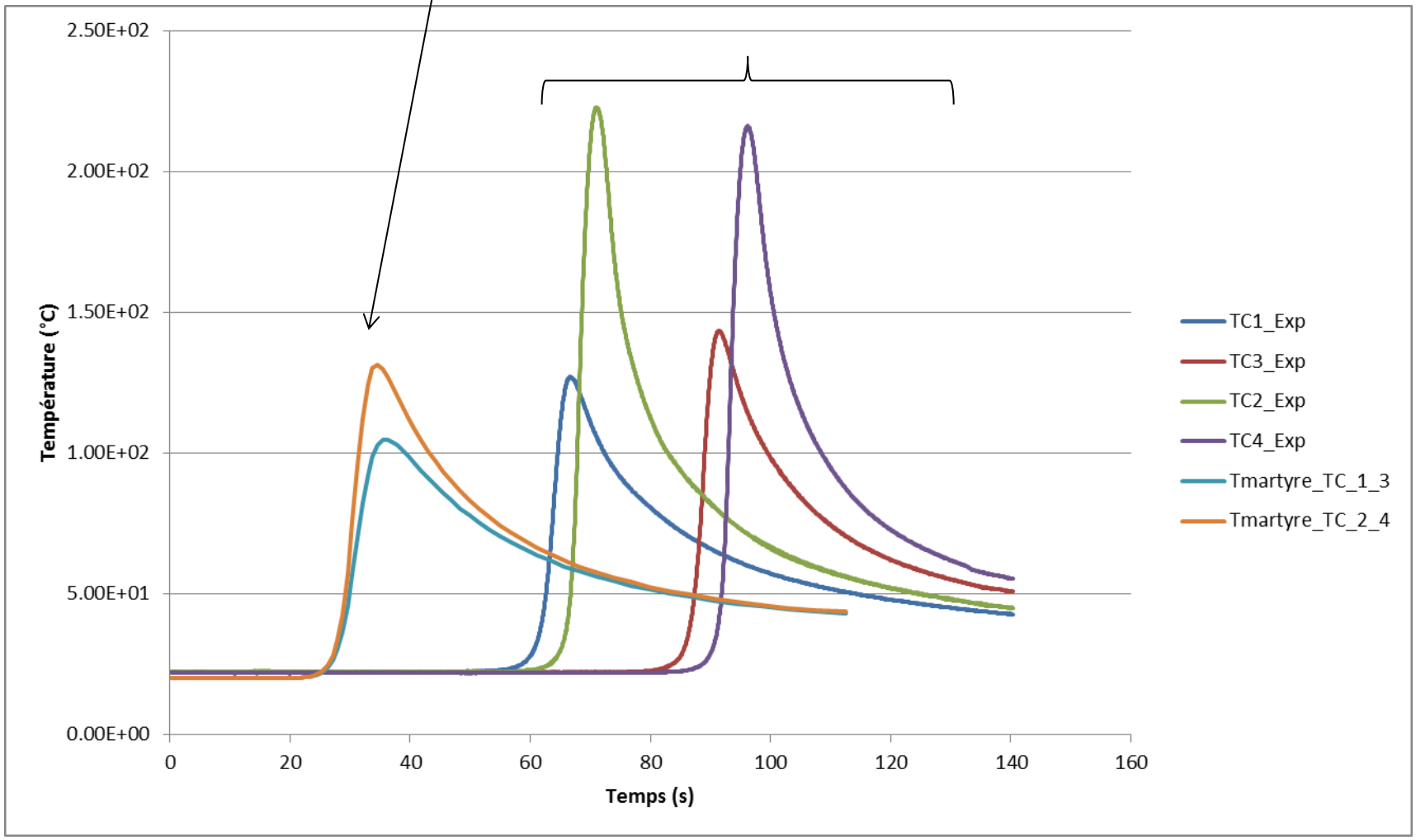


Température trop basse

Modèle de simulation – 1ère simulation – Comparaison TMartyre

Simulation

Expériences



Températures trop basses

Conductances trop basses

Modèle de simulation – 2ème simulation – Ajustement manuel

Puissance : x1.1

Conductances : 20 000 W/m²/°C (sauf à l'interface enclume/tôle martyre)

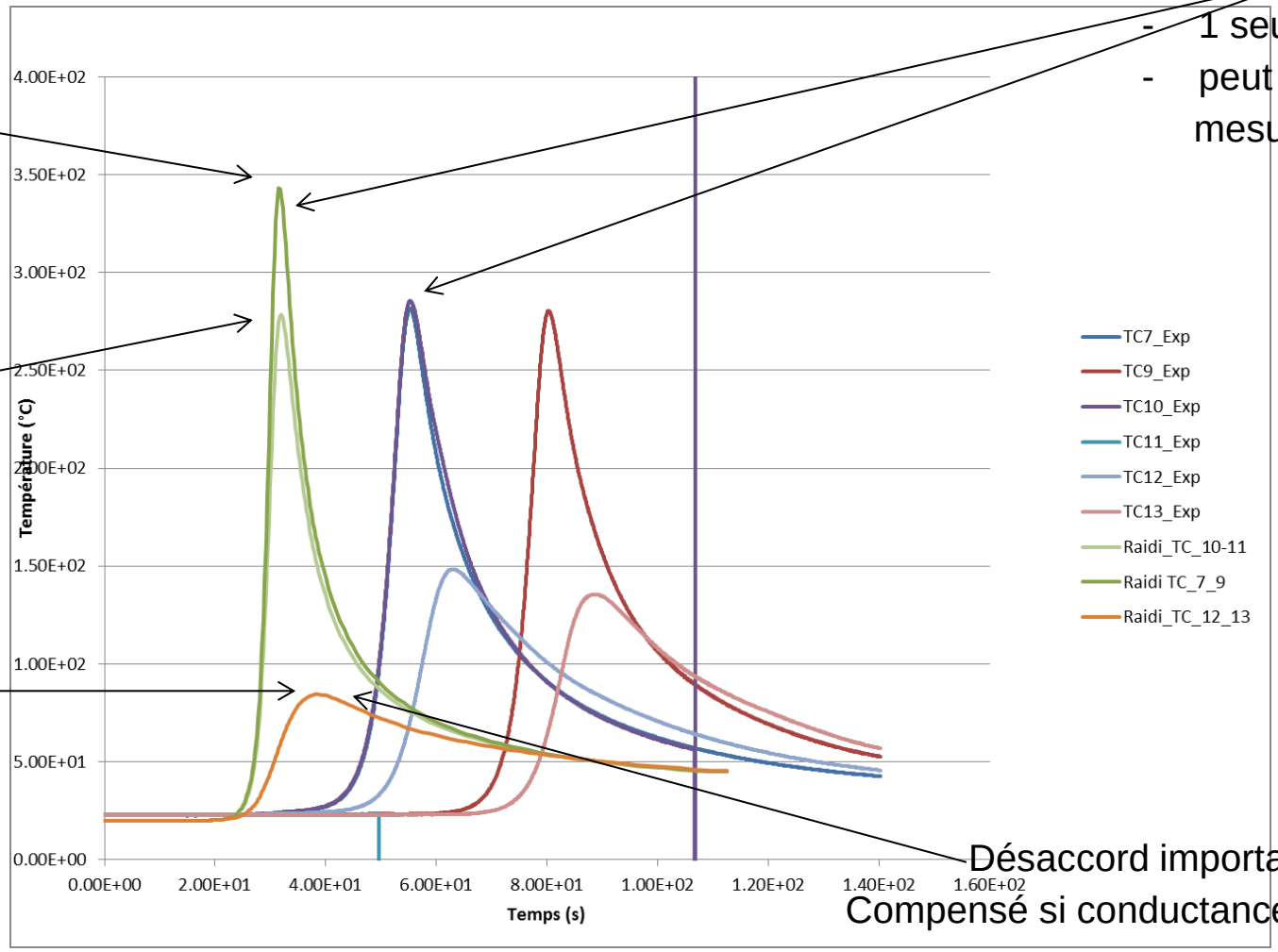
Information expérimentale peut-être pas fiable :

- 1 seul TC,
- peut être trop rapide pour être mesuré

Moins 45°C

Moins 50°C

Moins 20°C



Raidisseur

Désaccord important au niveau du rayon

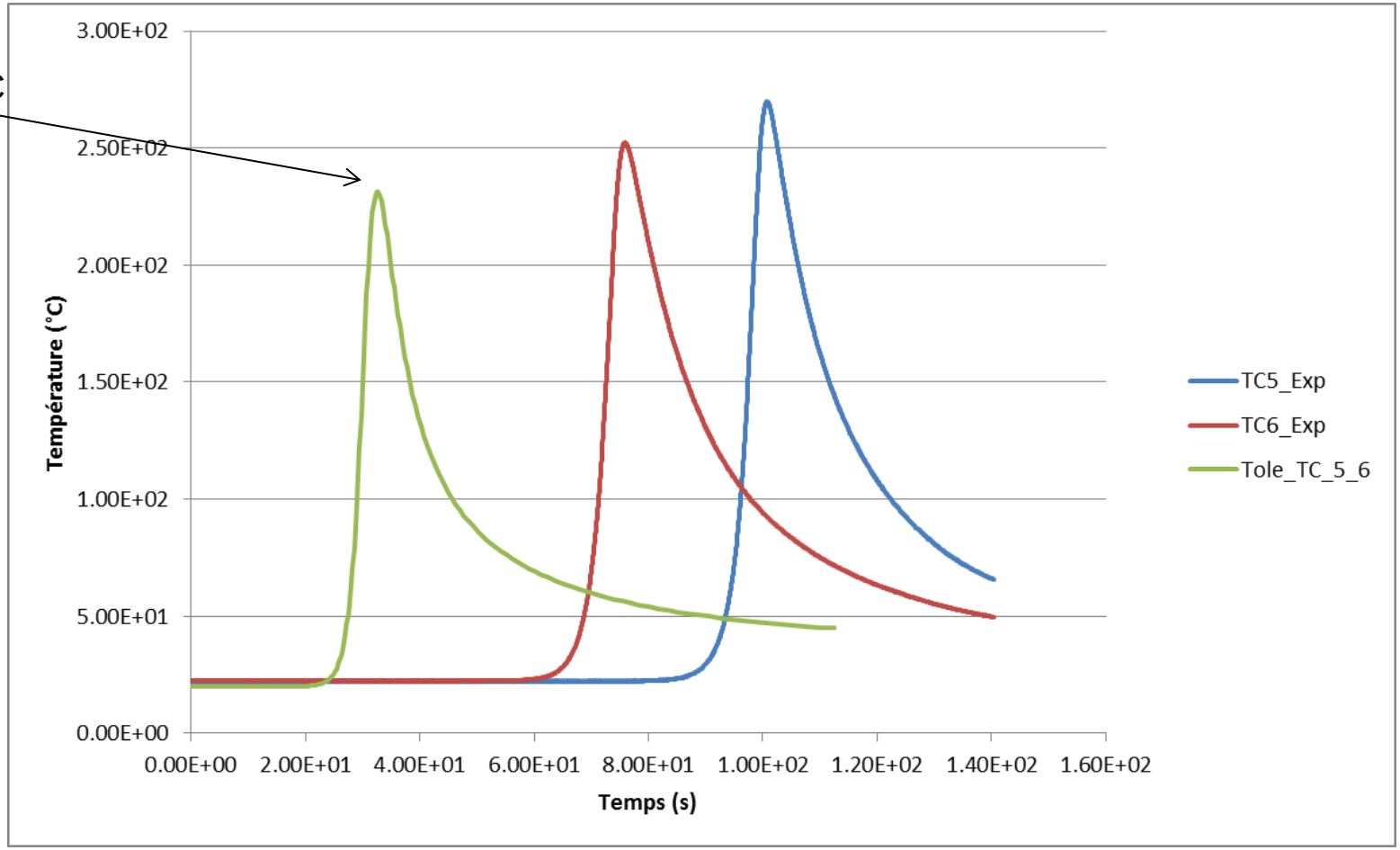
Compensé si conductance fonction de la température ?

Modèle de simulation – 2ème simulation – Ajustement manuel

Puissance : x1.1

Conductances : 20 000 W/m²/°C (sauf à l'interface enclume/tôle martyre)

Moins 10°C

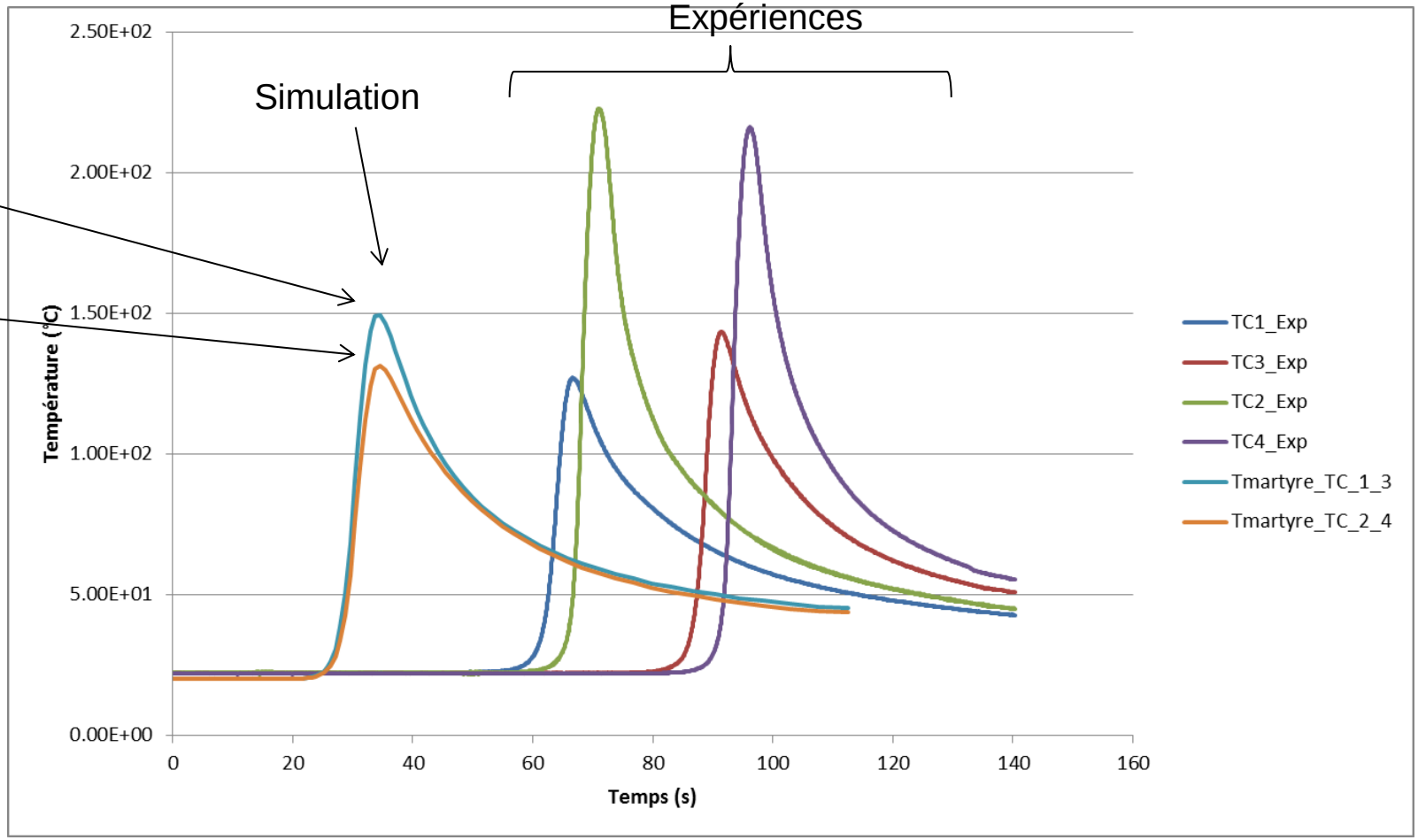


Tôle

Modèle de simulation – 2ème simulation – Ajustement manuel

Puissance : x1.1

Conductances : 20 000 W/m²/°C (sauf à l'interface enclume/tôle martyre)



Tôle Martyre

La conductance doit être plus grande pour les températures élevées que pour les températures basses

Identification – Paramètres à identifier

- La source de chaleur (Puissance à injecter), sous la forme d'un coefficient
- Les conductances thermiques de contact :
  - entre le raidisseur et la tôle,
  - entre la tôle et la tôle martyre,
  - entre la tôle martyre et l'enclume (pas d'identification car pas sensible),

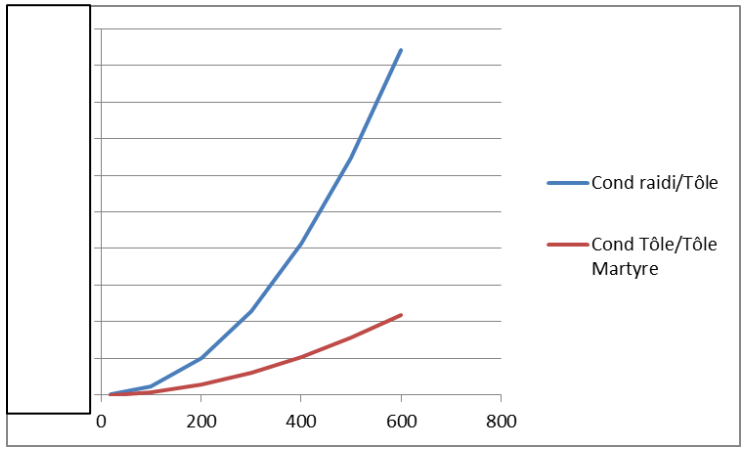
.

Différents modèles de dépendance à la température ont été testés :

- pas de dépendance, une valeur à définir
- dépendance linéaire, deux valeurs à définir,
- dépendance en puissance, $C(\theta) = a\theta^b$

Soudage instrumenté – Optim7

Zone de contact réduite entre raidisseur et tôle (-11.5 mm)



Evolution des conductances avec la température

Réduction des écarts

	Sim (°C)	Exp (°C)	Ecart (°C)
Raid Adv	316	283	33
Raid Retrea	278	280	-2
Raid Rayon	118	142	-24
Tôle	253	261	-8
Tmartyre Ax	212	219	-7
Tmartyre 9m	146	135	11
		Moyenne	1

Remarque : si décalage de TC de 0.7 mm pour le rayon, on passe de 118 à 122°C

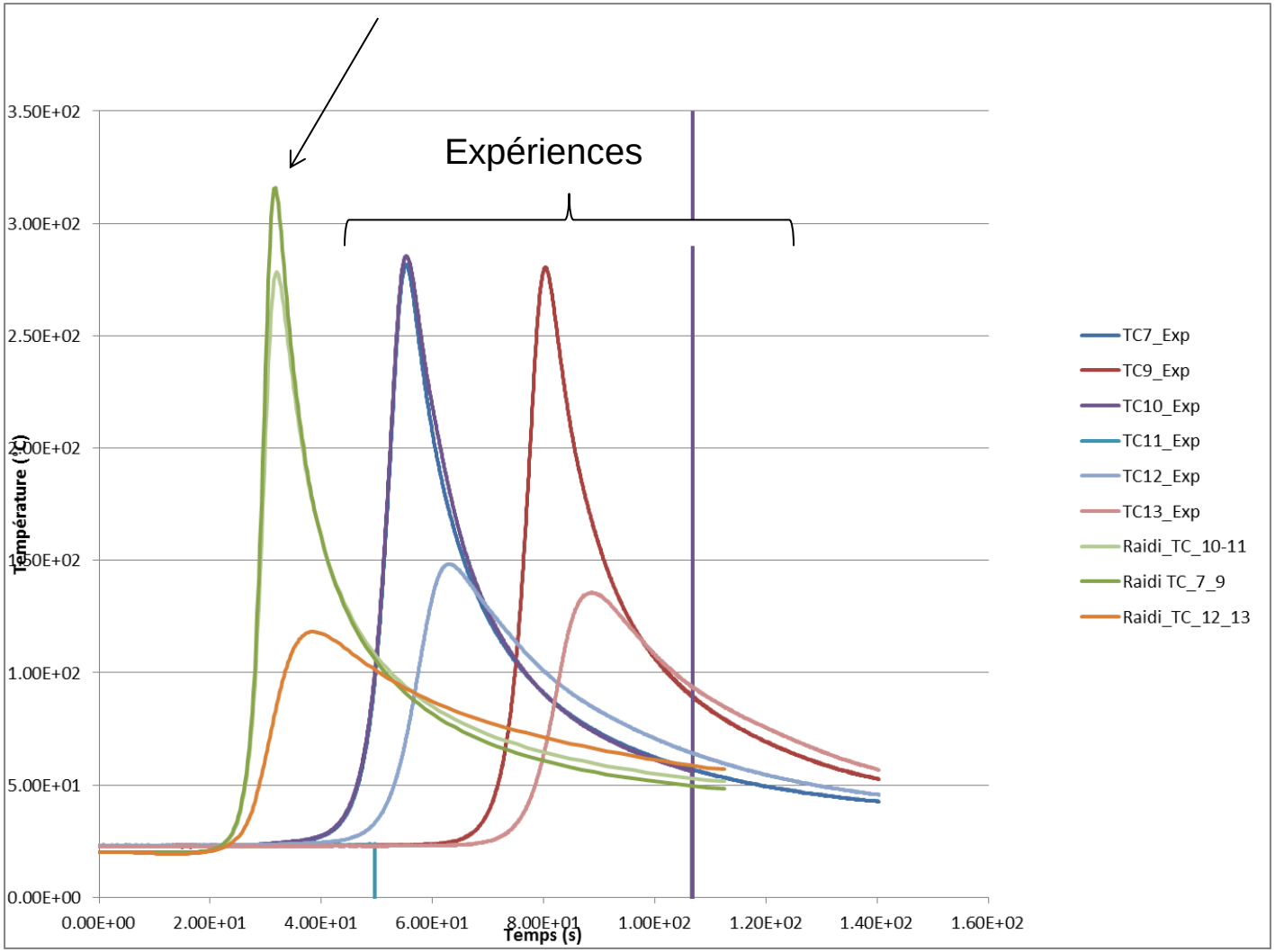
→ N'explique pas les écarts pour le rayon

→ Pour la tôle, si décalage de 0.5 mm par rapport à l'axe + 0.1mm dans l'épaisseur → 253 à 264°C

Soudage instrumenté – Optim7

Zone de contact réduite entre raidisseur et tôle (-11.5 mm)

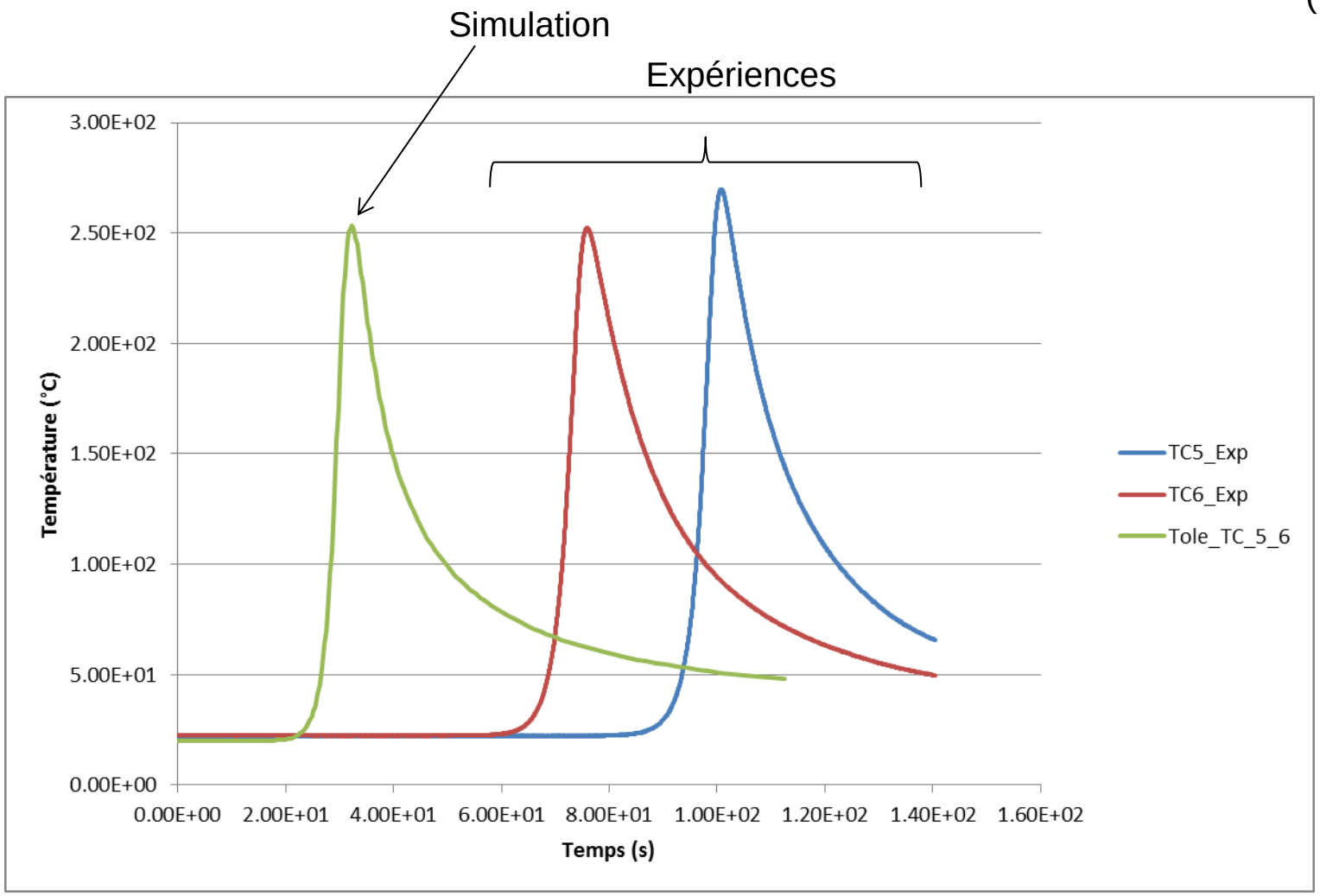
Simulation



Raidisseur

Soudage instrumenté – Optim7

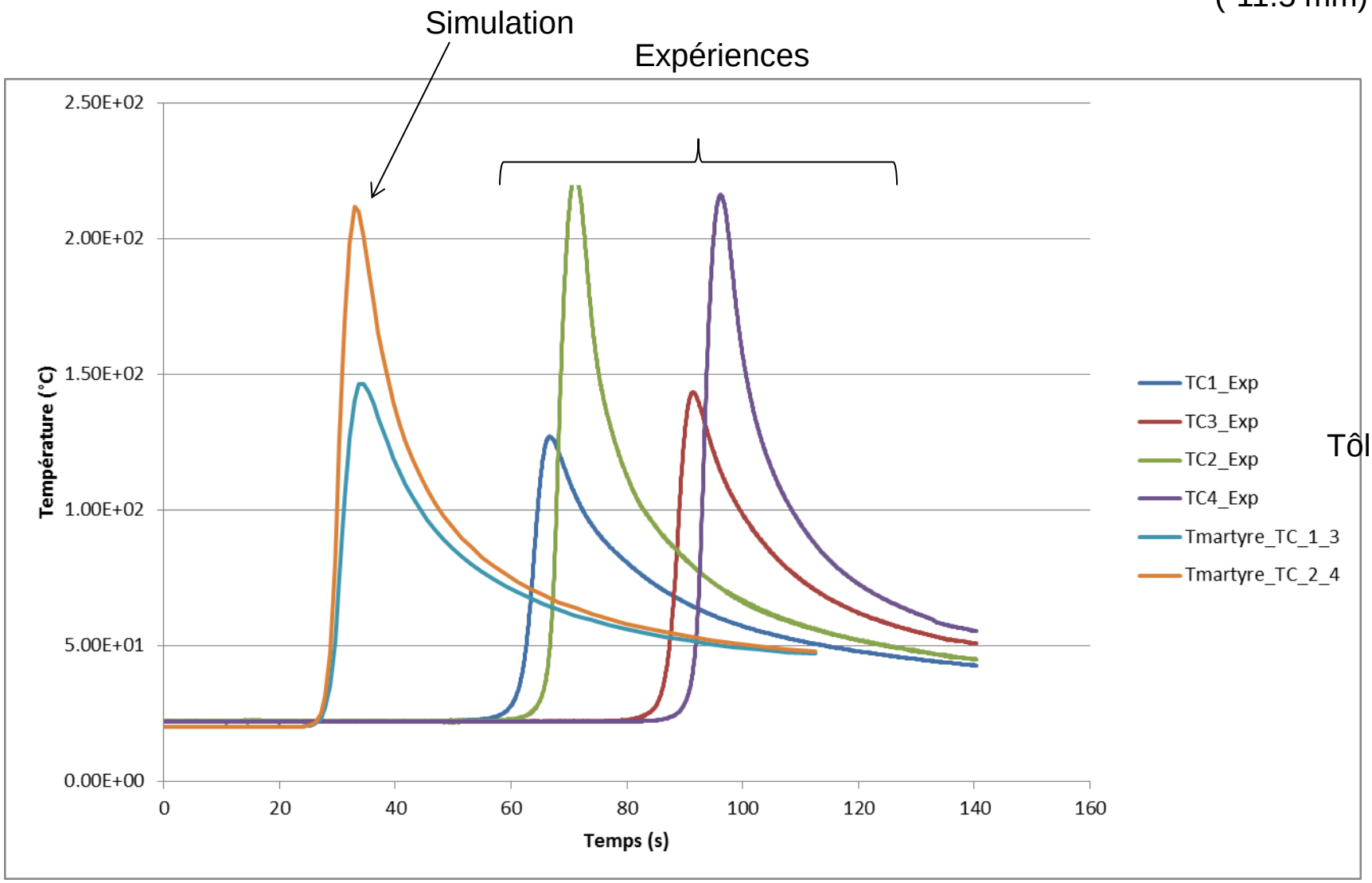
Zone de contact réduite entre raidisseur et tôle (-11.5 mm)



Tôle

Soudage instrumenté – Optim7

Zone de contact réduite entre raidisseur et tôle (-11.5 mm)



Tôle Martyre

Identification - Commentaire

- La sensibilité à la température semble très forte
- Les valeurs de conductance sont très différentes de celles identifiées en Bobbin-Tool (environ 600 W/m²/°C)
- Une modélisation plus physique devrait prendre en compte la pression
- Les fortes variations de conductance sont sans doute plus liées à la variation de la pression que de la température.

Conclusion

- Deux exemples ont été présentés pour lesquels l'influence des flux thermiques dans l'outillage sont très différentes
  - Soudage Laser
  - FSW
- Les approches imaginées et développées dans les labos universitaires ont été transférées et ont permis d'améliorer les connaissances et le savoir-faire des industriels.