



**Analyse de la Robustesse
de la simulation numérique du soudage
sur géométrie simple
Aluminium 6056T4**

Emmanuel JOSSERAND *

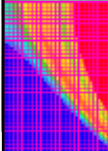
Luc DISCHERT**

Jean-François JULLIEN *

Fabien BAYLE***

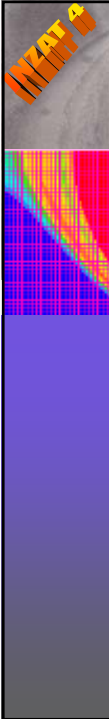
Philippe BERTRAND***

*INSA/LaMCoS ***ENISE/DIPI ** ESI Group



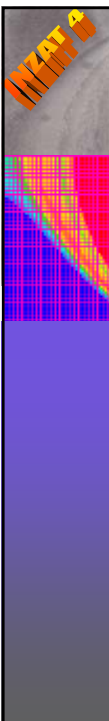
Sommaire

- I. Cadre de l'action de recherche
- II. Logiciel SYSWELD pour la SNS
- III. Simulation numérique d'un cas test de référence



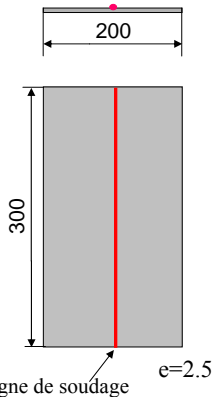
I. Cadre de l'action de recherche

- Programme de recherche INZAT 4 (aéronautique, nucléaire, ...)
 - « Simulation Numérique du Soudage : Modèles - Modélisation numérique - Robustesse »
- Cas du soudage laser aluminium.
- Tests de référence soudage alu pour validation de la SNS.
 - Première campagne ENISE / DIPI 2005.
 - Seconde campagne Univ. Bourgogne / LTM 2006.



Cas tests de référence : géométrie

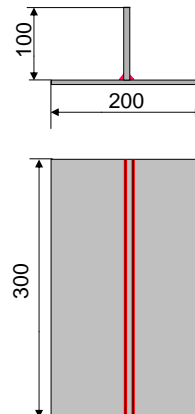
➤ Cas test 1



Test_1a : Régime de conduction,
V=12.5 mm/s - P=2000 W

Test_1b : Régime de keyhole
V=30 mm/s - P=1350 W

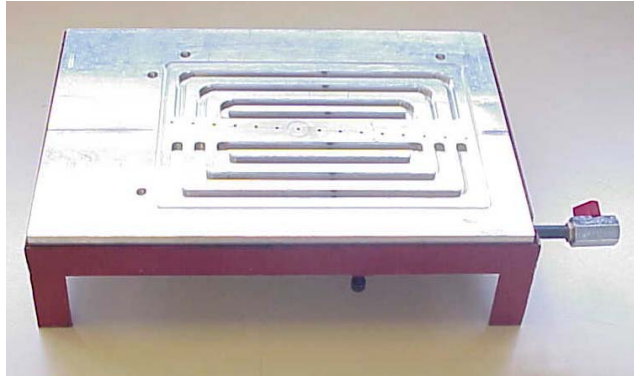
➤ Cas test 2



Alu 6056 T4

Cas tests de référence : Conditions aux limites

- Maintien des plaques sur table à vide



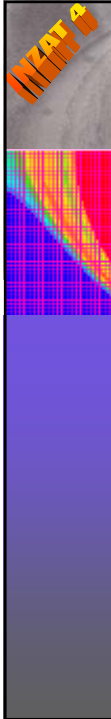
Mesures expérimentales

- Champs de déplacement vertical : Métrologie par MMT
- Champs dans le plan : Corrélation d'images
- Température : - Thermocouples
- Pyrométrie

Avant soudage	MMT Corrélation d'images
Pendant soudage	Température par thermocouples Température par pyrométrie
Post mortem	MMT Corrélation d'images

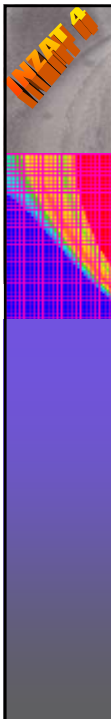
Mesures exploitées

- Température $T=f(X,t)$
- Distorsions, déformations résiduelles



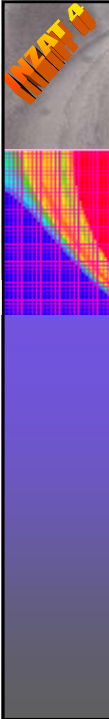
II. Logiciel SYSWELD

Luc DISCHERT
ESI Group



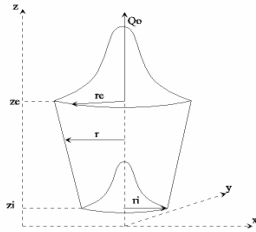
III. Simulation numérique de l'opération de soudage

- Simulation du cas test 1
- Propriétés thermo-physiques 6056T4
- Propriétés mécaniques AlMgSi1 – 6082
- Déroulement de la SNS :
 1. Calage de la source de chaleur
 2. Maillage
 3. Modèle thermique 3D
 4. Modèle mécanique 3D



1. Calage de la source de chaleur

➤ Modélisation du soudage à haute énergie par une conique gaussienne

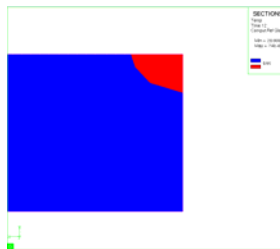
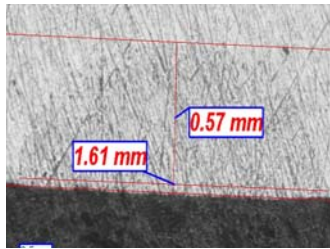


$$Q(r, z) = Q_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2(z)}\right)$$

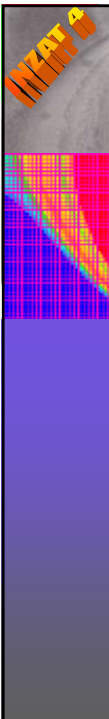
$$r_0(z) = r_e - (r_e - r_i) \left(\frac{z_e - z}{z_e - z_i}\right)$$

$$P = Q_0 \times \text{volume} = \frac{1}{3} \pi (z_e - z_i) (r_e^2 - r_i^2 + r_e r_i)$$

➤ Calage de la source à partir d'observations métallographiques

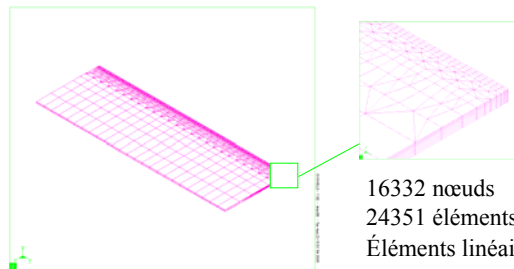


$Q_0 = 250 \text{ W} / \text{mm}^3$
 $r_e = 2.2 \text{ mm}$
 $r_i = 0.3 \text{ mm}$
 $z_e = 0 \text{ mm}$
 $z_i = 0.75 \text{ mm}$



2. Maillages

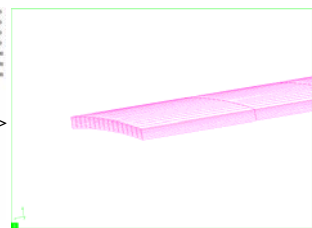
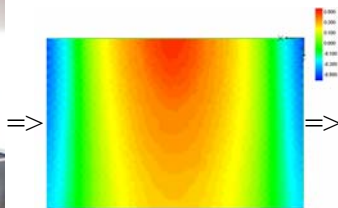
➤ 1er Maillage



Mailles : 1.25 x 0.7 x 0.3
 au niveau de la ligne
 de soudage

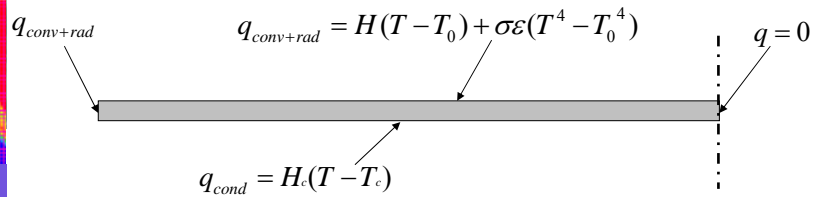
16332 nœuds
 24351 éléments
 Éléments linéaires

➤ 2nd Maillage : Prise en compte du défaut géométrique



3. Modèle thermique

➤ Conditions limites thermiques



➤ Transfert par convection dans l'air : $H = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$

➤ Transfert par rayonnement : $\epsilon=0.8, \sigma=5.67\cdot 10^{-8}$

➤ Transfert par conduction dans la table à vide :

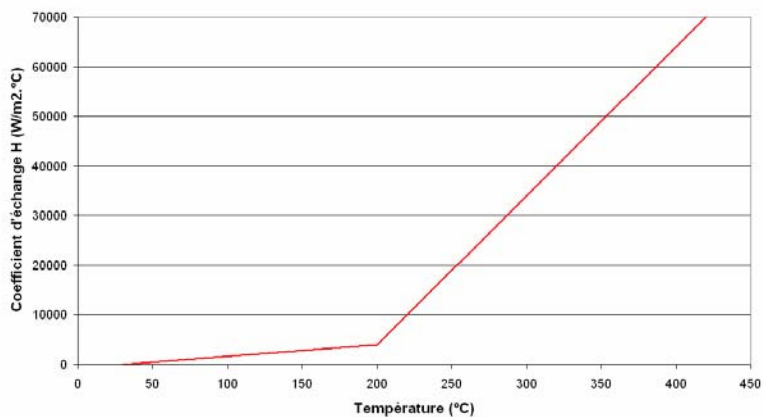
- Premier modèle => $H_c = \frac{\lambda_c}{e} = 7000 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$

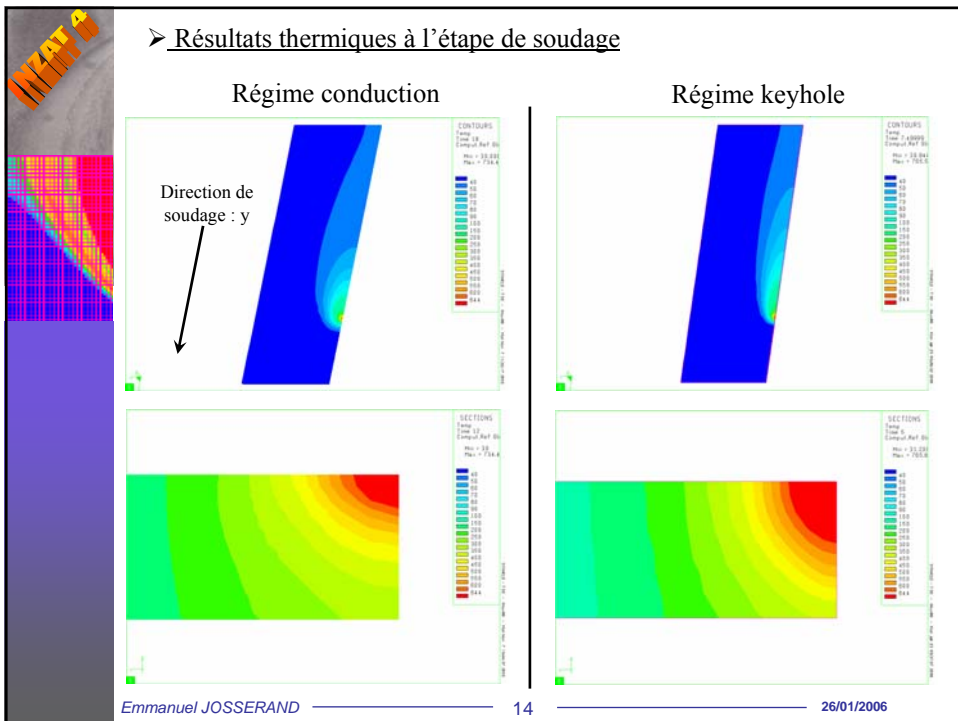
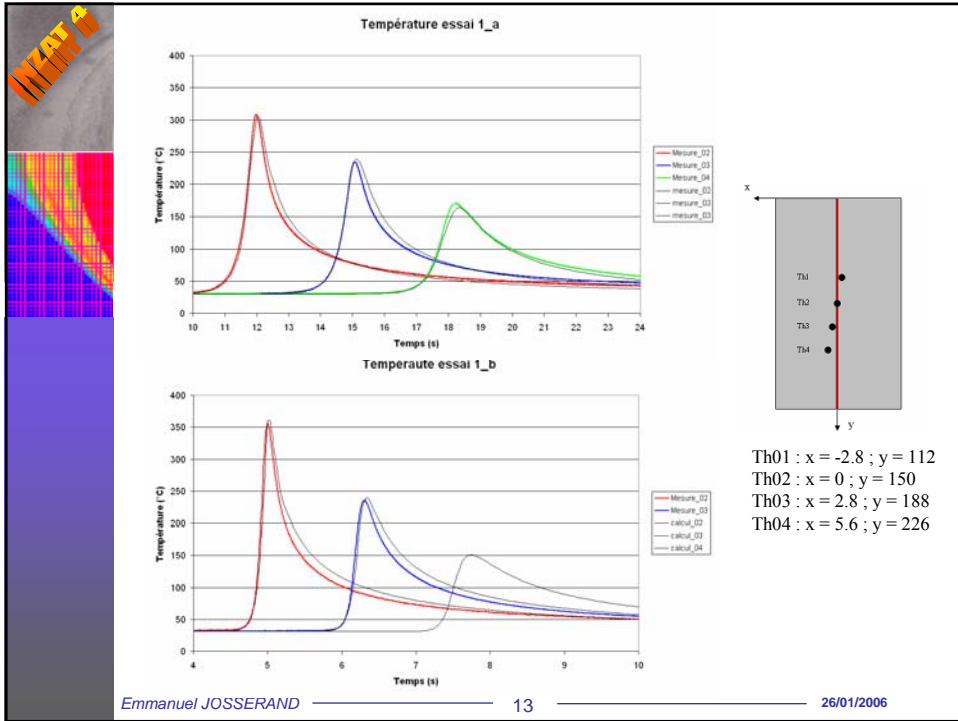
- Second modèle => $H_c = f(T)$

➤ Calage du flux de conduction avec la table à vide

$$q_{cond} = H_c(T - T_c) \quad H_c = f(T)$$

Calage du flux de conduction





3. Modèle mécanique

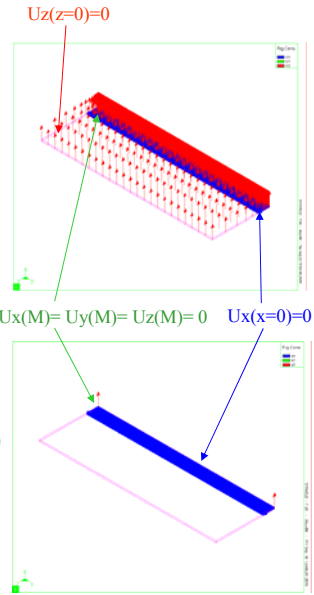
➤ Conditions limites mécaniques

Étape de soudage et refroidissement :

- Contact plaque / table à vide => $U_z(z=0)=0$
- Symétrie => $U_x(x=0)=0$
- Point fixe => $U_x(M)=U_y(M)=U_z(M)=0$

Étape « unclamped » :

- Symétrie => $U_x(x=0)=0$
- Points fixes => $U_x(M)=U_y(M)=U_z(M)=U_z(N)=0$

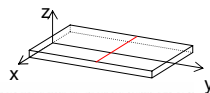


➤ Déplacement transversal U_x

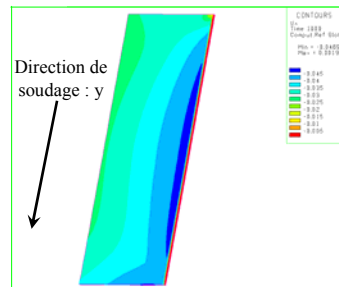
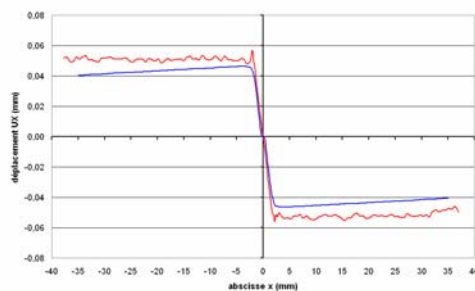
Dépôt de mouchetis



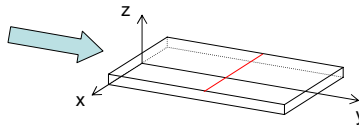
Caméra numérique



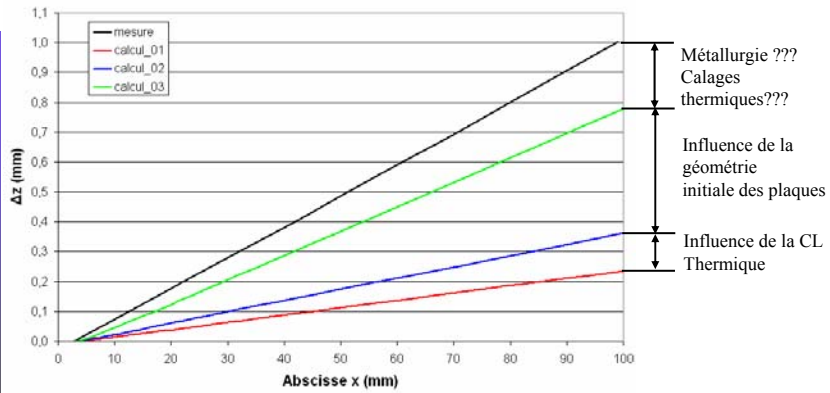
Déplacement transversal (U_x) sur une ligne transversale à $y=160$



➤ Déplacement Uz - Flèche résiduelle



Flèche sur une ligne transversale à y=160

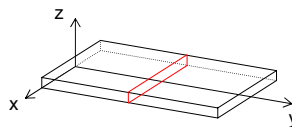


Métallurgie ???
Calages
thermiques???

Influence de la
géométrie
initiale des plaques

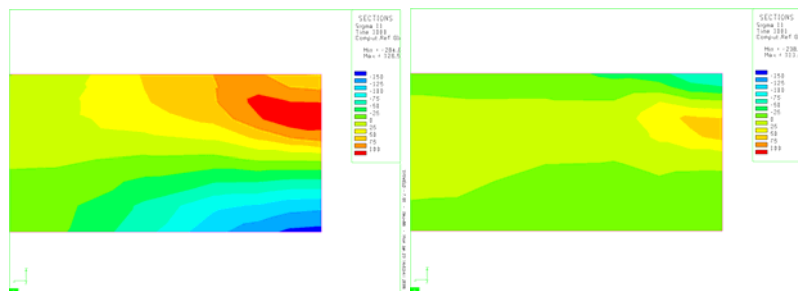
Influence de la CL
Thermique

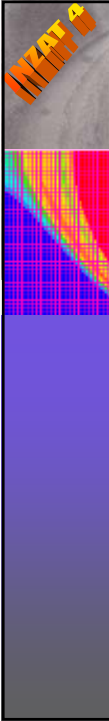
➤ Contrainte transversale dans une section



Avant relâchement :

Après relâchement :





Conclusions et perspectives

Soudage = phénomène

Thermo - Métallo - Mécanique

