

Comparison between numerical and experiment approach to evaluate residual stresses on dual phase steel welded by a laser YAG process

KOUADRI-HENNI Afia^{1,2,a)}

Université Bretagne Loire, France

INSA Rennes- Equipe de
Recherche LS2N, CNRS

C. SEANG

ITC Cambodge

MALARD Benoît^{3,b)}

CIRIMAT, Université de Toulouse,
CNRS

V. KLOSEK^{d)}

CEA de Saclay/DSM/IRAMIS/LLB

seat, shotgun, B-pillar

floor panel tunnel

Safety cage components



front sub-frame package tray

engine cradle

Démarche: Réduire l'épaisseur des tôles

Objectif: Réduire le poids des véhicules

Problématique industrielle: conserver les mêmes qualités mécaniques de sécurité

Verrous scientifiques: impact des contraintes résiduelles

Approche



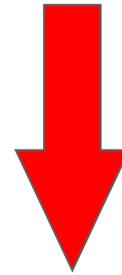
➤ **Choix du procédé de soudage**

➔ **Le laser de puissance**

➤ **Choix du métal de base**

➔ **Acier dual phase : DP600**

Propriétés mécaniques



➤ **Residual stresses**

➤ **Choix des contraintes résiduelles: impact important dans la tenue en service des structures assemblées**

Étape 1: Approche systémique du procédé
Relation procédé- matériau

EXPERIMENTALE

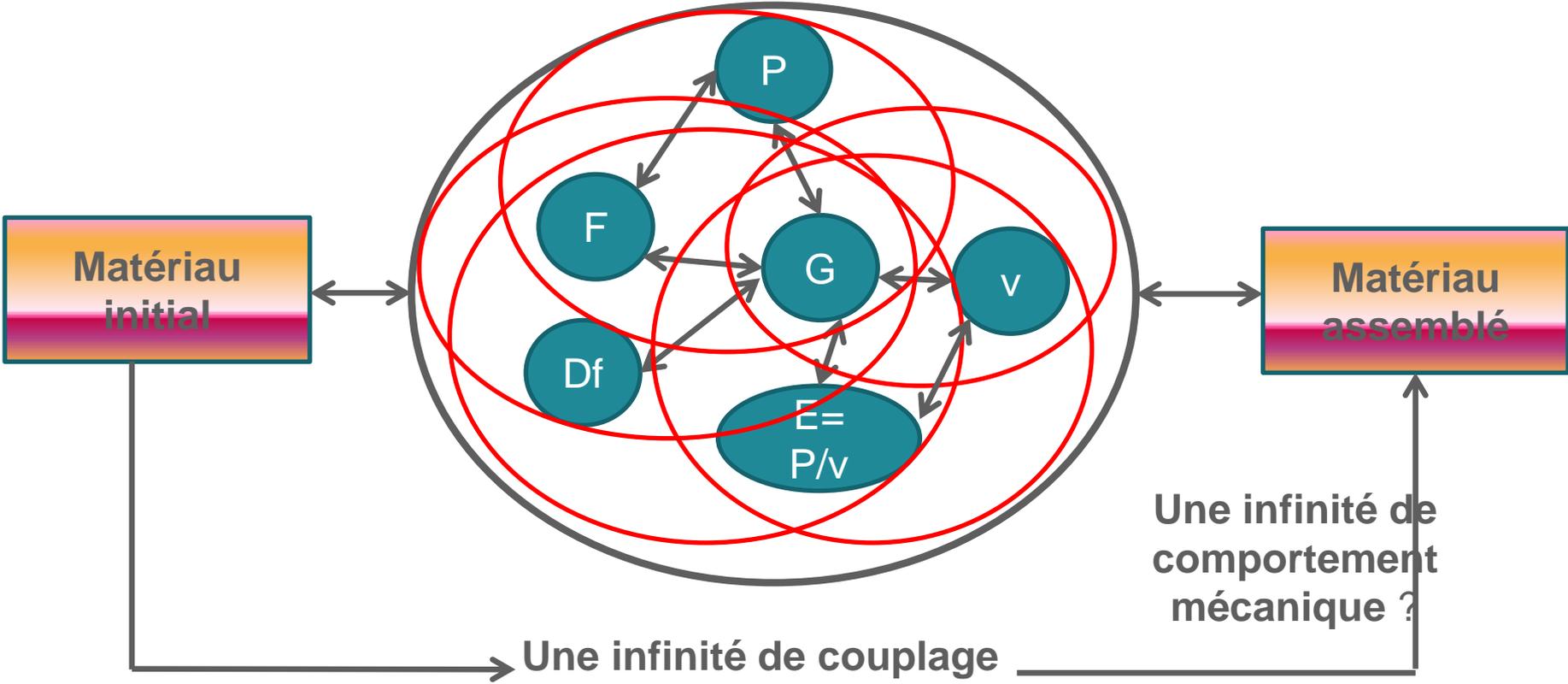


ANALYTIQUE



NUMERIQUE

LE PROCEDE LASER- ENVIRONNEMENT



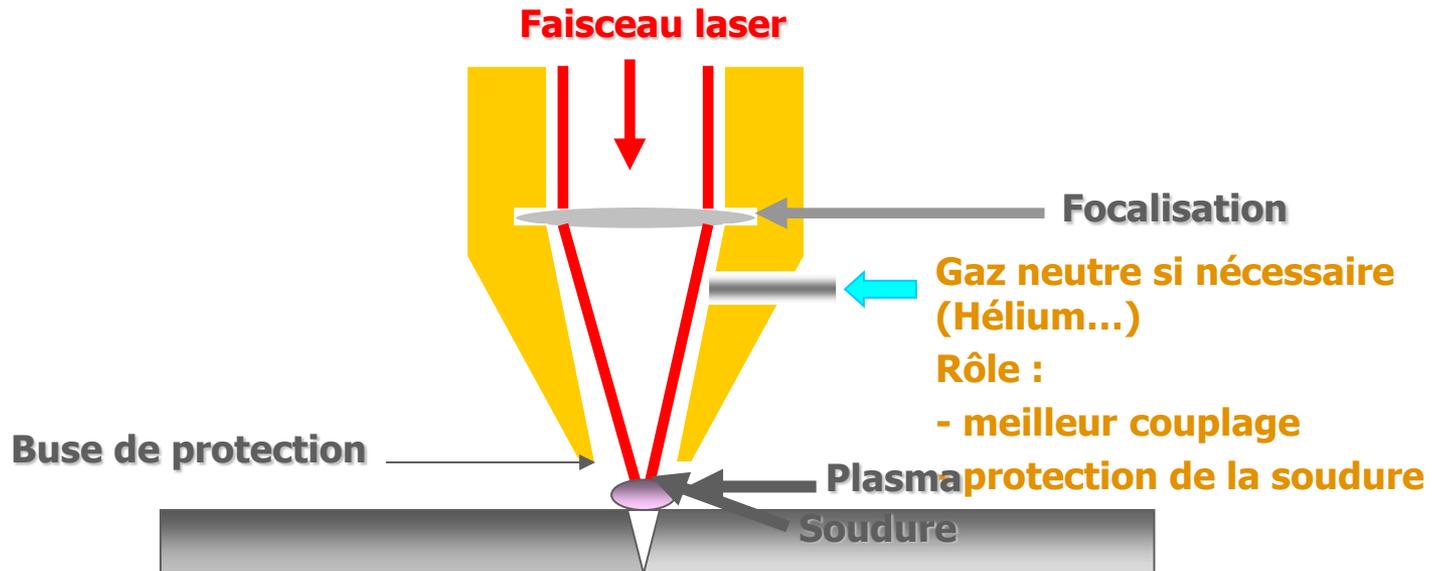
Rappel du principe du Procédé de soudage laser de puissance

- **Le principe d'une soudure repose**

- Sur le phénomène de la fusion localisée de la matière au point d'impact du faisceau laser
- Formation d'un bain de fusion (phénomène keyhole).

- **Le matériau est :**

- Fondu
- Une partie est vaporisée en fonction des puissances crêtes atteintes.



Ce phénomène est suivi

- D'une condensation
- D'une solidification immédiate.

Le soudage nécessite de fortes densités de puissance obtenues en travaillant au point focal de l'ordre de 10^5 W/cm^2 à 10^7 W/cm^2 .

Avantages

- Précis et rapide
- Petite zone affectée thermiquement (ZAT)
- Surface oxydable réduite
- Soudure « propre en apparence »
- Peu de déformation
- Application dans de nombreux secteurs industriels:

Inconvénients

Gradient de température important « frappe chirurgicale »

Conséquences: gradients chimiques, métallurgiques, mécaniques, contraintes résiduelles

Préparation de nos échantillons

Laser YAG, 4 kW



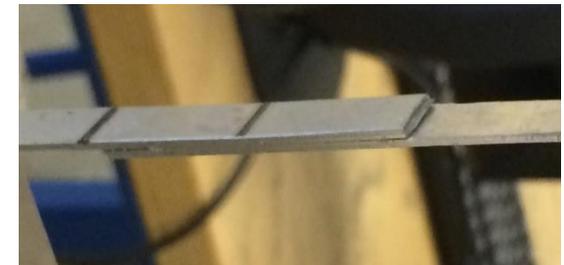
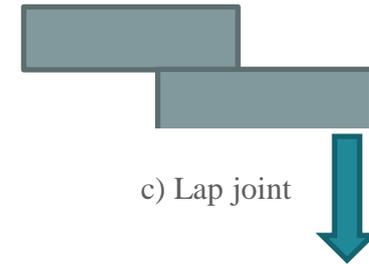
Un procédé d'assemblage et ses caractéristiques

Conception spécifique



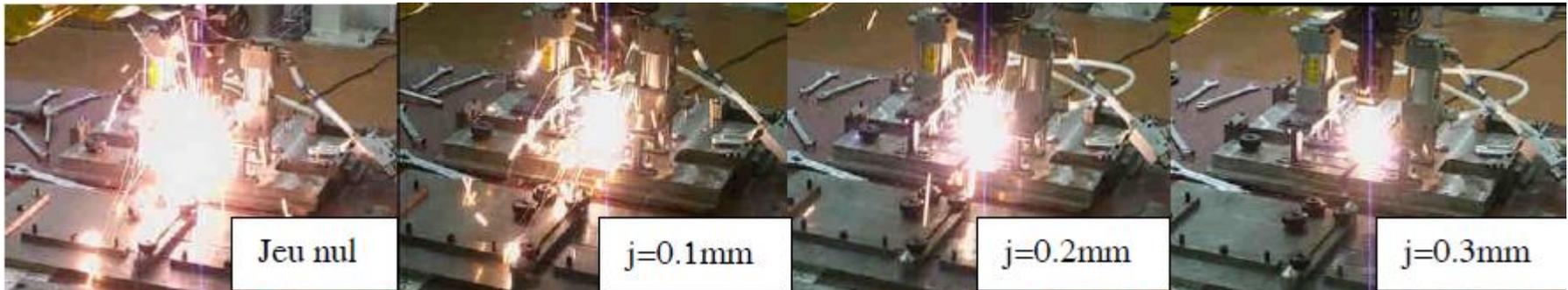
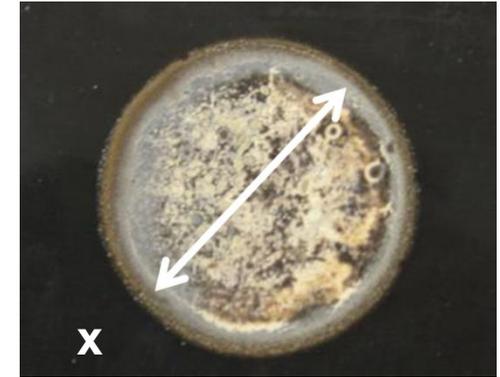
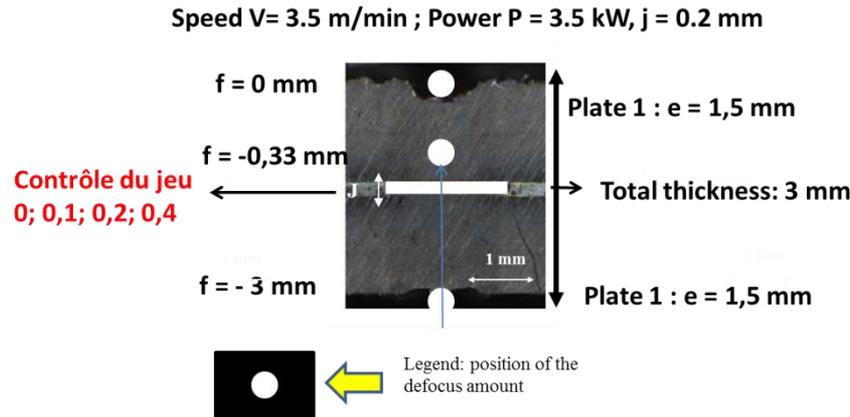
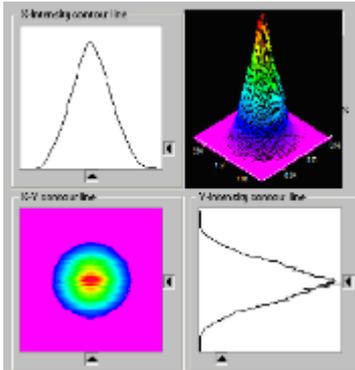
Une conception mécanique adaptée à la configuration d'assemblage

Un environnement spécifique suivant la nature des matériaux



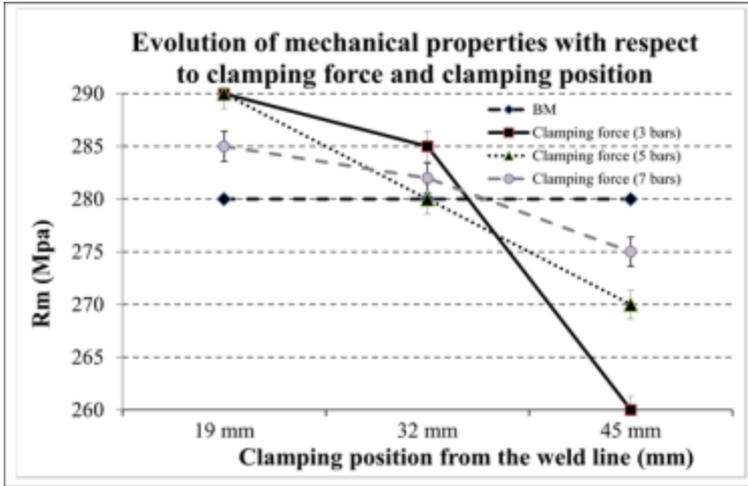
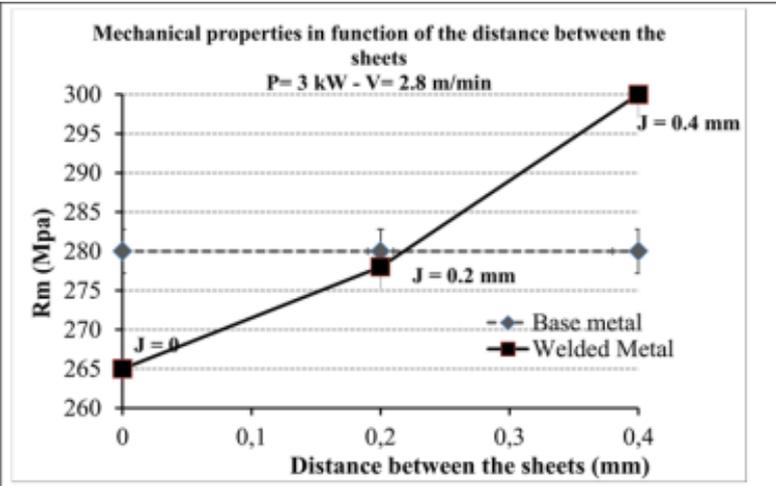
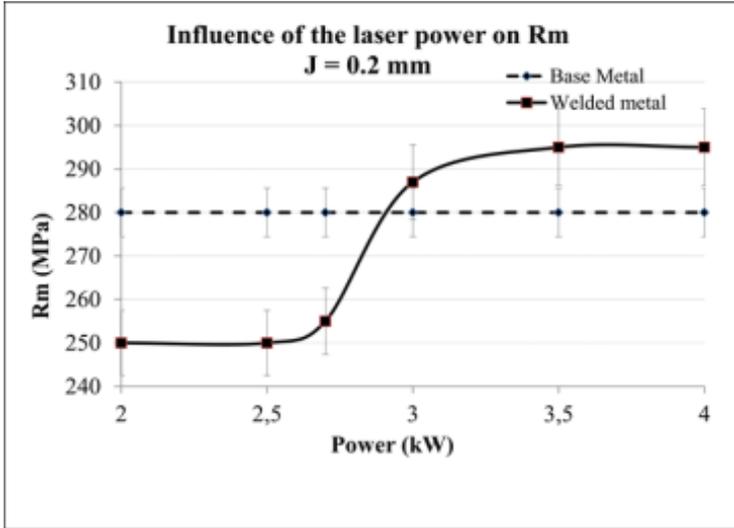
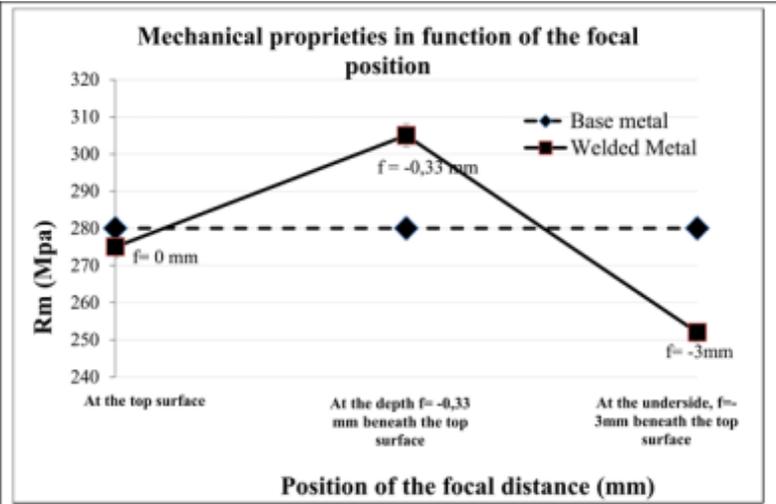
DP600 joint par lap joint

APPROCHE DU PROCEDE: plans d'expérience

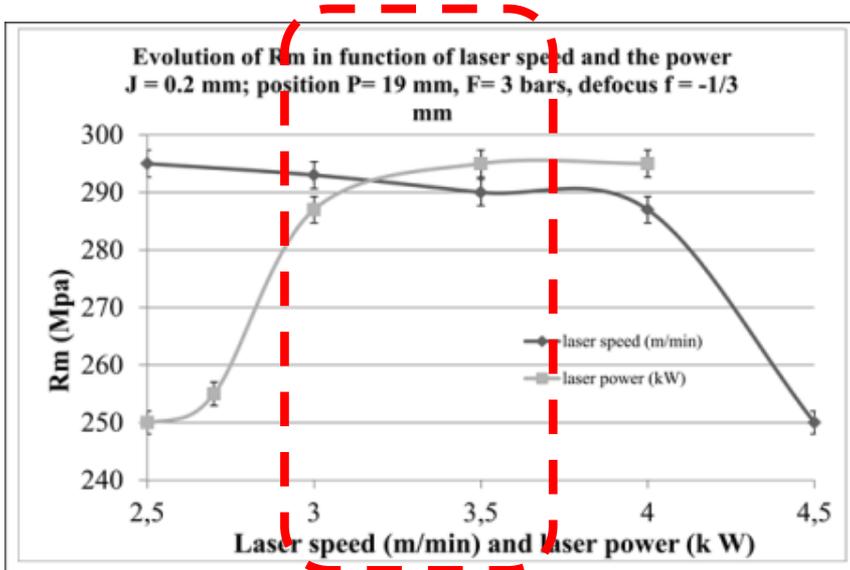


Extraits de vidéos de soudage de tôles zinguées à puissance et vitesse Variables et pour différents jeux inter-tôles (Master de Julien Bigot).

OBJECTIFS: créer des échantillons dont les conséquences des paramètres du procédé sont maîtrisables, répétables et conformes aux critères qualités attendus



Zone d'optimisation mécanique



Joint conforme aux critères

Weld bead with optimized parameters : $P = 3 \text{ kW}$; $V = 3 \text{ m/min}$

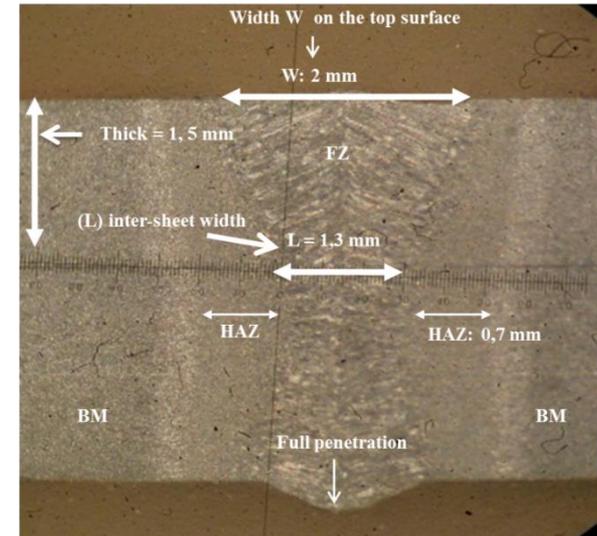


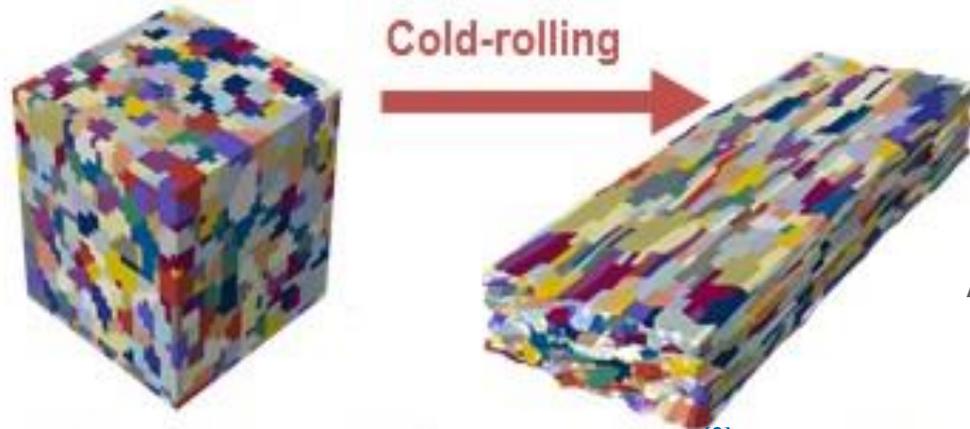
Table 5- FZ penetration (D) for different ration P/V with constant thickness (3 mm)

Ration P/V	D (mm) penetration		
	calculated	Measured	Error (%)
0.5	2.4	2.6	7.70
0.875	2.6	2.8	7.14
1	2.7	2,6	3.7
1.2	2.8	2,7	3.57
1.4	3.5	3	-14.5
1.6	4	3	-25

Convergence
expérience - analytique

Prise en compte de l'historique du matériau

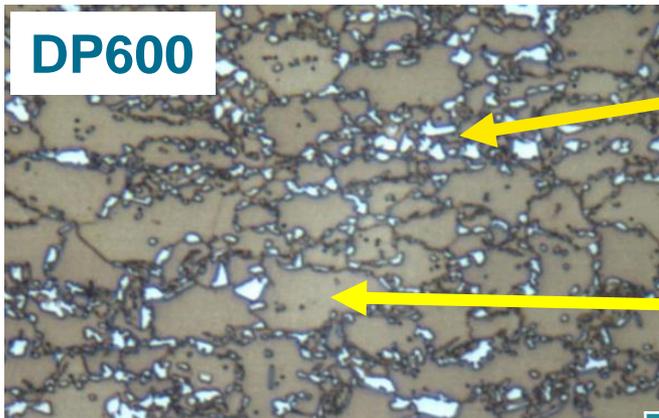
Métal de base issu d'un laminage à froid



Anisotropie ?

Microstructure evolution of cold rolling^[2]

[2] Karlsruhe Institute of Technology, **Project A1: Microstructure evolution during rolling and recrystallization**

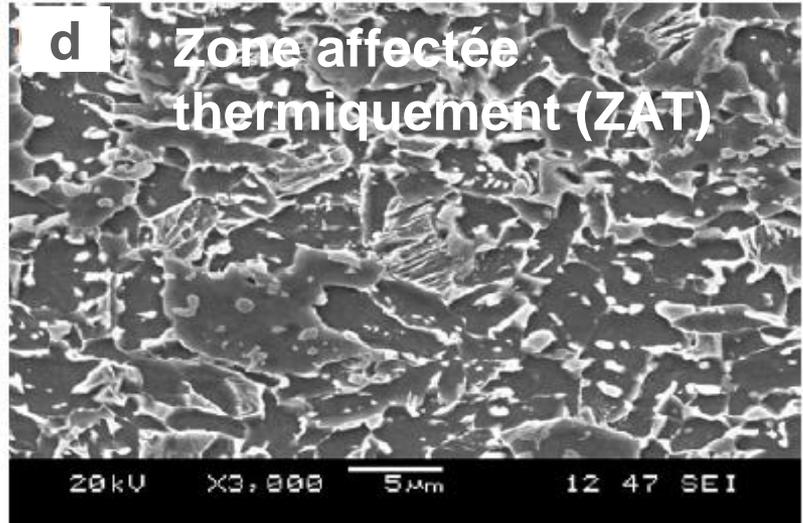
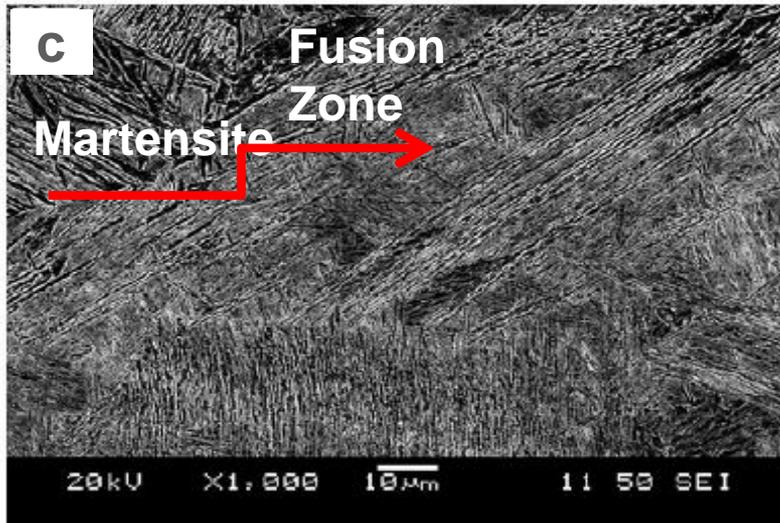
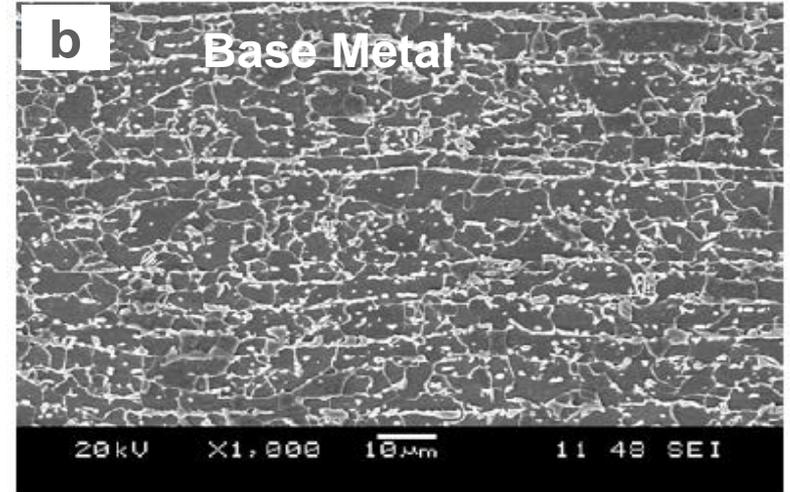
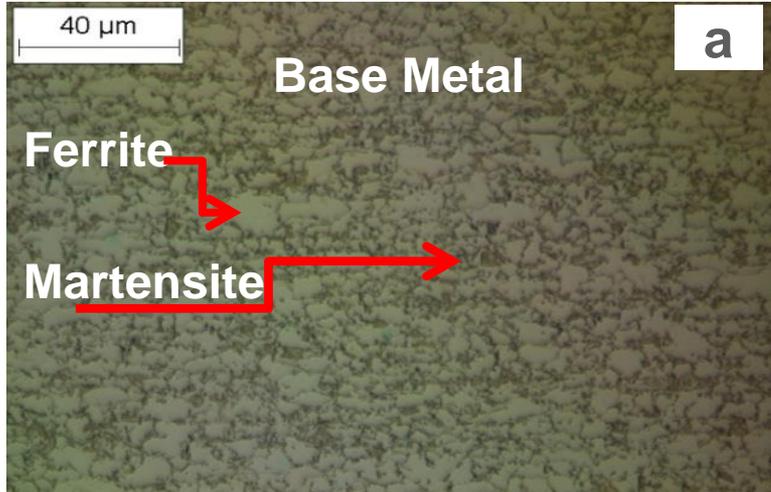


Hard martensite phase (20 %)
High strength

Soft ferrite phase (80 %)
Adequate ductility

Mechanical properties of DP600 steel used			
Steel	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Elongation (%)
MPa	400 ± 40	654 ± 14	23 ± 1

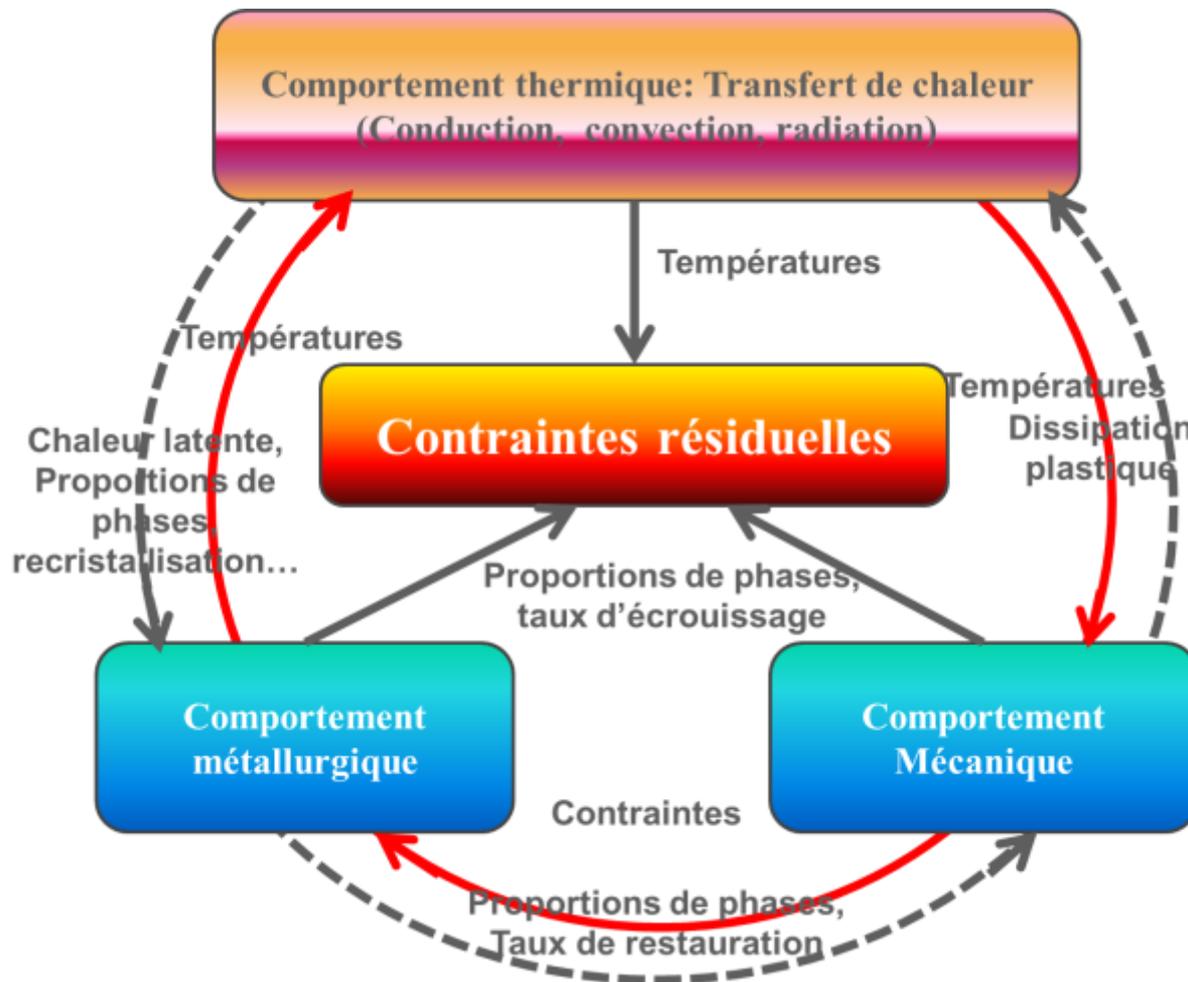
Conséquence première: 3 zones différentes aux propriétés métallurgiques et mécaniques différentes



Zone de fusion martensitique

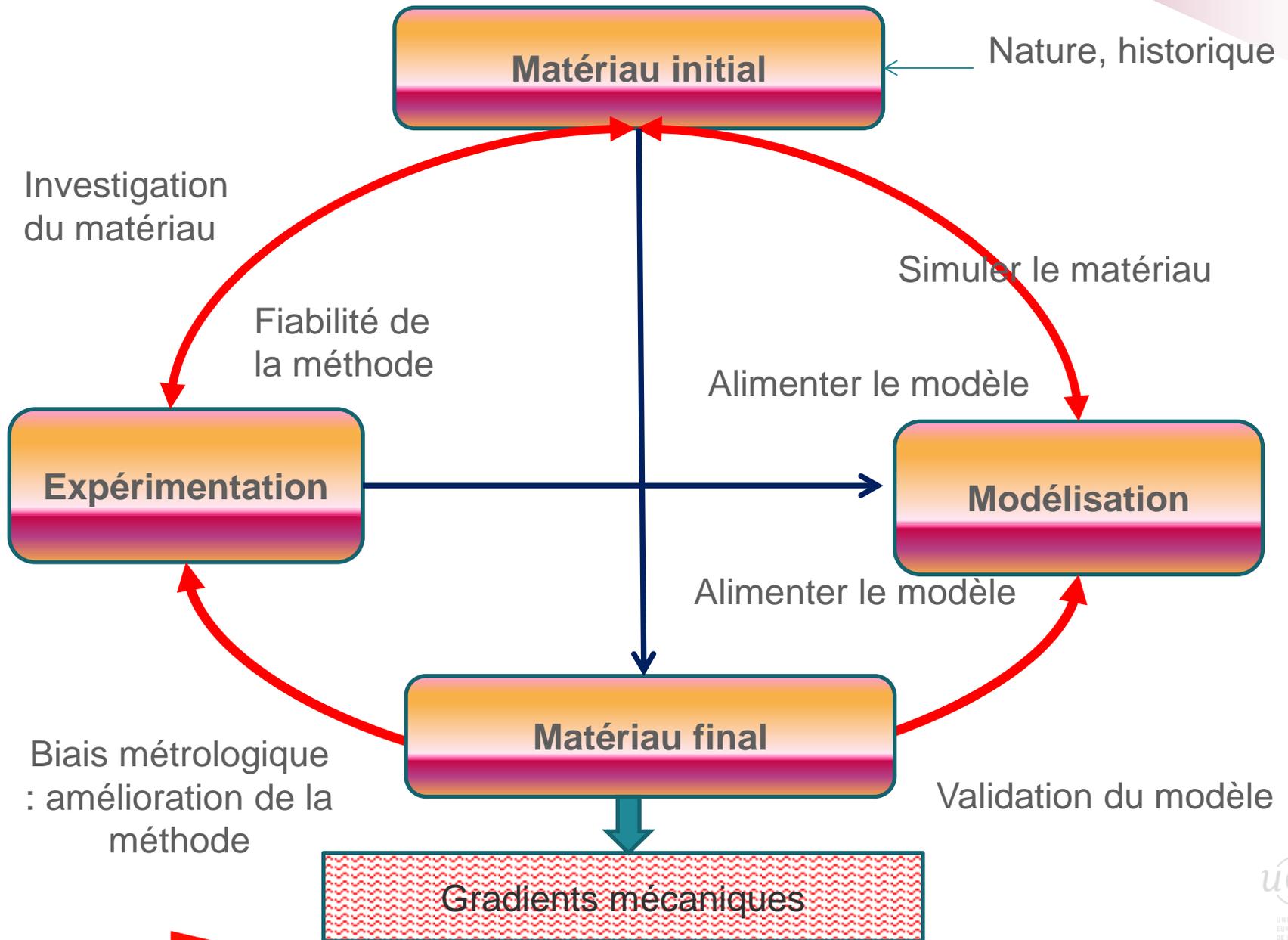
PROBLEMATIQUE SCIENTIFIQUE LIEES AUX CONTRAINTES RESIDUELLES

Importance des CR: modification de l'état mécanique, tenue en service, initiation de fissure

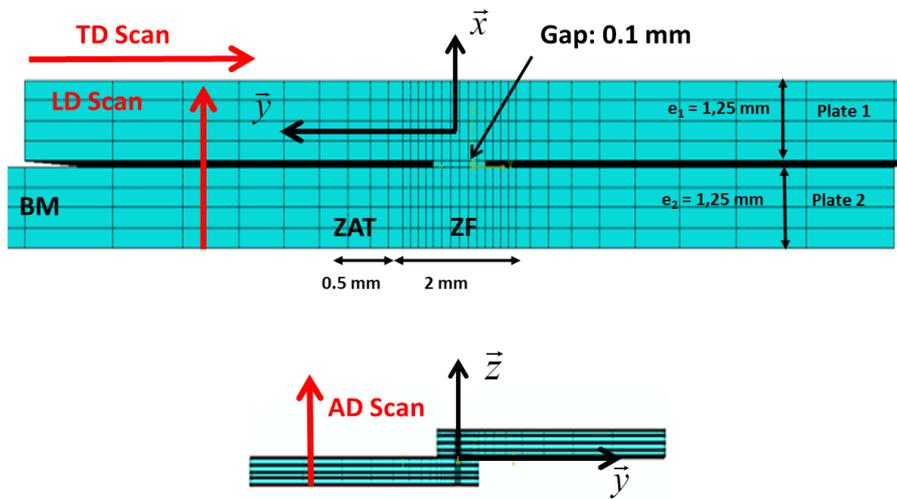


Difficultés

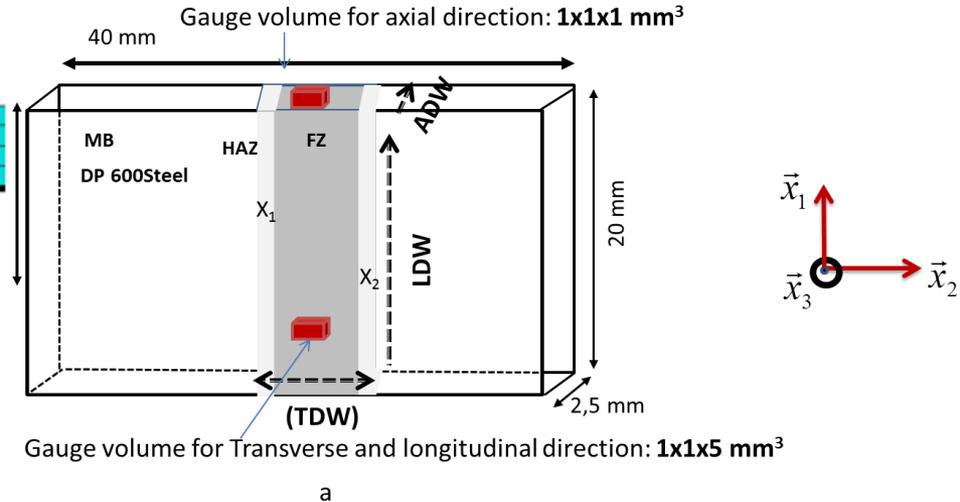
- ➔ Forts couplages
- ➔ Multi-physiques
- ➔ Hétérogènes



Présentation : configuration à clin



Conditions expérimentales aux neutrons



Notation:

Longitudinal scan (LD) in the direction x : longitudinal residual stresses

Transversal scan (TD) in the direction y : transversal residual stress

Axial scan in the direction (AD) z_3 : normal residual stresses

Calcul des contraintes résiduelles: loi de Hooke

$$\sigma_i = \frac{E_{110}}{1+\nu_{110}} \left[\varepsilon_i + \frac{\nu_{110}}{1-2\nu_{110}} \cdot \sum_j \varepsilon_j \right]$$

Residual Stresses Determination Using Neutron Diffraction Technique

Pour cette présentation, 1 seul échantillon est présenté: échantillon optimisé et répondant aux critères requis

Laser parameters	Power (kW)	Speed (m/min)	Defocus f (mm)	Gap (mm)
Sample 1	3,5	3,4	-0.33	0.1

Résultats expérimentaux

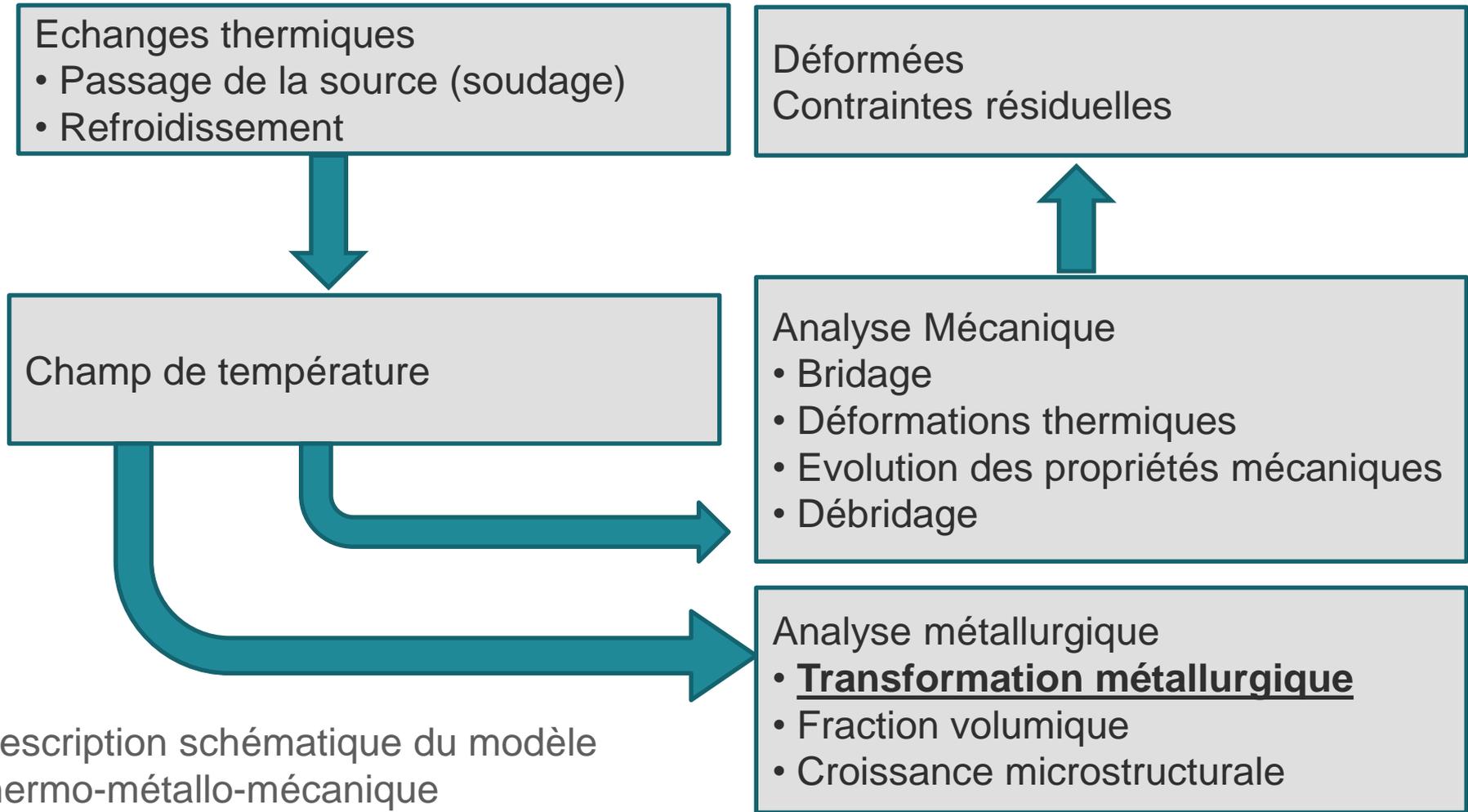
Residual stresses in different zones in different directions (Experiments)

Component	BM	HAZ	FZ
σ_{11}	300	180	320
σ_{22}	- 20	20	385

Hétérogénéités des CR dans les différentes zones et directions

Approche numérique

Modèle thermo- métallogéomécanique



Description schématique du modèle thermo-métallo-mécanique

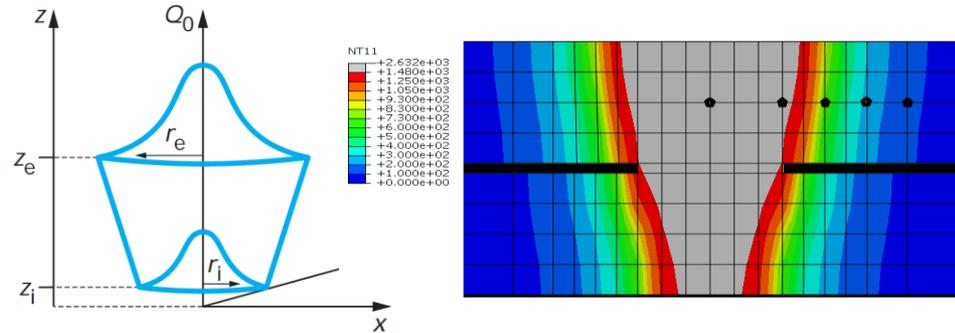
Thermal model

➤ Conical Heat Source Model moving at welding speed :

$$Q_v = 6\eta P \frac{e^2}{(e^2 - 1)(Z_e - Z_i)} \frac{e^{-2(\frac{r}{R})^2}}{(r_e^2 + r_e r_i + r_i^2)}$$

avec

$$R = r_e - (r_e - r_i) \frac{Z_e - Z}{Z_e - Z_i}$$

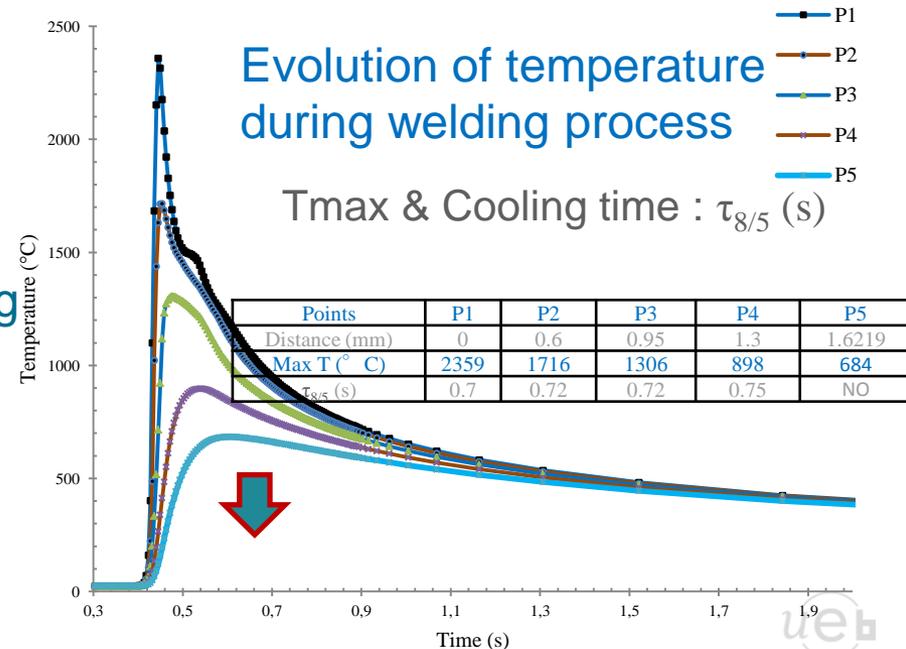


➤ Transient heat transfer equation :

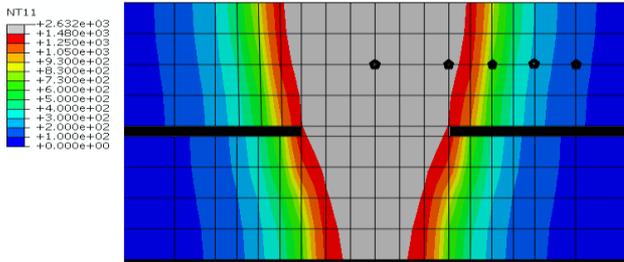
$$\rho \frac{dH}{dt} - \text{div}(\lambda \text{grad}T) - Q_v = 0$$

➤ With CI & BC applied on the surrounding surface of welded metal :

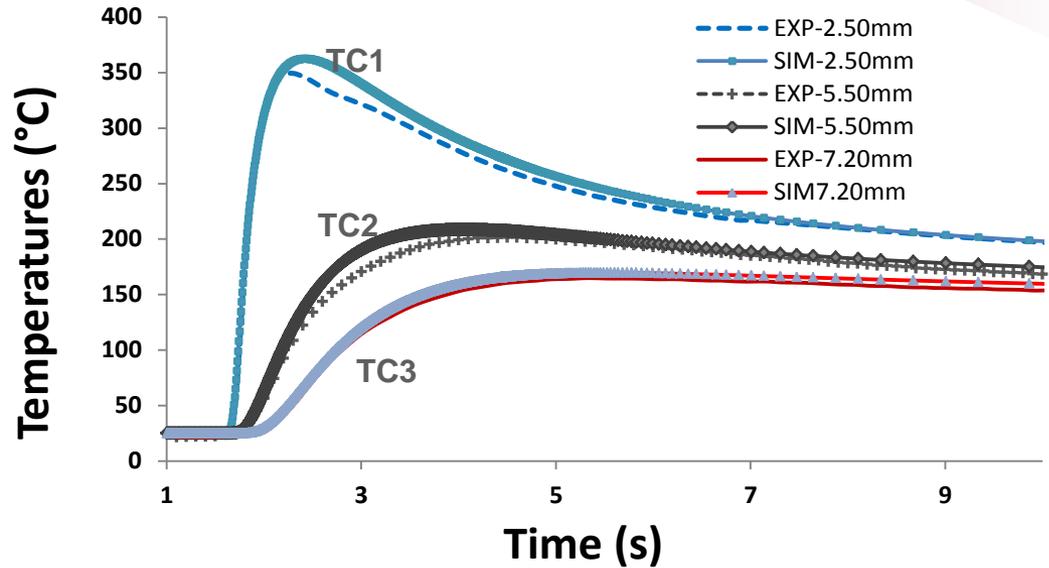
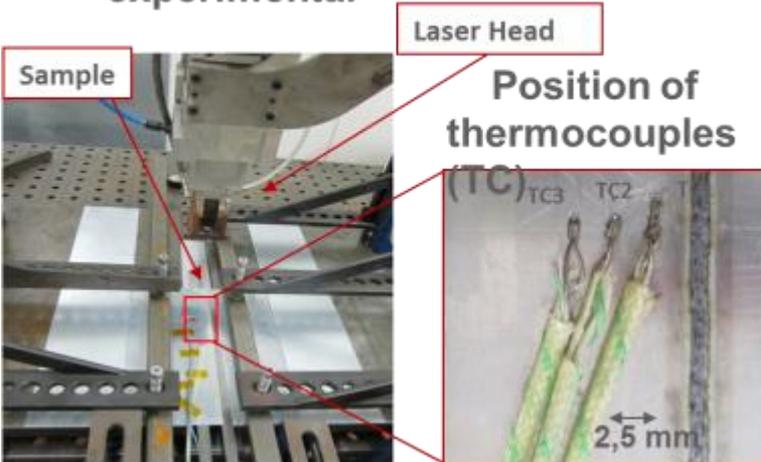
- Initial Temperature
- Convection & Radiation



CCT Diagram in the metallurgical model



Temperature experimental



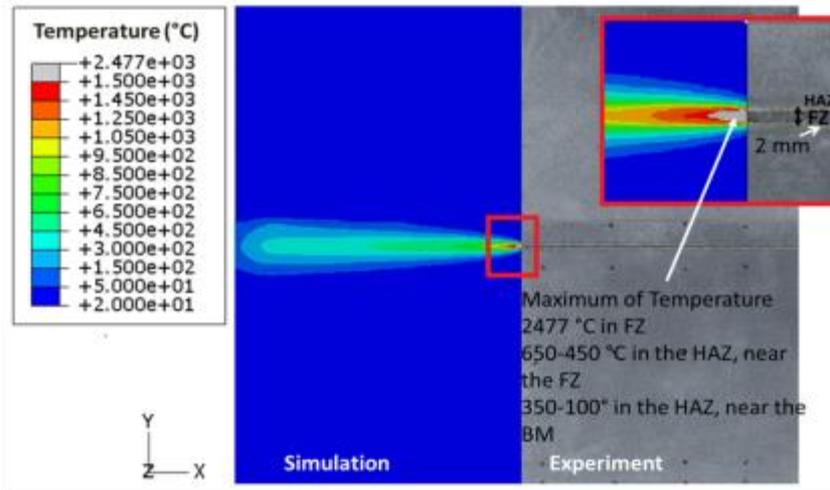
Comparison of temperature at 3 points from simulation and experiment



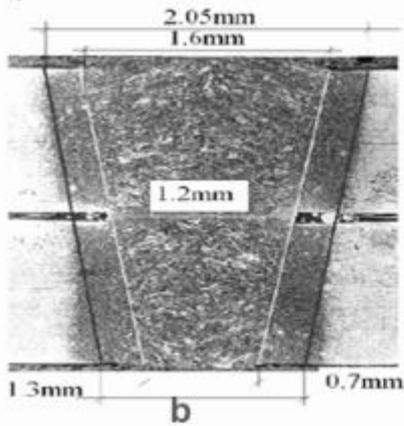
Il est important que la thermique soit correctement prise en compte puisque c'est elle qui induit **le chargement mécanique au cours du soudage**.

Propriétés géométriques

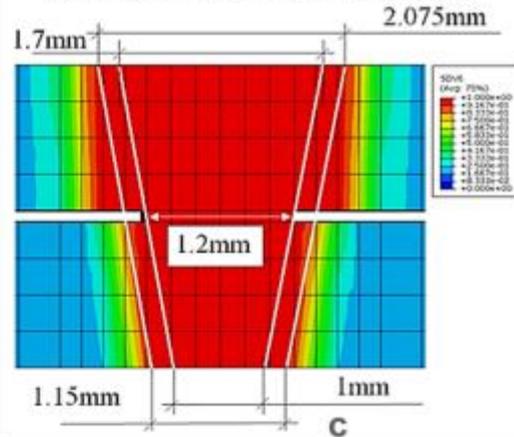
Simulation and experiment welding of lap joint



Experimental dimensions of weld bead



Simulation results of weld bead



Nous trouvons une très bonne corrélation

Vérification de la robustesse du modèle

Metallurgical Model

➤ Waeckel Model

➤ Hardness & Tensile Model

$$HV_{DP} = HV_F + V_M (HV_M - HV_F)$$

➤ Koistinen Marburger Model

➤ Ultimate tensile strength

$$UTS(MPa) = 19,13 \cdot 10^{-14} \cdot HV^2 + 1,89 \cdot HV + 181,5$$

➤ Yield Strength 0.2%

$$YS02(MPa) = -266,8 + UTS + 30,41 \cdot \log(VR) + 51,01$$

Mechanical Model

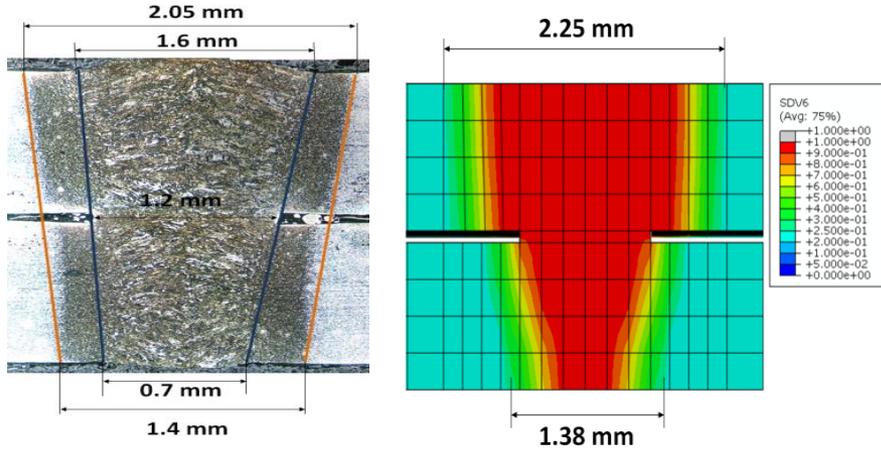
➤ Modèle élasto-plastique (EP)

➤ Modèle visco-élasto-plastique (VEP)

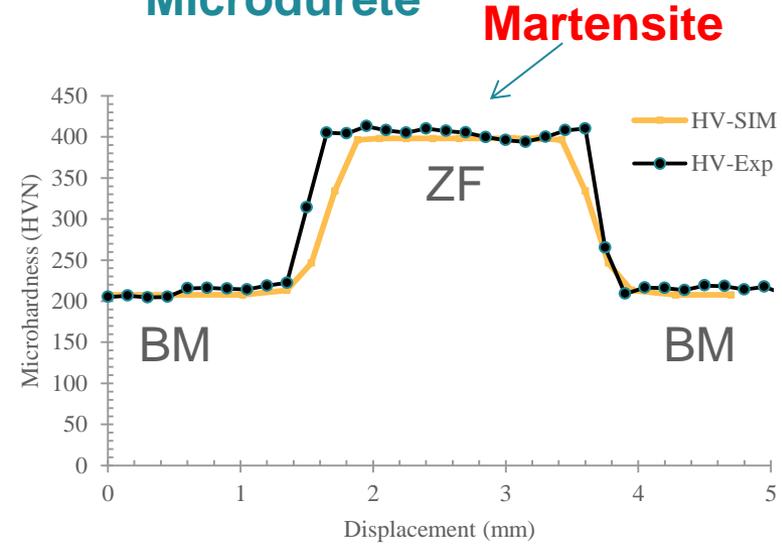


Contraintes résiduelles

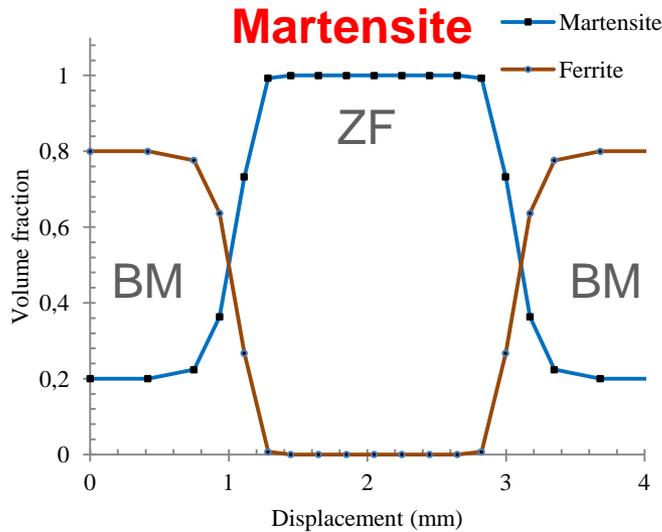
Propriétés géométriques



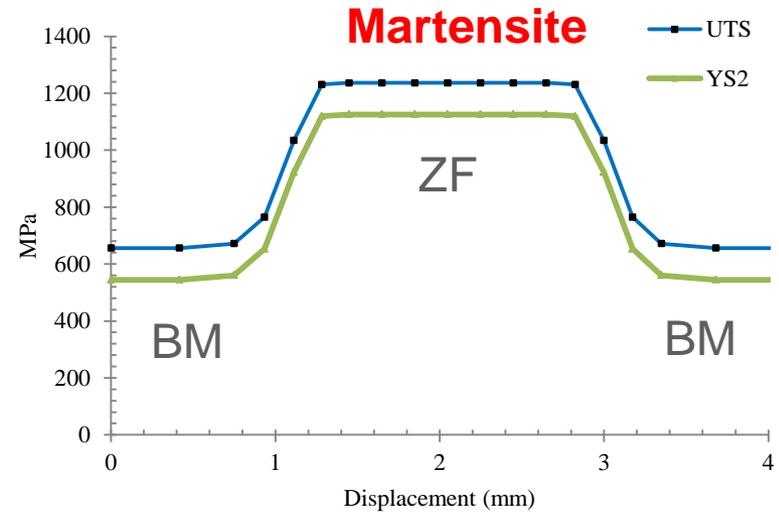
Microdureté



Fractions volumiques des phases



Propriétés mécaniques



Vérification des contraintes résiduelles

Residual stresses in different zones in different directions (Experiments)

Component	BM	HAZ	FZ
σ_{11}	300	180	320
σ_{22}	- 20	20	385

Residual stresses in different zones in different directions (EP model)

Component	BM	HAZ	FZ
σ_{11}	200	180	320
σ_{22}	-20	27	344

Residual stresses in different zones in different directions (VEP model)

Component	BM	HAZ	FZ
σ_{11}	180	123	310
σ_{22}	-10	27	288

1 Results showed the high influence of the thermic, an influence of metallurgical transformation on residual stresses

2 Experiments results showed the higher residual stresses are obtained in the fusion zone.

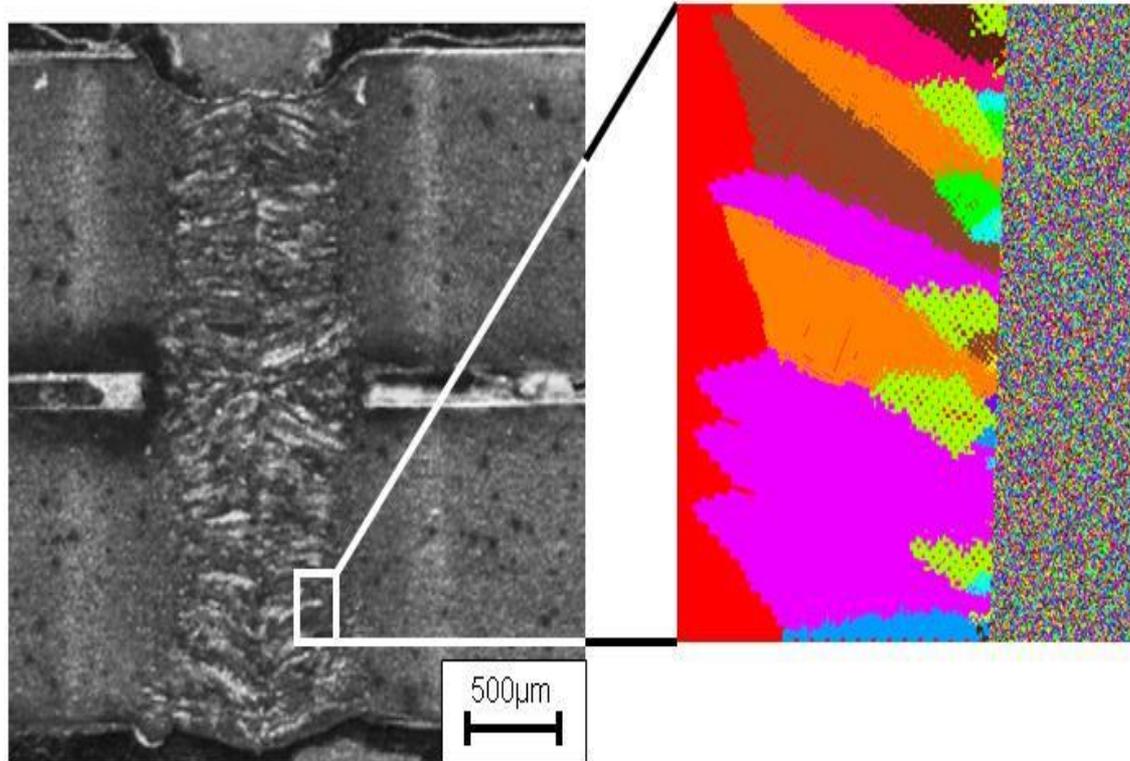
3 Simulation results are compared with experimental measurements. Good accordance is found.

Perpectives

1 A better understanding of the laser parameters on RS, to understand however that the clamping tool might be the source of additional structure modifications (relaxation or shrinkage)

2 Point of simulation of view, it would be necessary to take into account the grains orientations and their volume fraction.

PERSPECTIVES : introduire l'anisotropie (orientations des grains, texture cristallographique)



Résultats plus convergents dans toutes les zones

Thanks

