



HAL
open science

Simulation numérique du process de soudage

O. Asserin

► **To cite this version:**

O. Asserin. Simulation numérique du process de soudage. Journée thématique: soudage, procédés et innovations, Jun 2015, Clermont Ferrand, France. cea-02509182

HAL Id: cea-02509182

<https://cea.hal.science/cea-02509182>

Submitted on 16 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

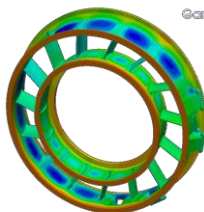
cea den

SIMULATION NUMÉRIQUE DU PROCESS DE SOUDAGE

Soudage : procédés et innovations le 09-06-2015 – O. Asserin – CEA/DEN/DANS/DM2S/SEMT

Pour l'industriel il s'agit d'accroître la **productivité** par :

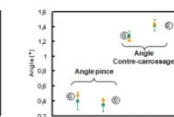
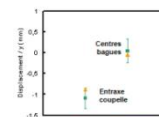
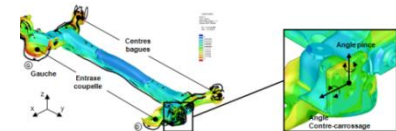
- l'amélioration de la **performance** du process (*optimisation de la gamme d'assemblage*)
- la réduction des **coûts** (*moins de mises au rebus*).



Gamme 2-TIG



PSA PEUGEOT CITROËN

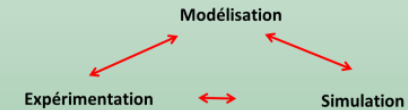


Nous sommes portés par la :

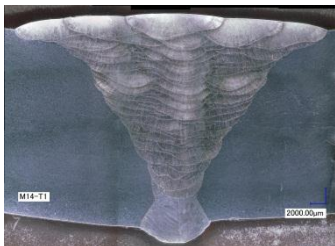
- la **sûreté** : **fiabilité** (qualité des soudures) et la **maintenabilité** (mitigation, réparation, contrôle, historique);
- la **fabricabilité** : mode opératoire de soudage et le développement de procédé.

Nous utilisons la simulation pour améliorer la maîtrise :

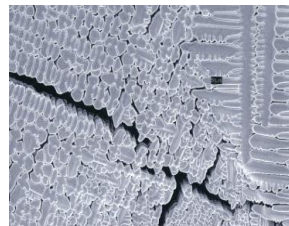
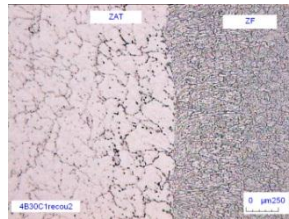
- des procédés de soudage (comprendre les limitations, contrôler, limiter les défauts ...),
- des effets de l'opération de soudage sur la fabricabilité et comprendre leurs conséquences sur la tenue :
 - contraintes résiduelles ---> intégrité des structures, Inconel, CSC,
 - microstructure, métallurgie ---> tenue mécanique, AA6061T6, coefficient de joint



Procédé

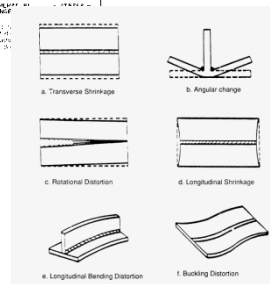
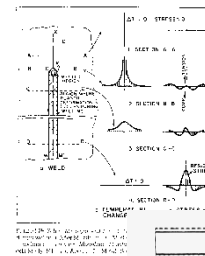


Métallurgie Microstructure



Effets

Distorsions Contraintes



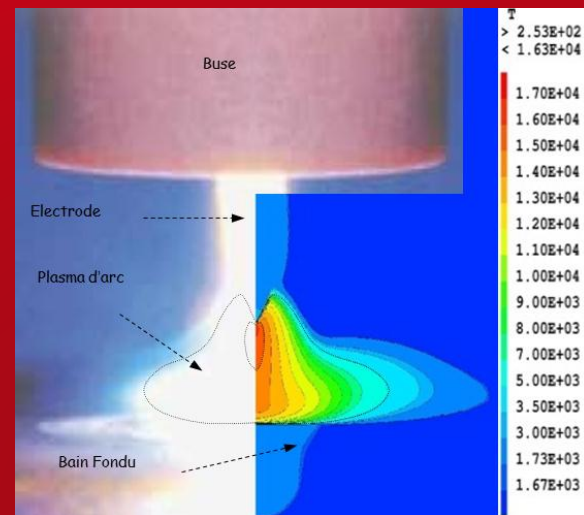
Effets

Tenue

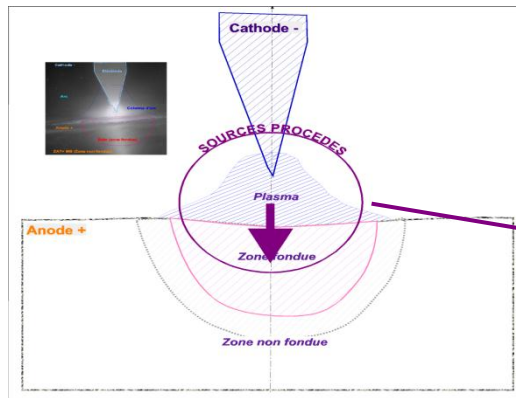


Conséquences

SIMULER LE PROCÉDÉ : LE SOUDAGE À L'ARC TIG



Modèle de 1^{ère} génération



Modèle équivalent

Simulation indirecte

Faible capacité prédictive

Domaine de validité limité

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (\lambda \vec{\nabla} \cdot T) - \rho c_p \vec{\nabla} \cdot (\vec{u}T) + S \quad \text{avec } S = q_{net} + q_L$$

$$\vec{u} = (w_x - v)\vec{e}_x + w_y\vec{e}_y + w_z\vec{e}_z$$

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (\lambda \vec{\nabla} \cdot T) - \rho c_p \left((w_x - v) \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_{net} + q_L$$

$$P_0_CIN = \{k, K_z, s, Q, \eta\}$$

$$q_CIN = \eta \times \frac{kK_z Q}{\pi(1 - e^{-K_z s})} e^{-k(x^2 + y^2) - K_z z} [1 - u(z - s)]$$

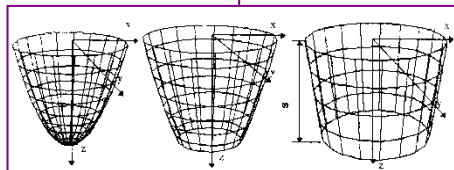
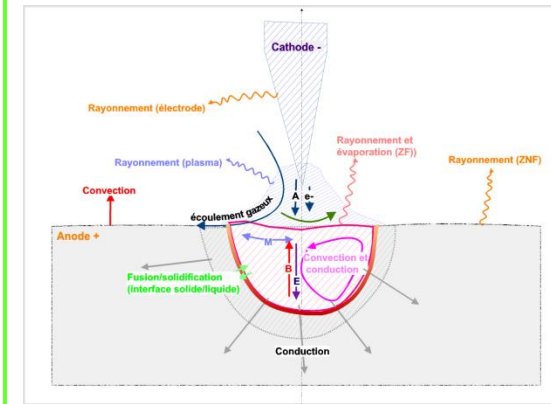


Fig. 2 Exemples of the paraboloids of constant values of q_w .

Modèle de 2^{ème} génération

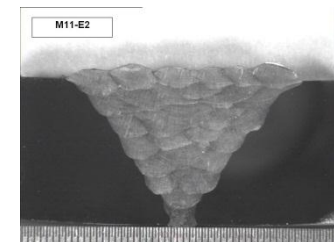
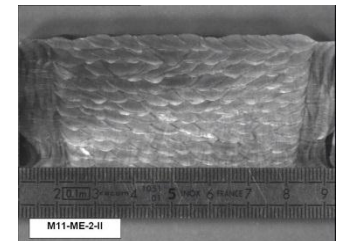
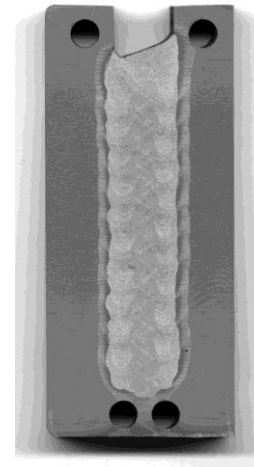
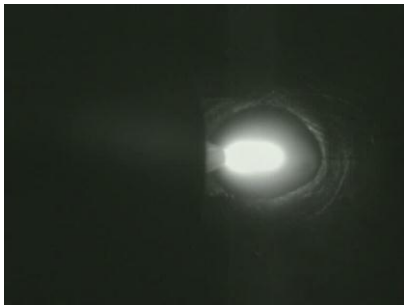
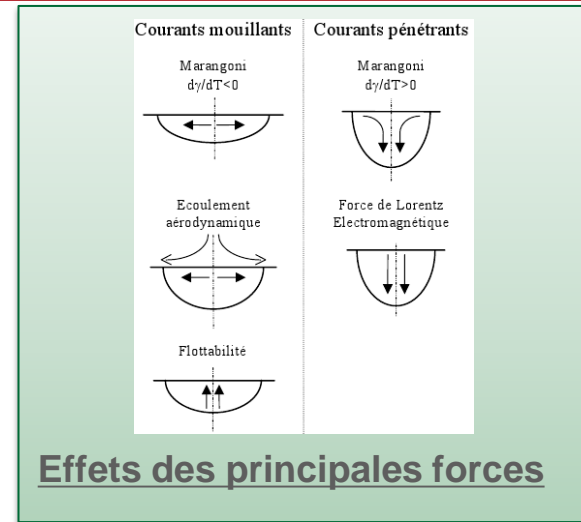
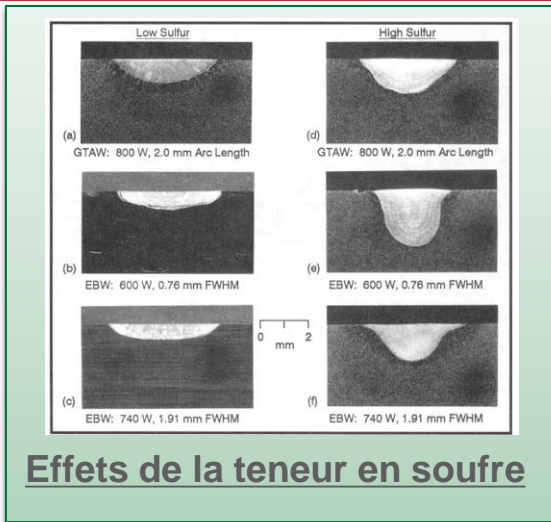


Modélisation « in extenso »

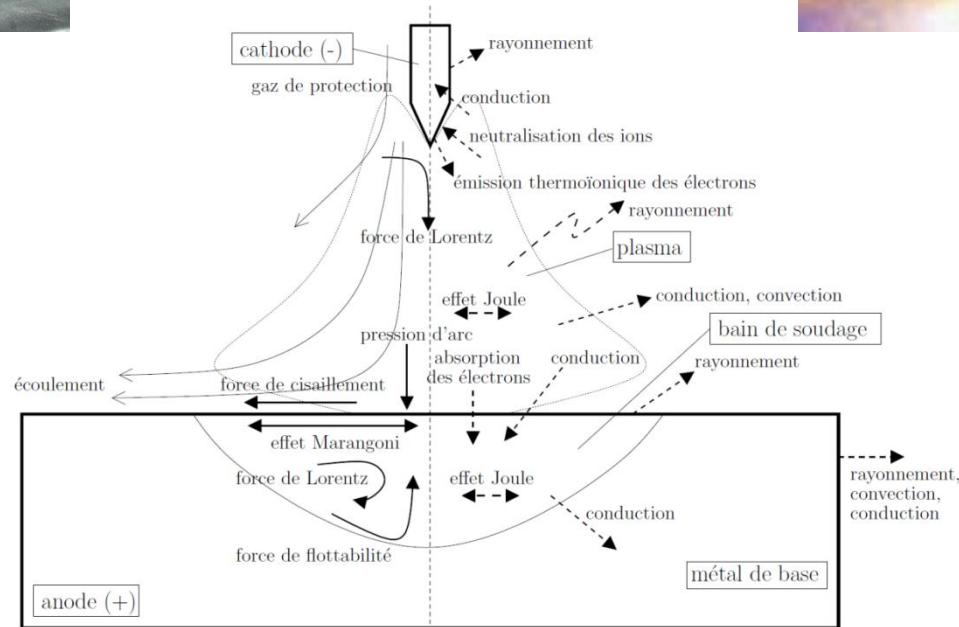
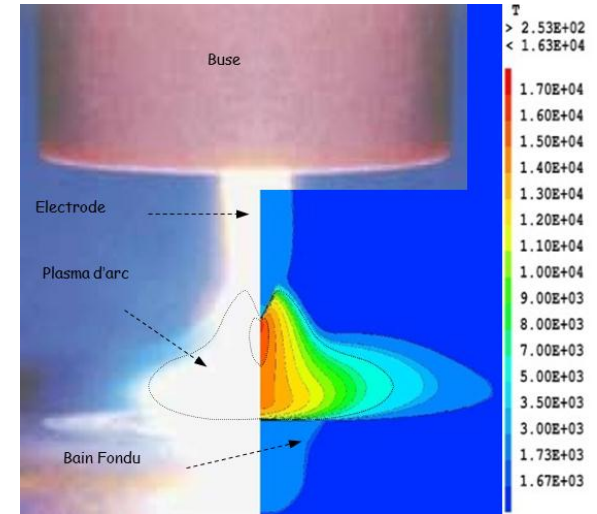
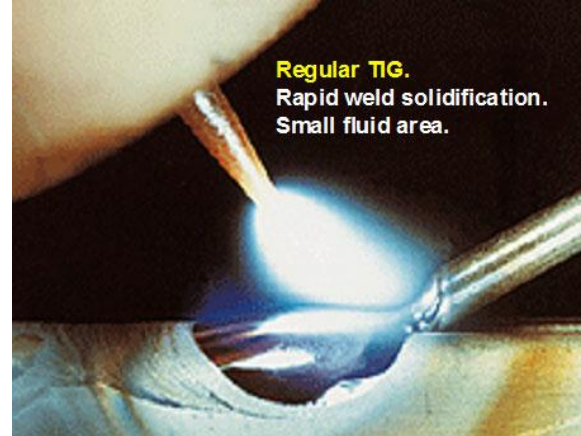
Simulation directe

Forte capacité prédictive

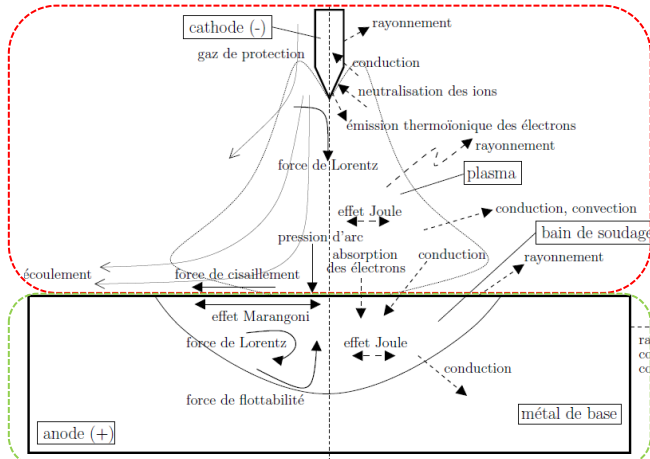
Domaine de validité étendu



De la ligne de fusion à l'assemblage multipasse

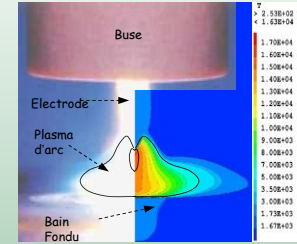


Modèle 2D axi électrode-Arc-Bain (TIG)

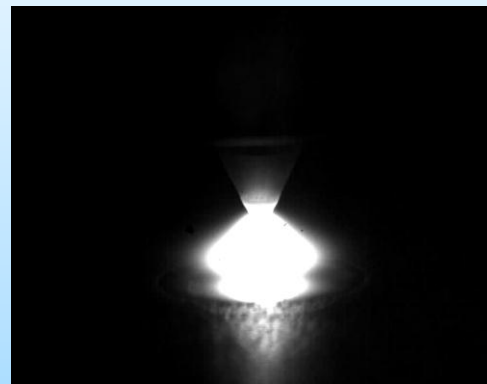
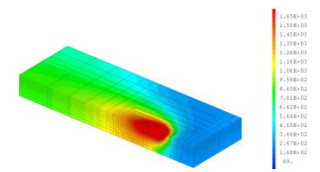


Le modèle 2D axi fournit :

- le flux de chaleur
- la pression d'arc
- le courant
- la force de cisaillement

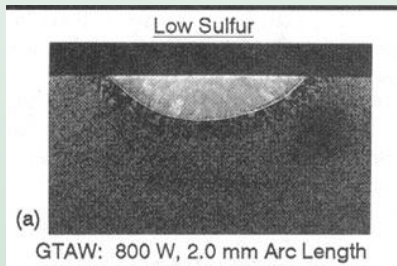


3D à surface libre déformable



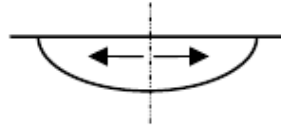
Même en mouvement,
l'arc reste bien axisymétrique pour les configurations d'essais réalisées

Bas soufre 10 ppm

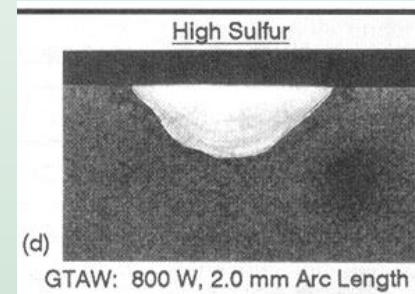


Courants mouillants

Marangoni
 $d\gamma/dT < 0$

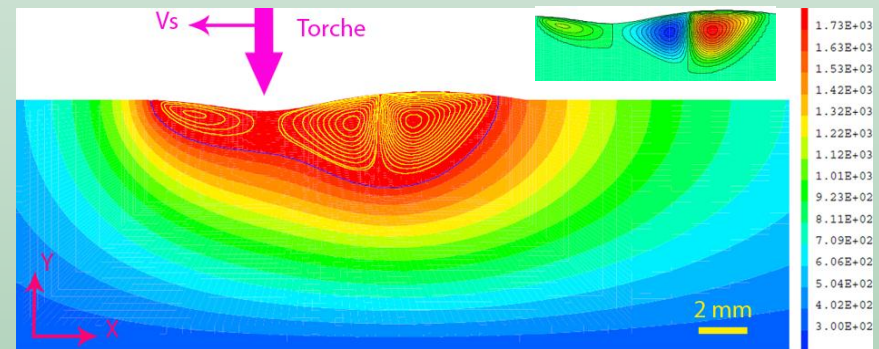
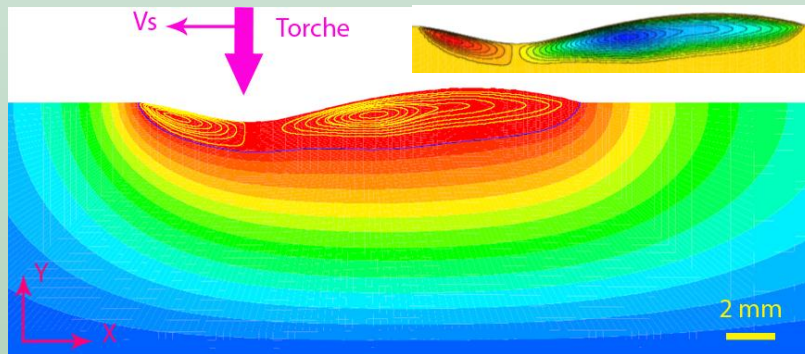
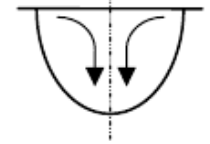


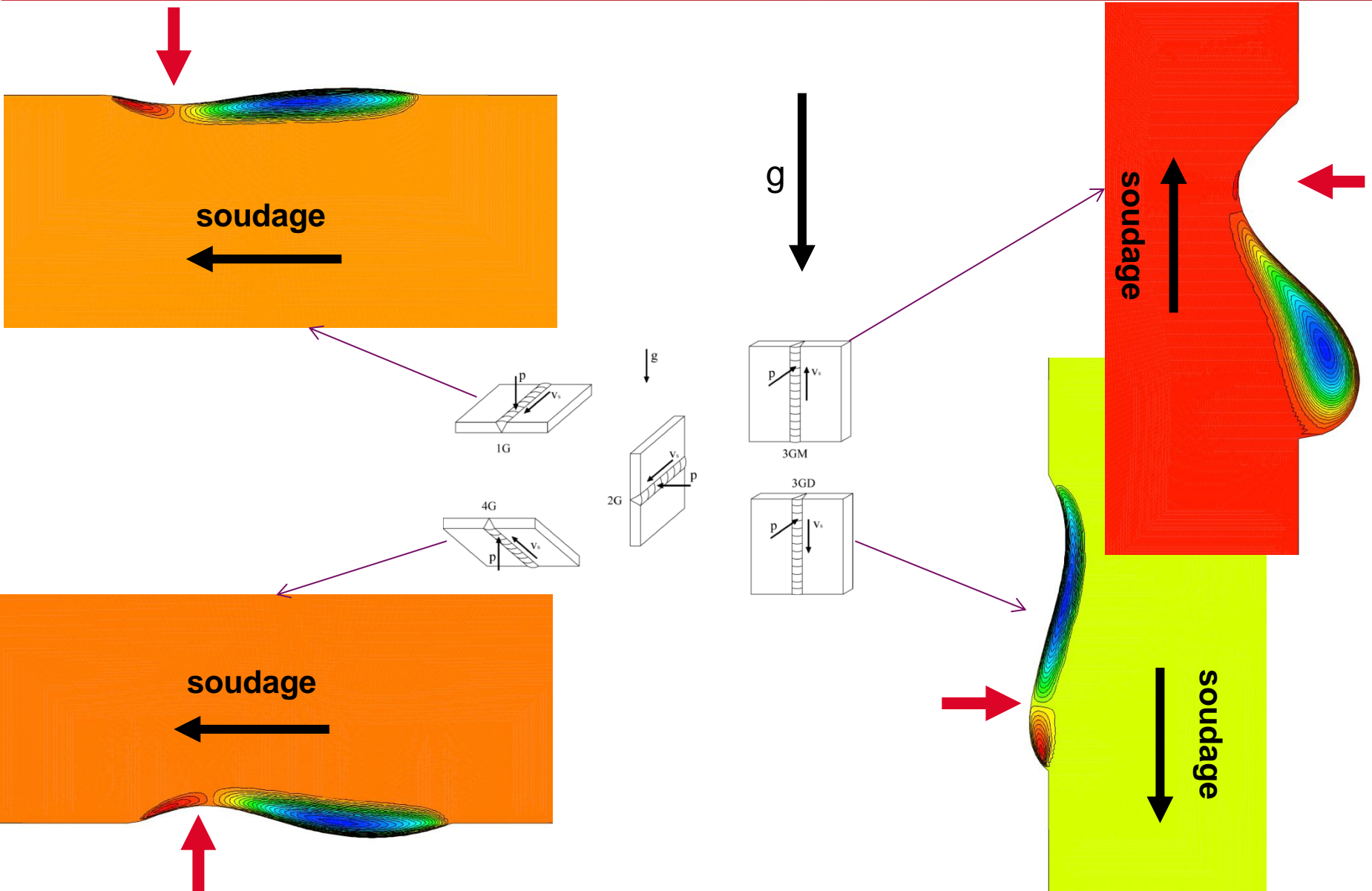
Haut soufre 300 ppm



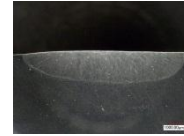
Courants pénétrants

Marangoni
 $d\gamma/dT > 0$



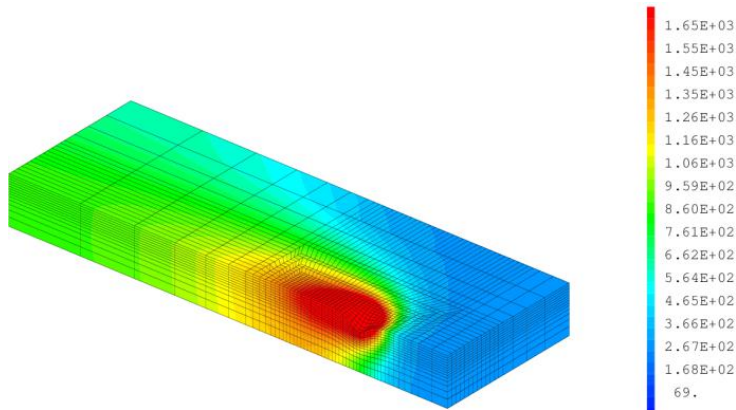


Essais	\bar{X}_I	\bar{X}_U	\bar{X}_{u_s}	I (A)	U (V)	u_s (cm/min)	h_{arc} (mm)	E_{lin} (J·mm ⁻¹)
1	-1	-1	-1	150	9	7	2.0	1056
2	0	-1	1	175	9	12	1.4	709
3	1	-1	0	200	9	9.5	1.1	968
4	-1	0	1	150	10	12	3.3	668
5	0	0	0	175	10	9.5	2.0	898
6	1	0	-1	200	10	7	2.0	1514
7	-1	1	0	150	11	9.5	5.0	851
8	0	1	-1	175	11	7	3.2	1377
9	1	1	1	200	11	12	2.4	911



Essais du plan d'expériences

Essais en ligne de fusion

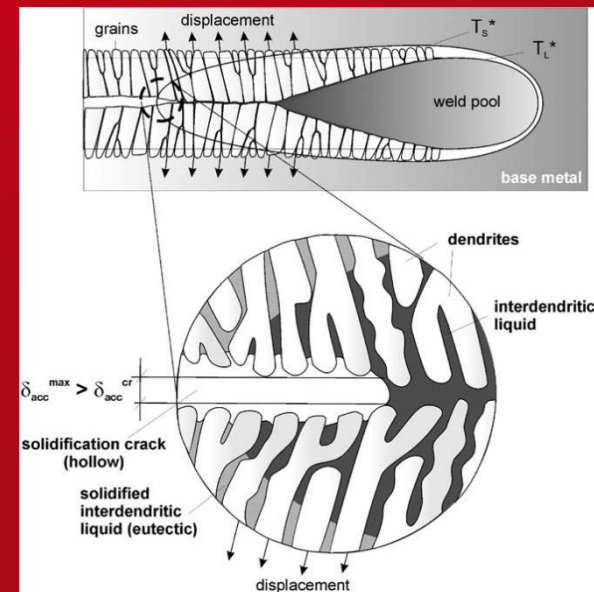


Simulation 3D surface libre déformable

Essais	Lar (mm)		Pé (mm)	
	exp	num	exp	num
1	8,85	9,52	2,34	2,01
2	9,17	8,22	1,99	2,19
3	10,70	9,28	2,18	2,94
4	7,71	8,56	1,88	1,58
5	10,17	9,28	2,32	2,30
6	12,79	12,22	2,58	3,39
7	8,28	9,72	1,91	1,69
8	11,56	11,3	2,61	2,57
9	10,73	10,16	2,07	2,25
SrO	8%		14%	

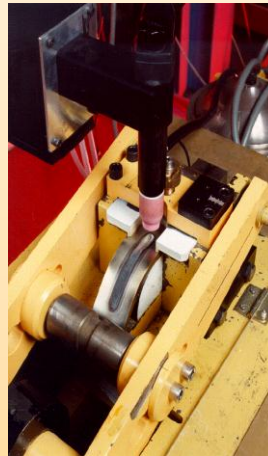
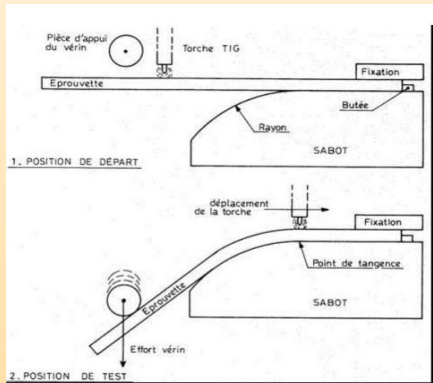
Comparaison essais mesures

SIMULER UN DÉFAUT DE SOUDAGE : LA FISSURATION À CHAUD DE SOLIDIFICATION

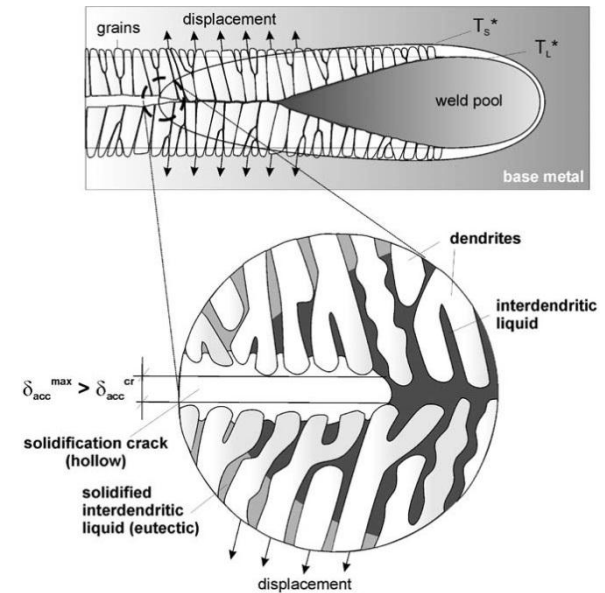
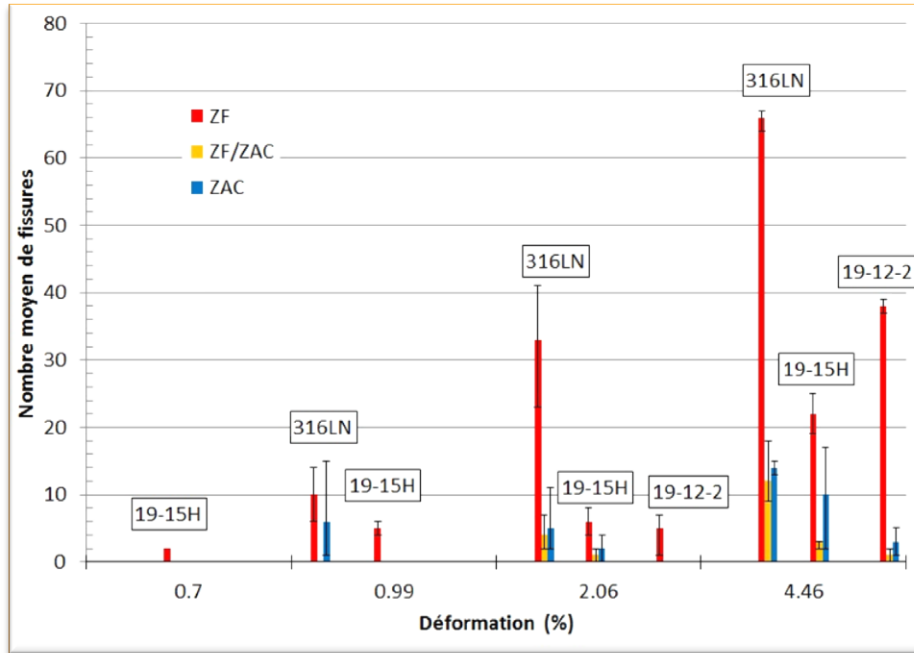


le RCC-MR, prévoit la réalisation d'essais de fissilité, pour vérifier l'absence de fissuration en cours de soudage

Principe de l'essai Varestraint

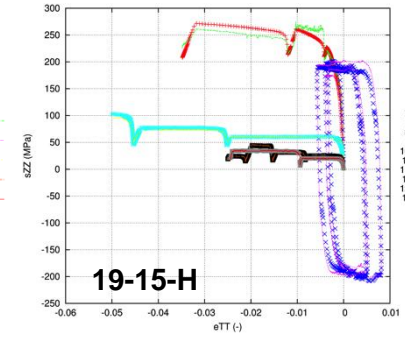
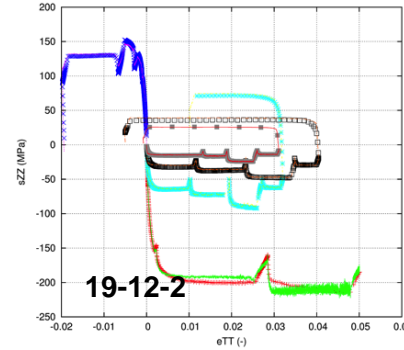
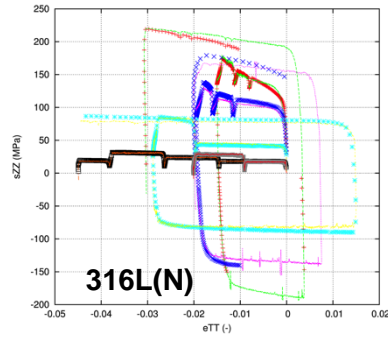


$$f(e, \dot{e}) \in \mathbb{R}^n, \{L = \sum_i^n l_i\}$$

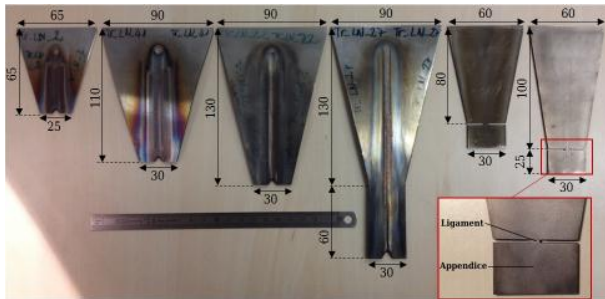


$$f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) R \{n\}, \{L = \sum_i^n l_i\}$$

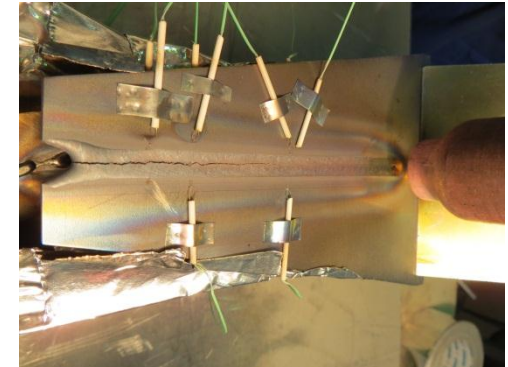
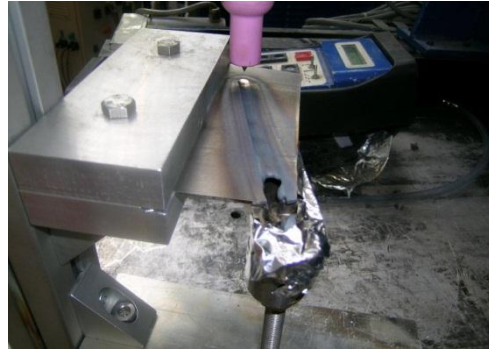
- La déformation appliquée ne suffit pas il faut considérer la déformation locale
- Pour un effort de pliage donné la déformation locale est différente suivant le matériau



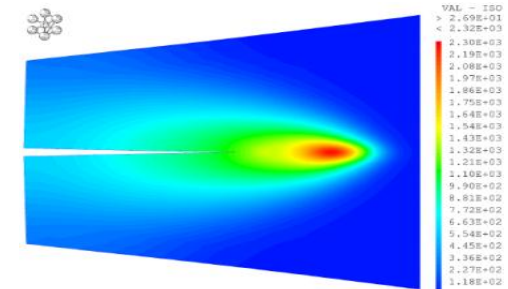
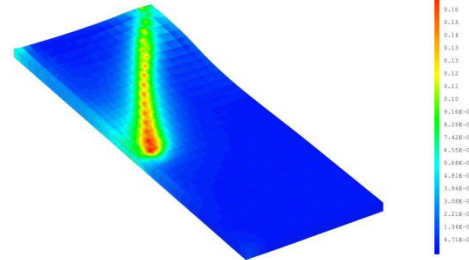
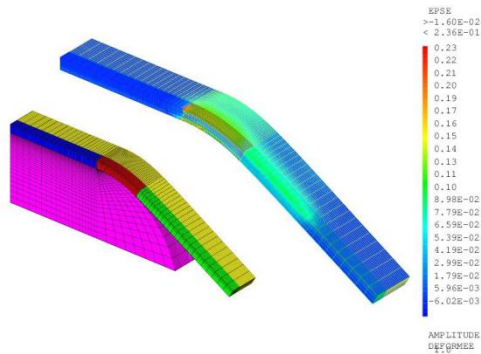
Caractérisation du comportement sur machine Gleeble au LIMAT'B



Essais trapézoïdaux, Varestreint et oblique au LTA



Cast3M

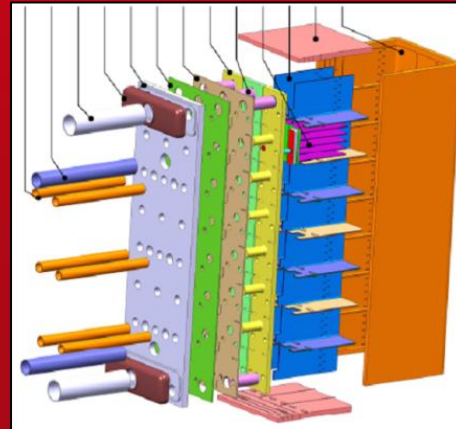


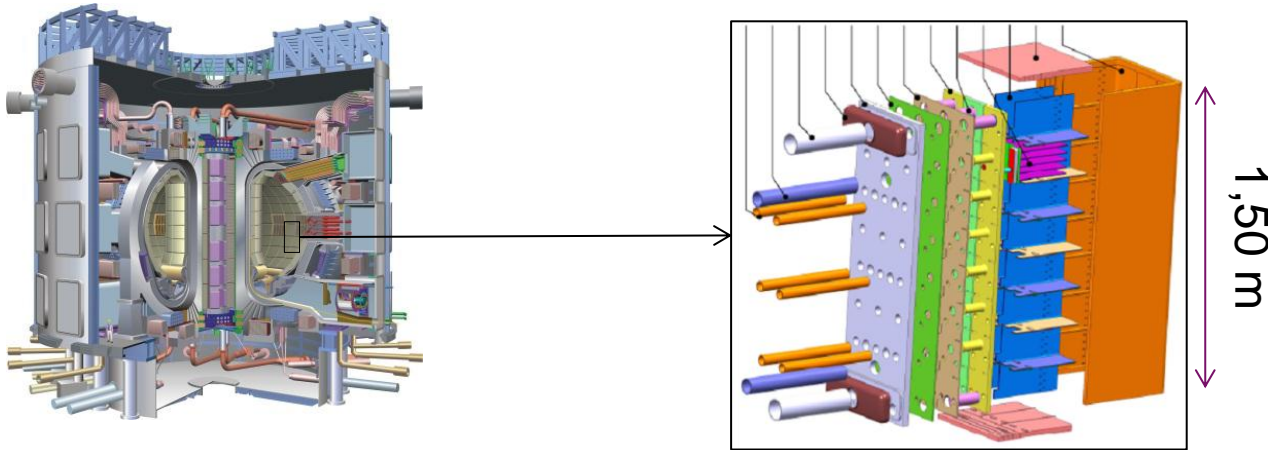
Principalement, la simulation aura permis :

- de dégager un critère en déformation
- d'interpréter des aléas opératoires pour l'essai trapézoïdal, forme du bain, le décalage au plan de joint qui sont influents au regard du risque de fissuration à chaud

La suite des travaux : un essai trapézoïdal robuste, établir la transposabilité du critère

**SIMULER
L'ASSEMBLAGE D'UNE STRUCTURE :
LE TEST BLANKET MODULE D'ITER**



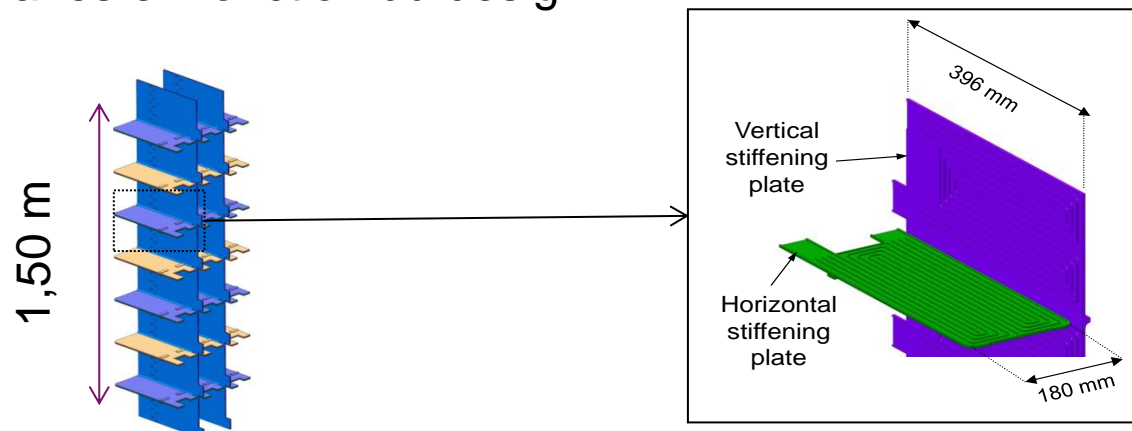


1,50 m

Génération : 5 (ITER, DEMO)

Composant : module de couverture, 2 en test dans ITER, 650 dans DEMO

Problématique adressée : AtoZ, apporter des technologies d'assemblages et définir les procédures préliminaires en fonction du design



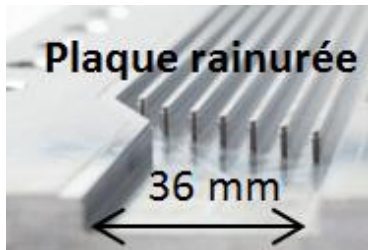
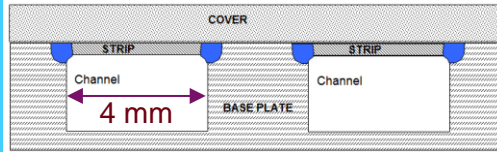
1,50 m

396 mm

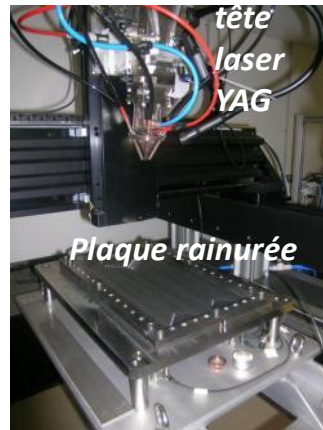
Vertical
stiffening
plateHorizontal
stiffening
plate

180 mm

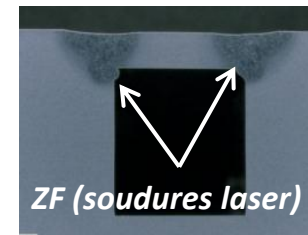
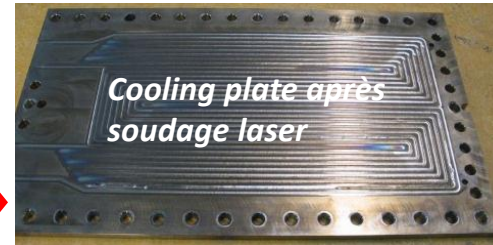
Principe de la technologie de fabrication d'une cooling plate (brevet existant)



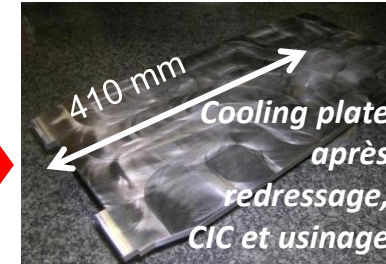
Soudage Laser



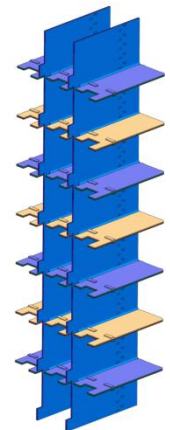
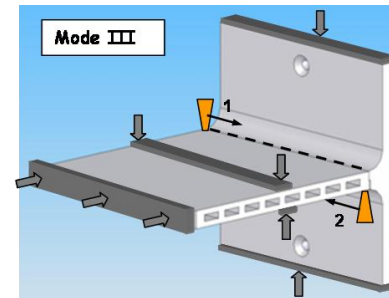
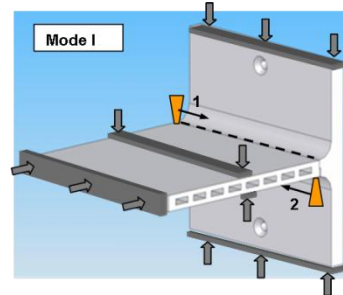
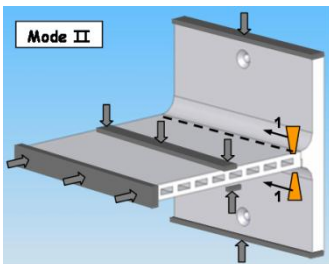
24 mètres linéaires de
soudures laser



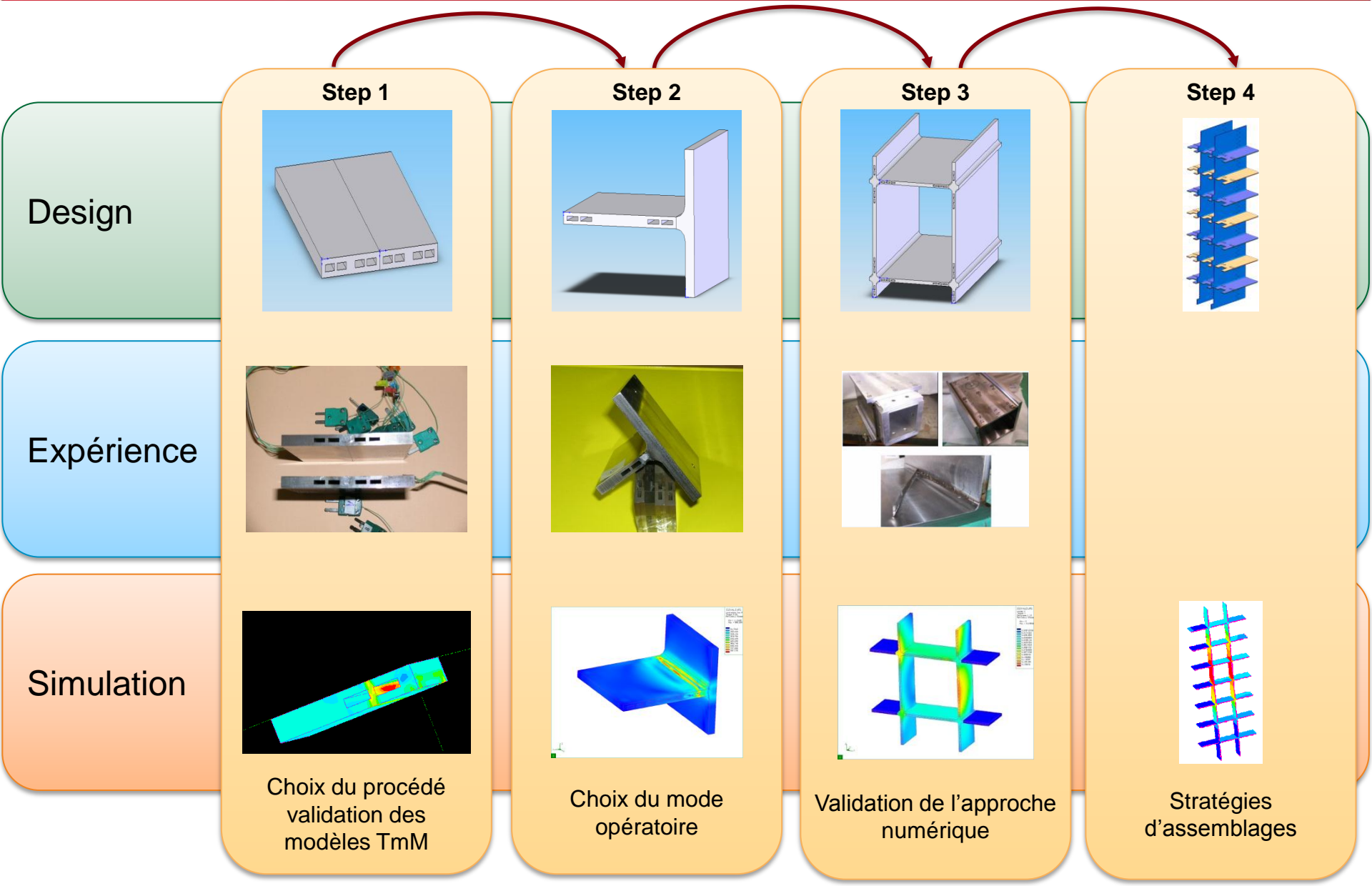
Après soudage CIC



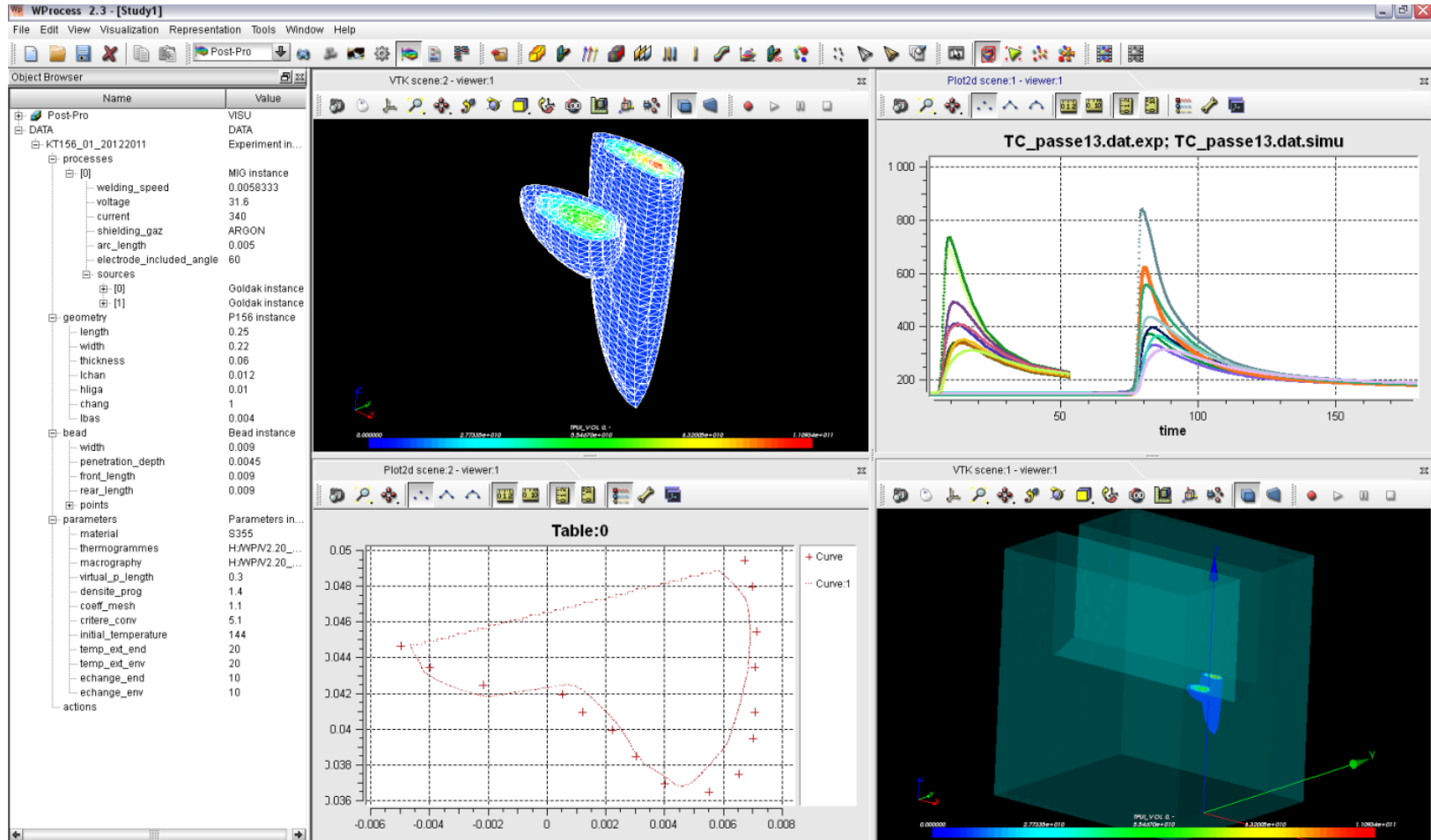
Stratégie d'assemblage des plaques : Procédé ? Mode ? Séquence ?



Intérêt de la SNS : peu de matière pour la phase de développement, la SNS permet une meilleure couverture du domaine opératoire et donc réduit le nombre de maquette à l'échelle représentative



WProcess un outil pour la simulation réaliste des procédés





Organisateurs

Olivier ASSERIN - CEA/Saclay
Email : olivier.asserin@cea.fr

Eric FEULVARCH - ENISE
Email : eric.feulvarch@enise.fr

Comité scientifique

Mansour Afzali, CETIM
Jean Angles, EDF
Olivier Asserin, CEA
Philippe Bastid, TWI
Florent Bridier, DCNS
Thibaut Chaise, INSA
Michel Coret, ECN
Fabien Corpace, SAFRAN
Dominique Deloison, AIRBUS
Eric Feulvarch, ENISE
Philippe Gilles, AREVA
Bertrand Journet, AIRBUS
Ngadia-Taha Niane, PSA
Frédérique Rossillon, EDF

Programme

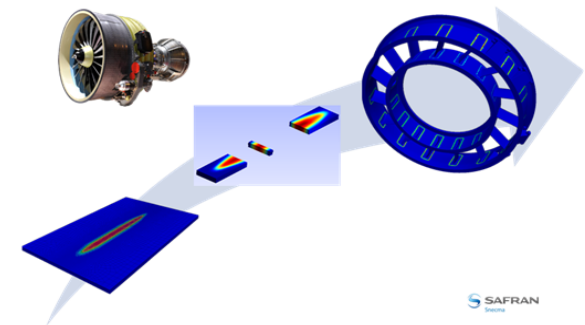
- 9h00 - Accueil - Café.
- 9h30 - Le mot du Vice-Président de l'AFM, P. Devalan.
- 9h35 - Présentation du thème, P. Gilles, AREVA NP.
- 9h40
Méthodes simplifiées d'analyse du soudage : prédiction des distorsions de grands composants et compréhension des états de contraintes. D. Deloison, Airbus Group
- 10h00
Simulation 3D du soudage multipasse d'un tube incliné pénétrant dans une plaque: maquette MUSICA.V. Robin, Areva NP
- 10h20
Simulation du soudage d'un carter de turbopompe. L. Debeugny, Groupe Safran
- 10h40
Les méthodologies utilisées ces 20 dernières années pour le soudage de grands composants. F. Boitout, ESI Group
- Discussions 15', Pause 15'
- 11h30
Validated mitigation of distortion in large ship and rail structures using weld process modelling. N. Bagshaw, TWI
- 11h50
Simulation du soudage par friction-malaxage d'un acier pour applications navales. A. Molinier, IRT Jules Verne
- 12h10
Application de la simulation numérique du soudage aux grandes structures navales. F. Bridier, DCNS.
- Discussions 15' - Déjeuner sur place 12h45 Reprise 14h15
- 14h15
MoESA, un méta-modèle pour prédire la soudabilité par points d'assemblages difficiles de trois tôles. T. Dupuy, Arcelor Mittal.
- 14h35
Technique d'hyper-réduction de modèle efficace pour l'étude paramétrique des simulations 3D thermo-élasto-plastiques. Y. Zhang, LabCoS
- 14h55
Simulation du mouillage réactif lors d'un soudo-brasage Ti/Al par laser. M. Dal, PIMM.
- Discussions 15'
- 15h50
Simulations of the surface heat treatment of a forged crankshaft using High Performance Computing. A. Majumdar, GeonX.
- 16h10
Simulation directe par couplage CAPE de la structure de solidification primaire en soudage multipasse. C.A. Gandin, Cemef.
- 16h30
Modélisation tridimensionnelle stationnaire thermohydraulique et thermomécanique du soudage MAG multipasse des tubes. K. Dang Van, Mecamix.
- Discussions 15' et conclusions, fin du séminaire

13^{ÈME} COLLOQUEMODÉLISATION ET SIMULATION
NUMÉRIQUE DU SOUDAGE

**"Modélisation du soudage
de grands composants"**

26 mars 2015

Maison de la Mécanique, Paris La Défense



SAFRAN

Matériaux
Techniques

Mechanics & Industry



Deux **pratiques problématiques** relatives aux assemblages soudés

1. En conception, prise en compte très grossière du cordon => solutions conservatives qui conduisent à surdimensionner les composants
2. En simulation CND, acquisition des données par des méthodes destructives coûteuses et nécessitant une expertise, limité à une description géométrique 2D du cordon de soudure.

---> Une **alternative** pour l'obtention d'une description fiable et fidèle du cordon est l'utilisation d'une simulation réaliste de l'opération d'assemblage et d'inscrire la SNS dans les études d'intégrités (tenue en service et le contrôle)

