



Soudage LSND **simulation numérique et expérimentation**

D. Lawrjaniec¹, J. Haouas², F. Scandella², L. Jubin³

1 Institut de Soudure, Plateforme Mécanique et Corrosion

2 Institut de Soudure, Plateforme Assemblage

3 CETIM



CIS-FIM : Commission Interprofessionnelle Soudage de la Fédération des Industries Mécaniques



Ce qui nous lie
nous rend plus forts



Partie 1 : Contexte de l'étude

Partie 2 : Travaux

- 1) Etude bibliographique
 - principes de la méthode LSND
 - les différentes techniques LSND
- 2) Configuration choisie pour cette étude
- 3) Optimisation numérique

Partie 3 : Synthèse des résultats

Partie 4 : Suite du projet (en cours)



- Créée au début des années 90 (Laboratoire **F**atigue et **M**écanique de la **R**upture)
- Pas de domaine industriel spécifique (aéronautique → nucléaire)
 - Travaux sur faibles → fortes épaisseur
 - Mono-cordon → multi-passes
 - Multi procédés (arc, laser, hybride, FSW, brasage fort, ...)
 - Base de données matériaux IS

Moyens disponibles sur le site IS Yutz

- **numériques** : PC multiprocesseurs, SYSWELD®, PAM-ASSEMBLY®
- **expérimentaux** : soudage, analyse métallurgique, mesures de cycles thermiques



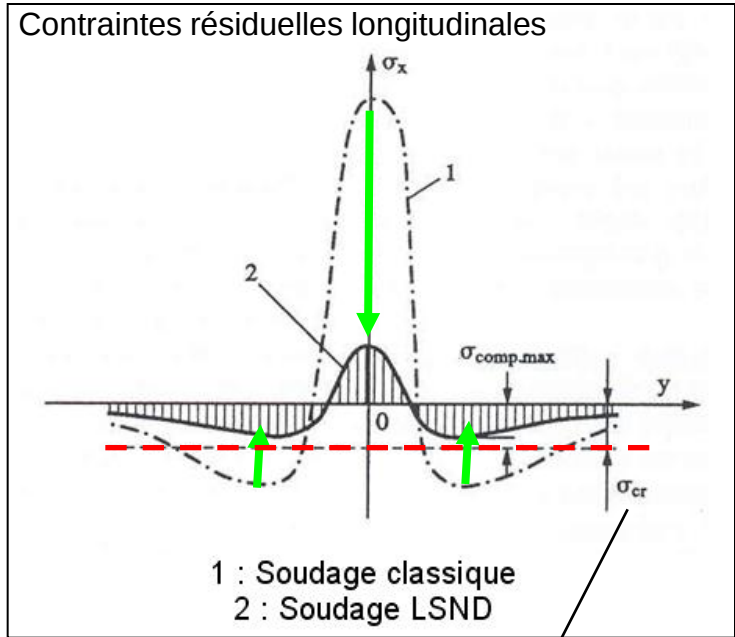
Objectif du soudage LSND : réduire, voire annuler les déformations dues au flambage lors du soudage de structures élancées

LUAN G., LI G., LI C., DONG C., 'DC-LSND Friction Stir Welding', 7th International Friction Stir Welding Symposium, Awaji Island, Japan, 2008.



Les entreprises concernées :

- productivité des opérations de soudage impacte la compétitivité,
- réalisent des assemblages soudés de tôles fines (< 4 mm d'épaisseur),
- confrontées à la problématique de la maîtrise des déformations (et contraintes) en soudage.

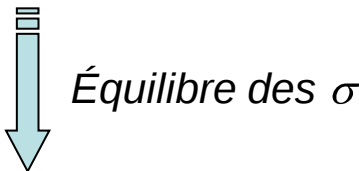


$$\sigma_{cr} = - \left[\frac{E \pi^2}{12 (1 - \nu^2)} \right] \left[\frac{h}{b} \right]^2 [f(a, b, \nu, c, p)]$$

VAN DER AA E.M.

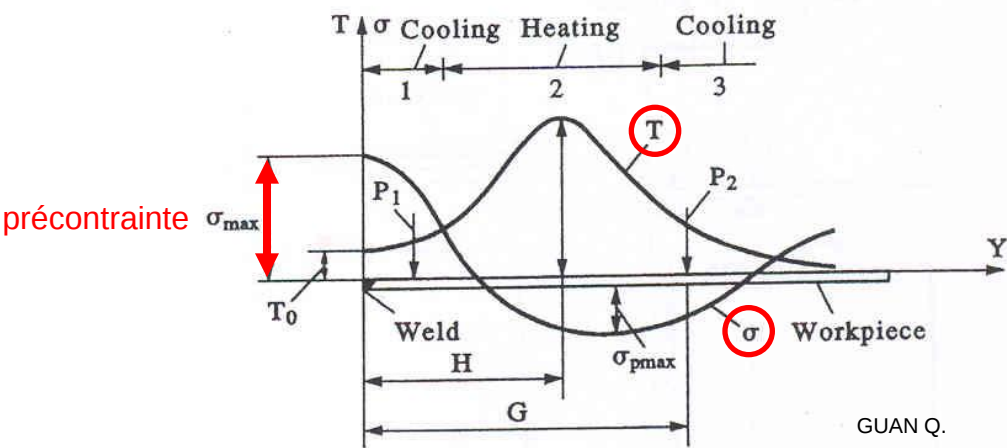
Paramètres qui dépendent de la géométrie de la structure mais aussi de la répartition des contraintes résiduelles de soudage

Principe : Réduction des contraintes résiduelles de soudage (traction) en zone soudée



diminution des contraintes résiduelles de compression qui passent sous la contrainte critique de flambage de la structure

Comment : En imposant un gradient de températures

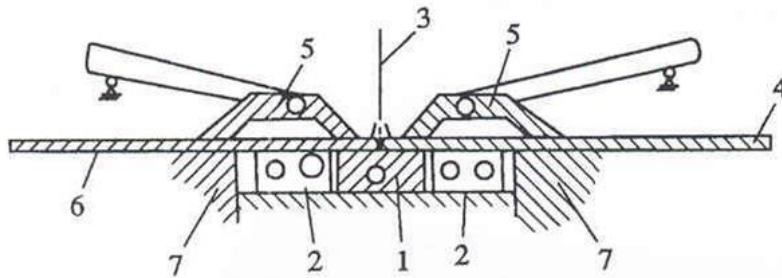




LSND Statique

Moyens : - montage spécifique (bridage)

- système de chauffe et de refroidissement statique



GUAN Q.

Avantages : - ΔT facilement contrôlable (reproductible)

- Très efficace (après optimisation)

- Applicable à tous les procédés et matériaux

Inconvénients : - Montage complexe

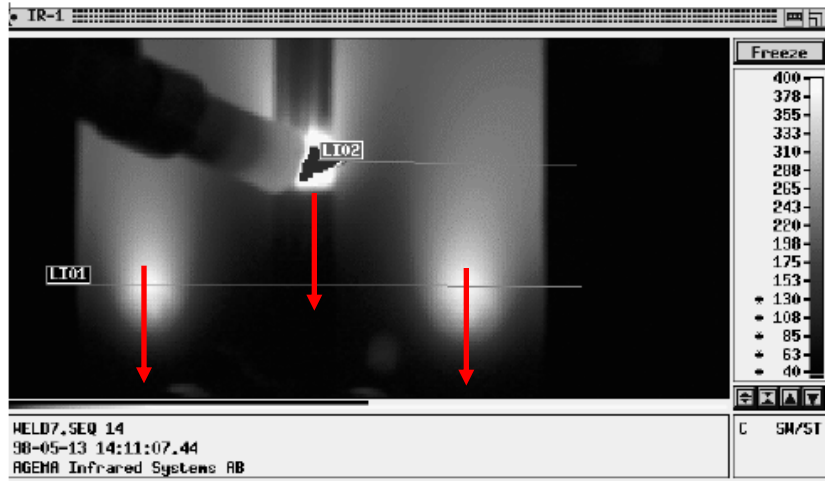
- Soudures rectilignes

Gradient de températures *global et transversal* à la direction de soudage



LSND Transitoire

Moyens : 2 sources additionnelles 'chaudes' en mouvement



BOLTON M. C.

Avantages : - En cours de soudage
- Applicable à tous les procédés et matériaux

Inconvénients : - Nécessite des sources spécifiques
- Efficacité moyenne, voire faible
- ΔT parfois difficilement contrôlable

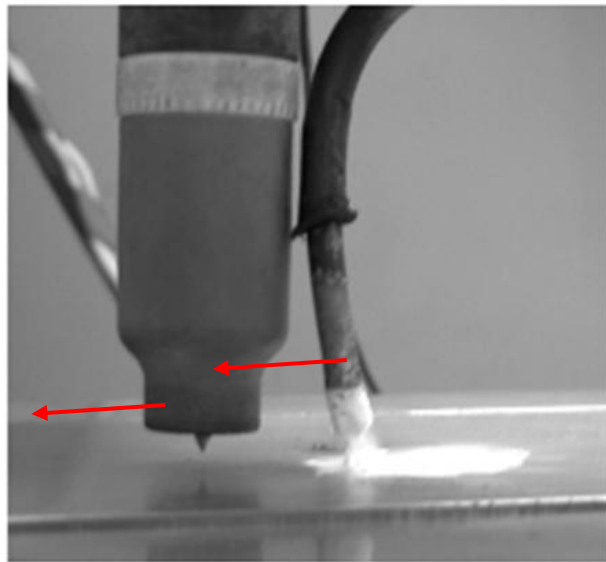
Gradient de températures local et transversal à la direction de soudage



DC-LSND

Dynamically Controlled Low Stress No Distortion

Moyens : 1 source 'froide' en mouvement



VAN DER AA E.M.

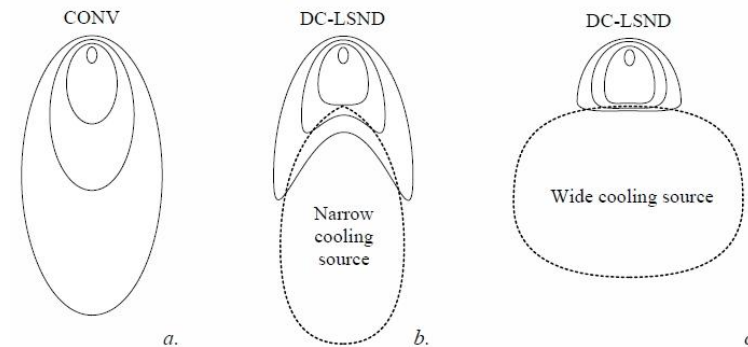
Avantages : - En cours de soudage

- Très efficace (après optimisation)

Inconvénients : - Interactions torche / source 'froide'

- Refroidissement brutal (CMn)

- *Applicable aux procédés générant des champs de températures suffisamment larges*



VAN DER AA E.M.

Gradient de températures local et longitudinale à la direction de soudage



Matériau : DC01

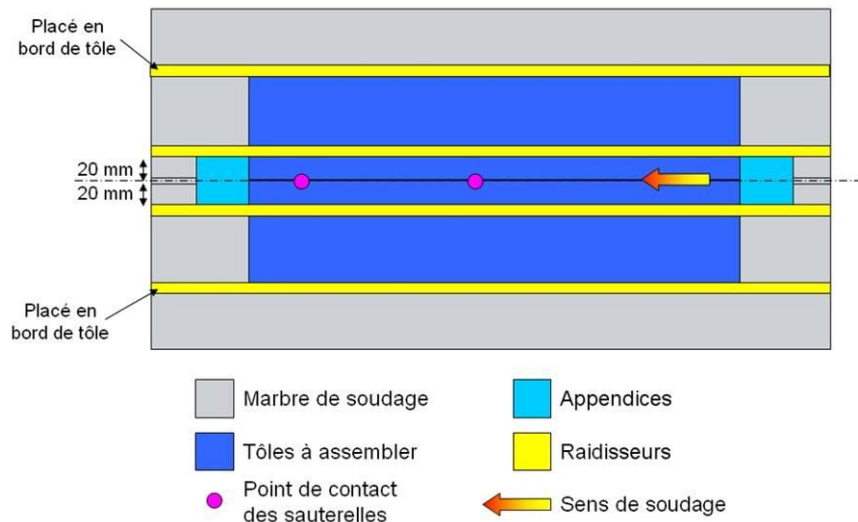
Structure : Plaques étude paramétrique (250x200x2 mm) / Plaques validation (470x200x2 mm)

Procédé de soudage : TIG automatisé sans apport

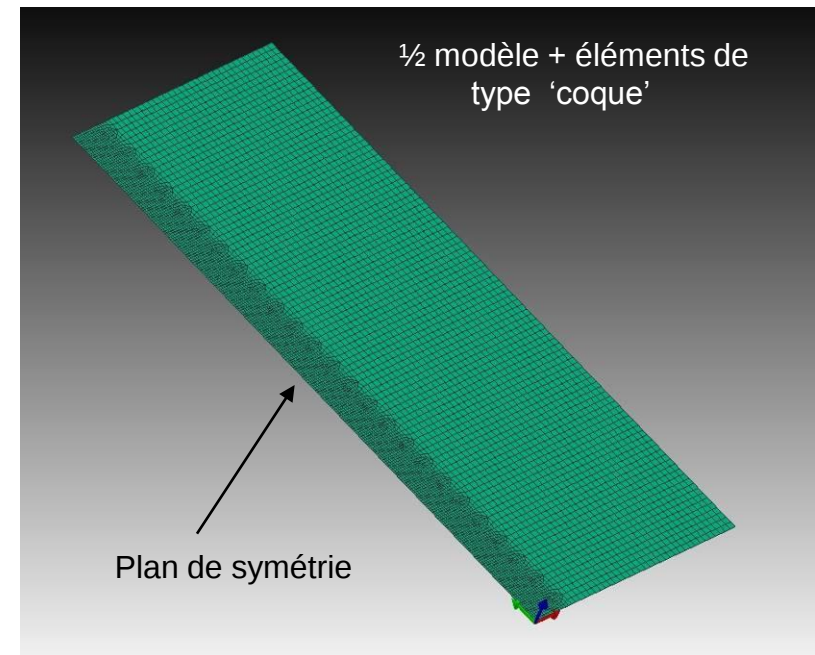
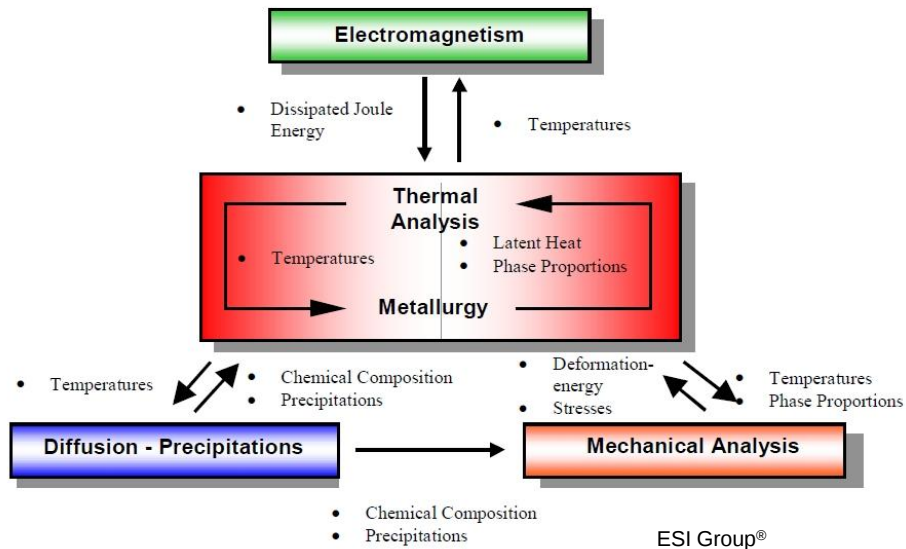
Configuration de joint : Bout à bout

Méthode LSND : LSND transitoire avec 2 chalumeaux

Intensité : 98 Ampères
Tension : 10,8 Volts
Vitesse d'avance : 15 cm/min
Gaz de protection : Arcal 1 (Argon pur) à 12 L/min
Electrode : Tungstène Lanthane, diamètre 2 mm, affûtée à 60°

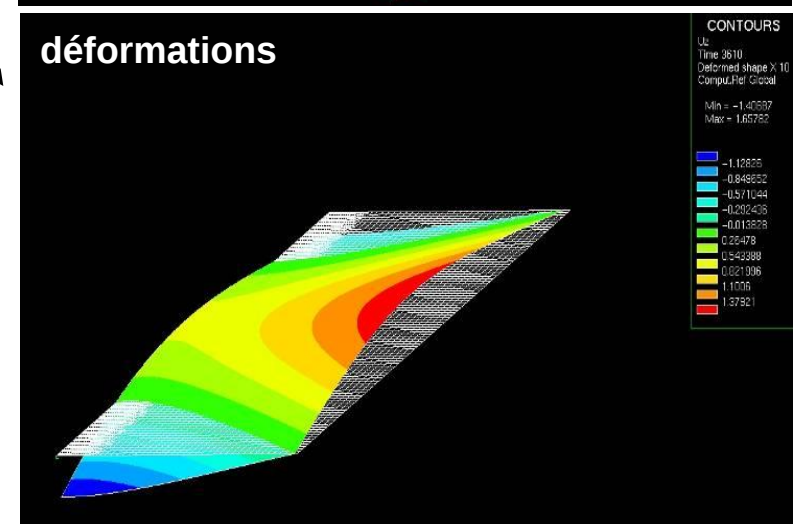
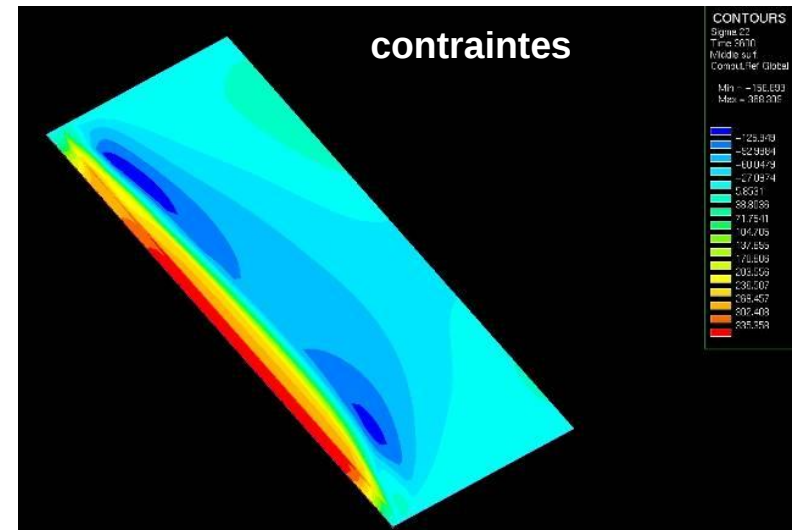
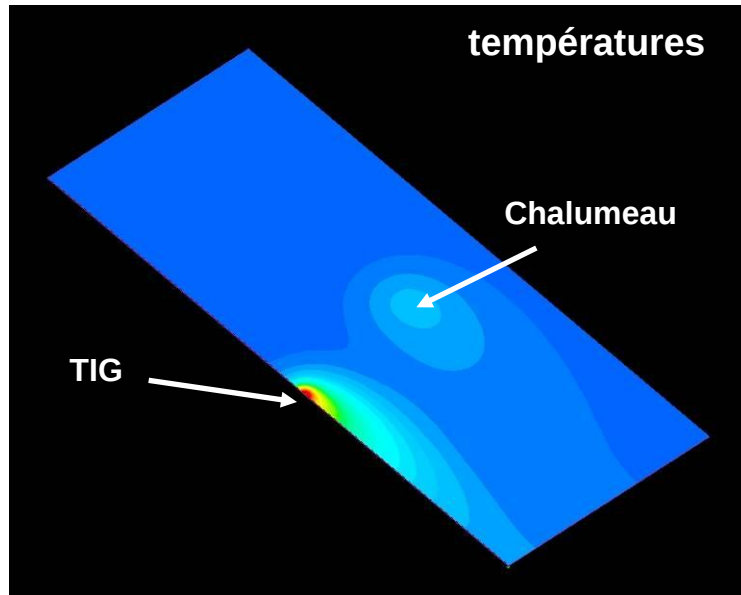


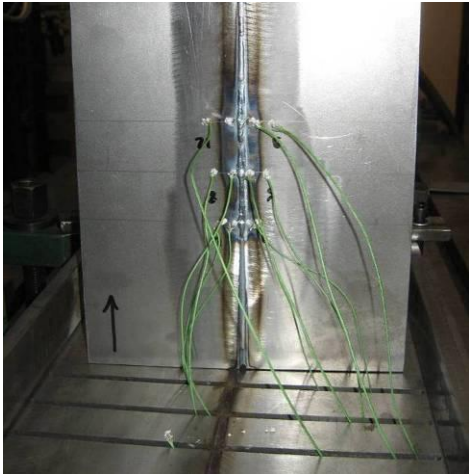
Paramètres du dispositifs à optimiser (puissance des chalumeaux, distance entre chalumeaux, etc...)



Simulation numérique des opérations de soudage (SYSWELD 2011®)

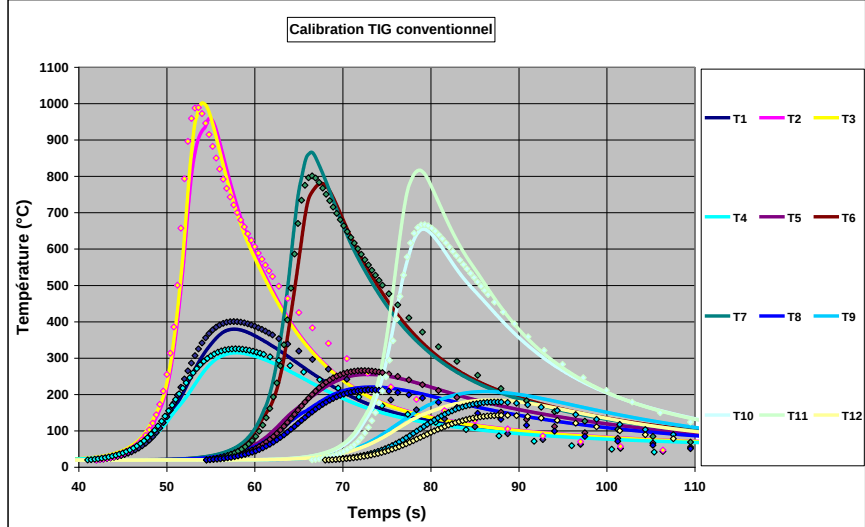
- Prise en compte des phénomènes thermiques, métallurgiques et mécaniques
- Calculs transitoires sur éléments finis de type 'coque'
- Sorties : températures, contraintes et déformations résiduelles





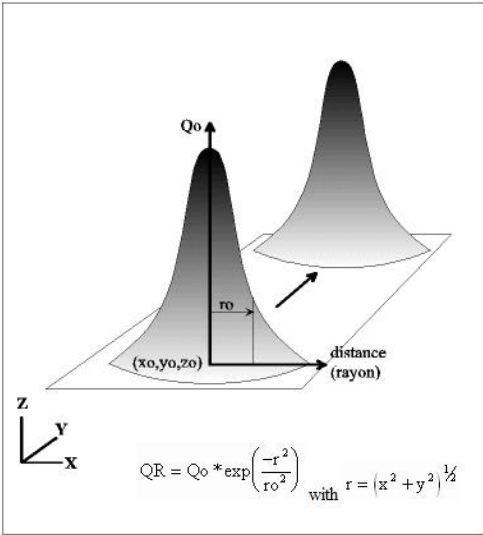
Calibration des sources de chaleur ‘TIG’ et ‘Chalumeau’
+
CL thermiques (plaque support et bridage)

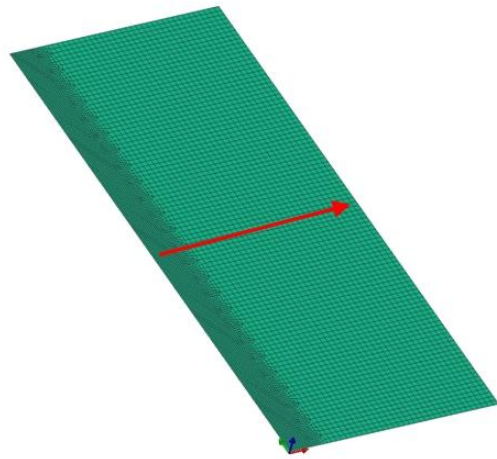
1 source pour procédé conventionnel TIG



Largeur à mi-épaisseur	Expérimentale	Numérique	Ecart (%)
ZF (mm)	4.6	4.5	2.2
ZF + ZAT (mm)	8.6	10	16

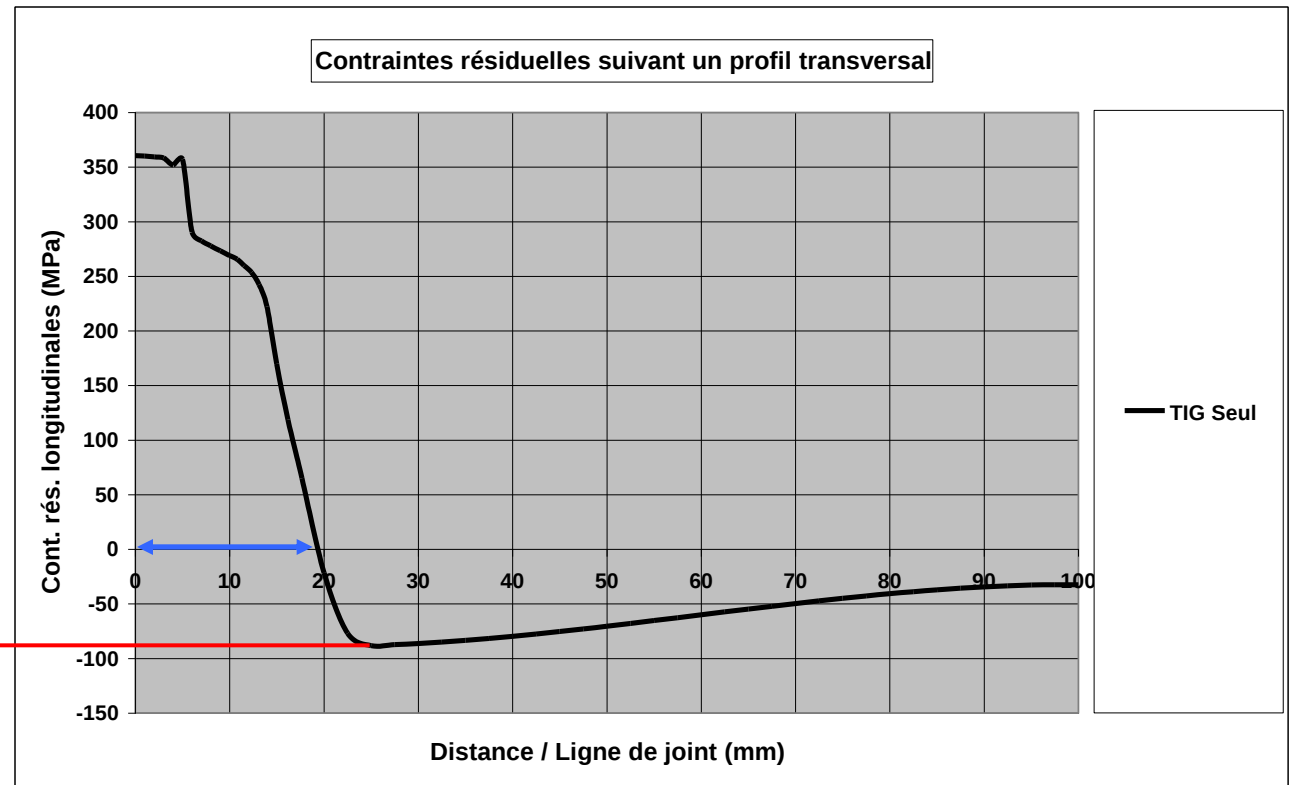
Rendement = 50 % (conforme NF EN 1011-2)





Largeur de la zone de traction pour le calcul de σ_{cr}

-90 MPa



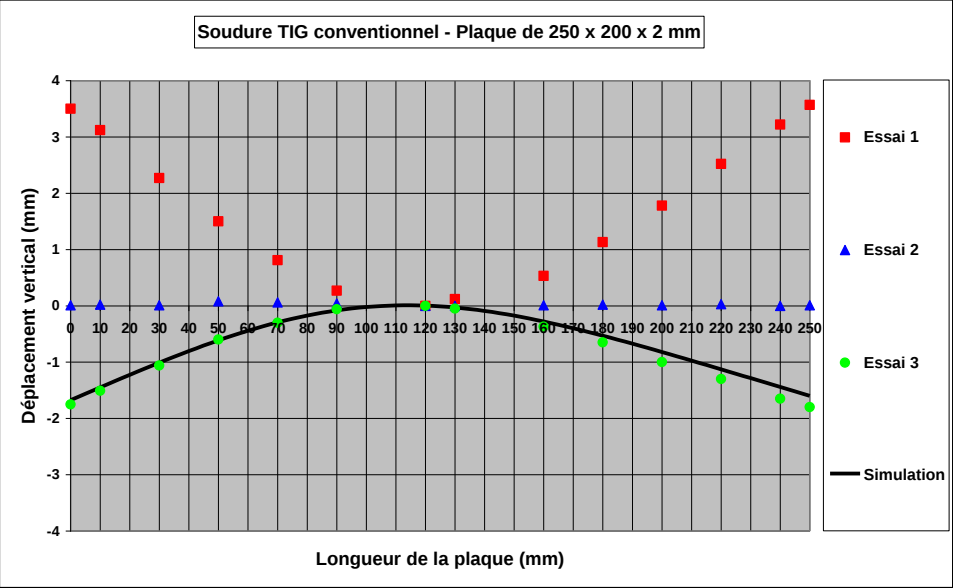
Résultats de calculs avant débridage

- Contrainte de compression maximale en soudage conventionnel, TIG = -90 MPa
- Contrainte critique de flambage (calculée) = -50 MPa

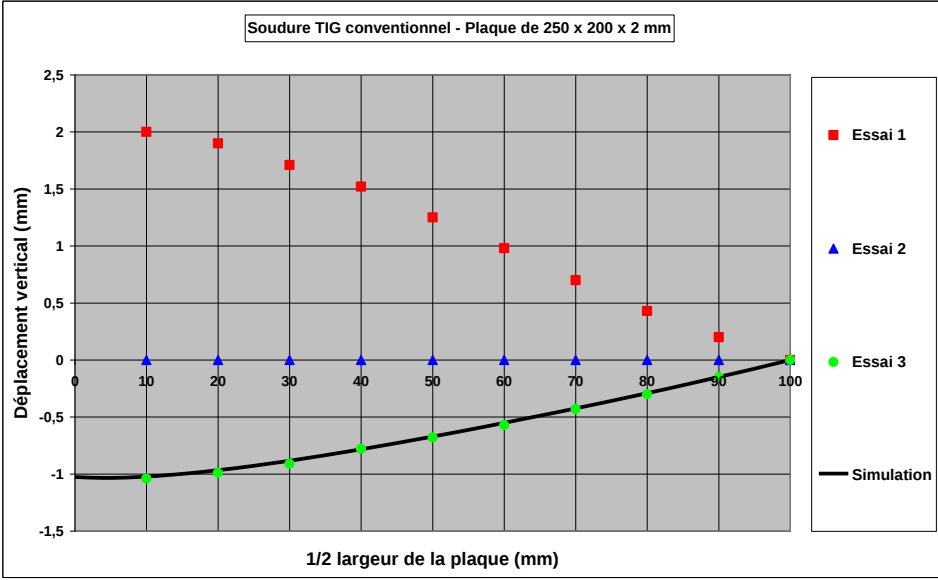


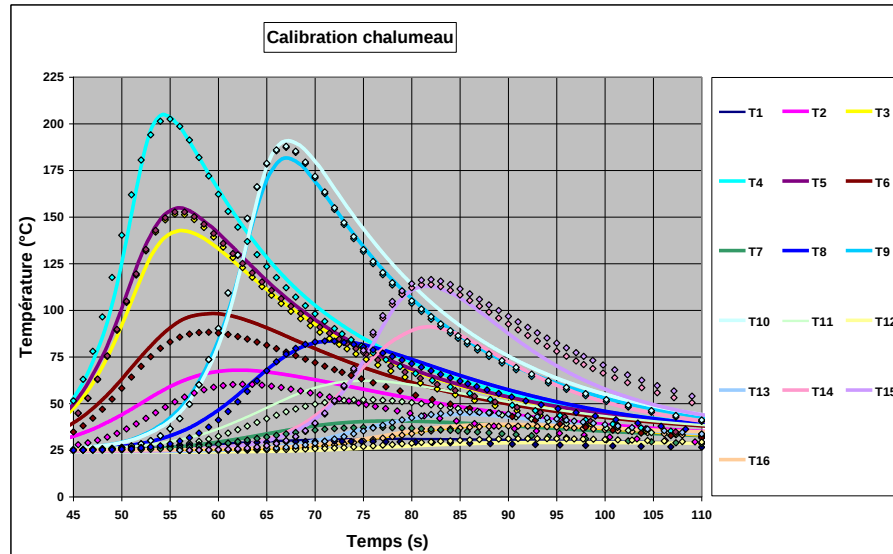
Validation des déformations globales en soudage conventionnel

Déformation longitudinale

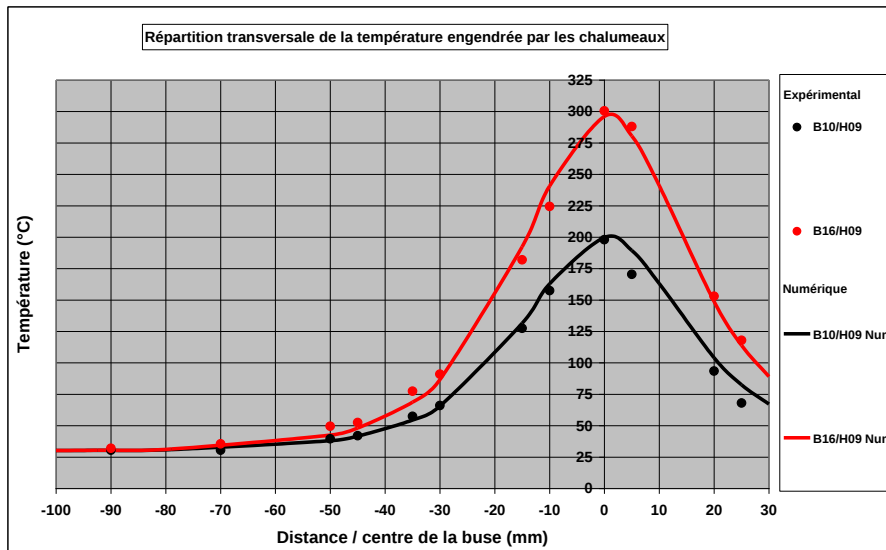
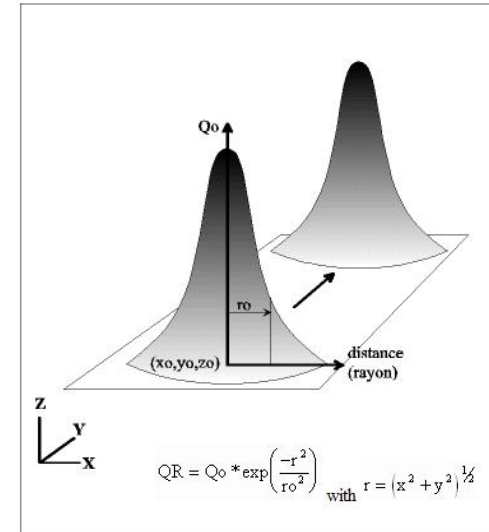


Déformation transversale





5 sources pour les chalumeaux



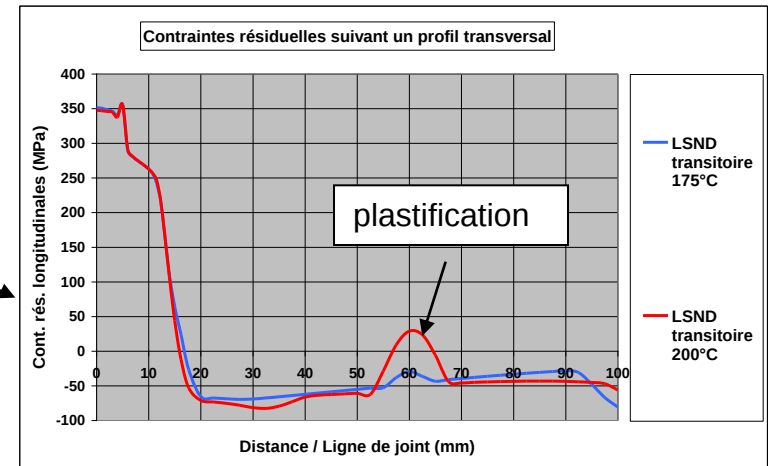
Paramètres du chalumeau :

- débit
- diamètre de la buse
- distance buse / plaque

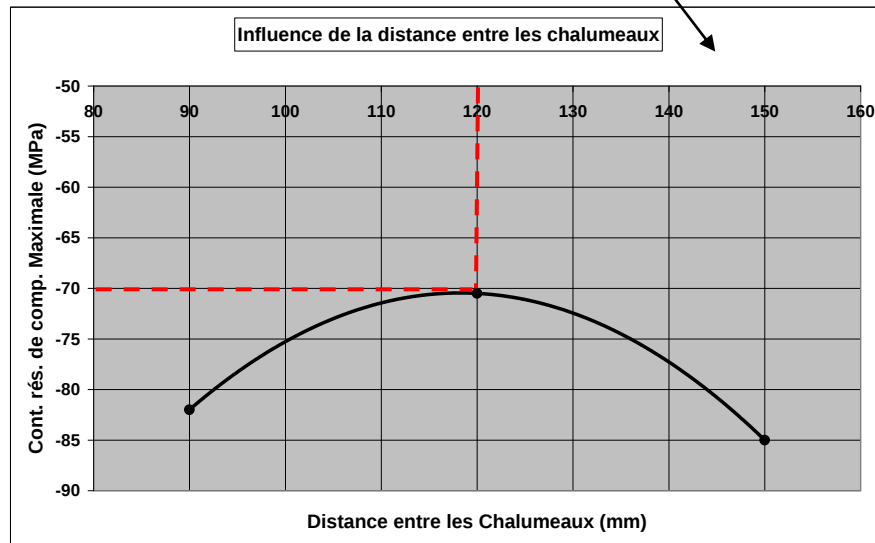


Etude paramétrique numérique = optimiser :

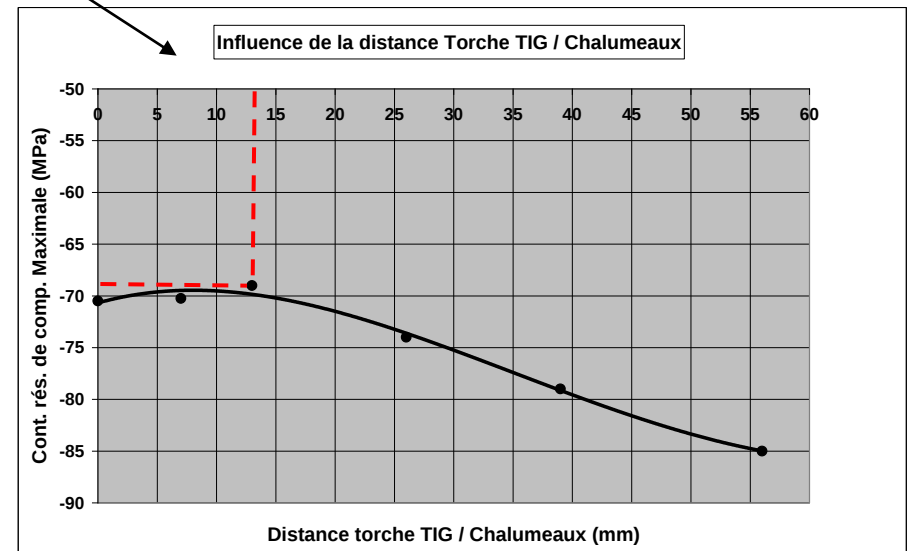
- Température maximale engendrée par les chalumeaux
- Distance torche TIG / chalumeaux
- Distance entre les chalumeaux



Température maximale = 175 °C



Distance entre chalumeaux = 120 mm



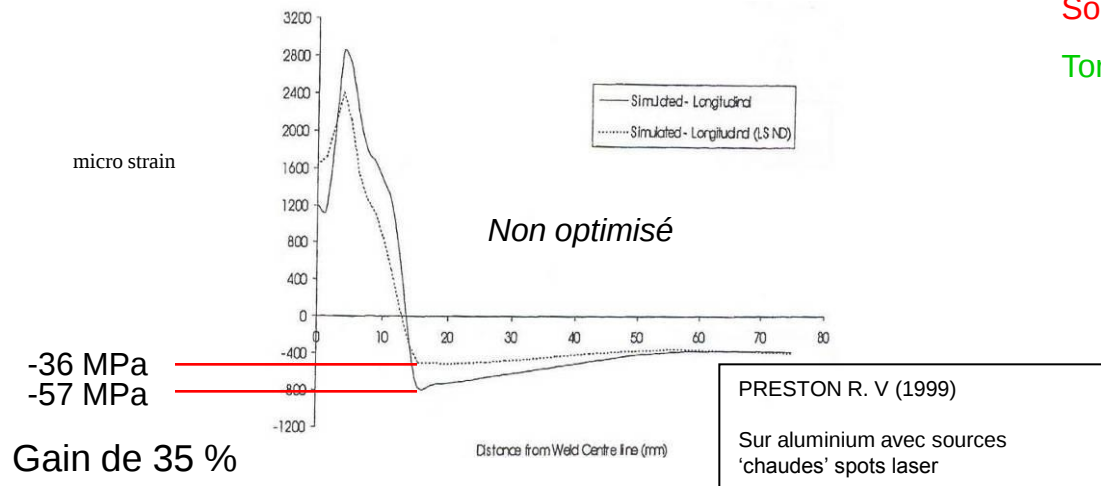
Distance torche TIG / chalumeaux = 13 mm



Conclusions sur l'optimisation :

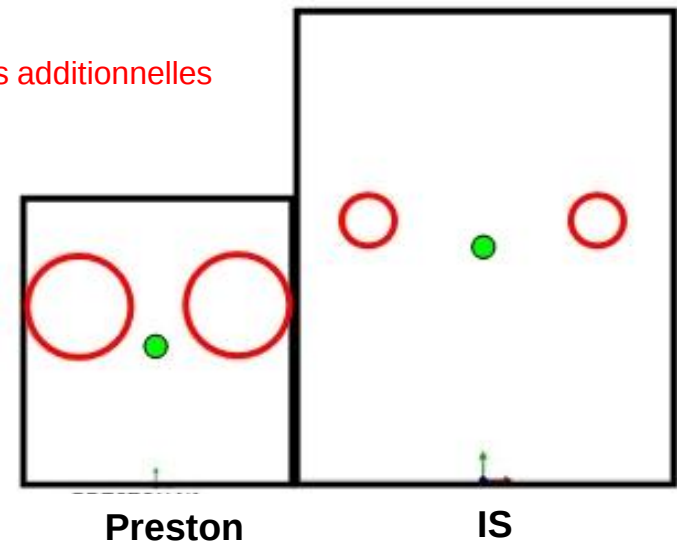
- Contrainte de compression maximale en soudage TIG conventionnel = -90 MPa
- Contrainte de compression maximale en soudage LSND transitoire = -68 MPa (gain de 25 %)
- Contrainte critique de flambage estimée = -50 MPa

Le gain de 25 % est en accord avec d'autres résultats de soudage LSND transitoire avec sources additionnelles 'chaudes' tirés de la littérature



Sources additionnelles

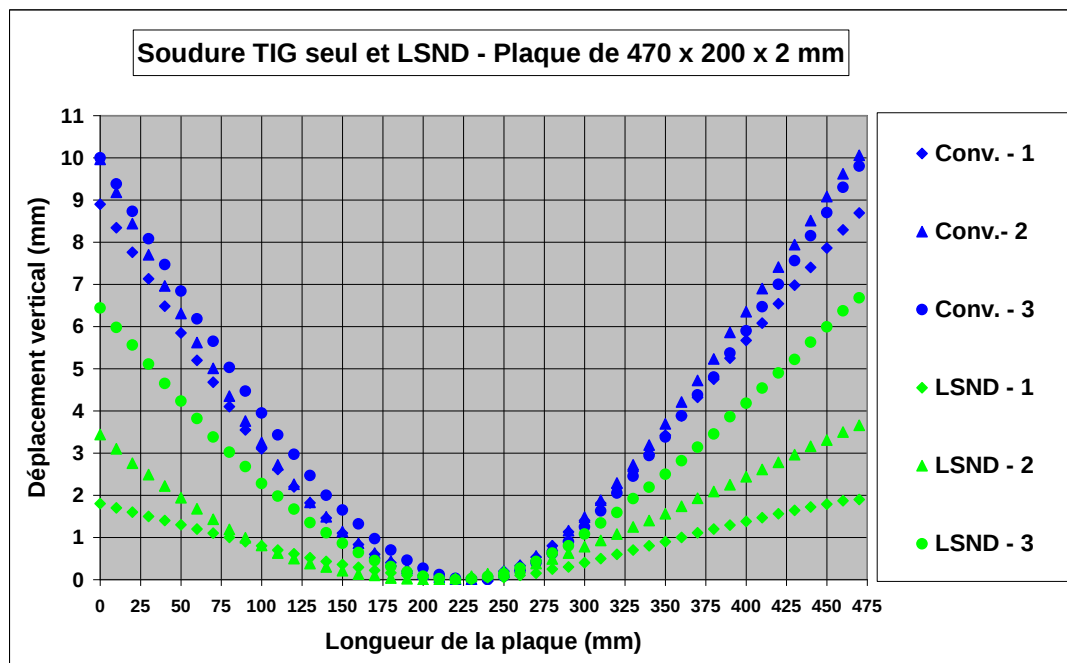
Torche



Comparaison des configurations



Application du LSND statique optimisé sur plaques de 470x200x2 mm



Résultats de mesures

Flèche maximale en TIG conventionnel = 10 mm

Flèche maximale en LSND transitoire = 6.5 mm

⇒ Gain = 35 % sur la déformation



Dispersions :

- contraintes internes ou pré-déformations avant soudage ?

(susceptibles de modifier σ_{cr})

- température maximale engendrée par les chalumeaux +/- 35 °C ?

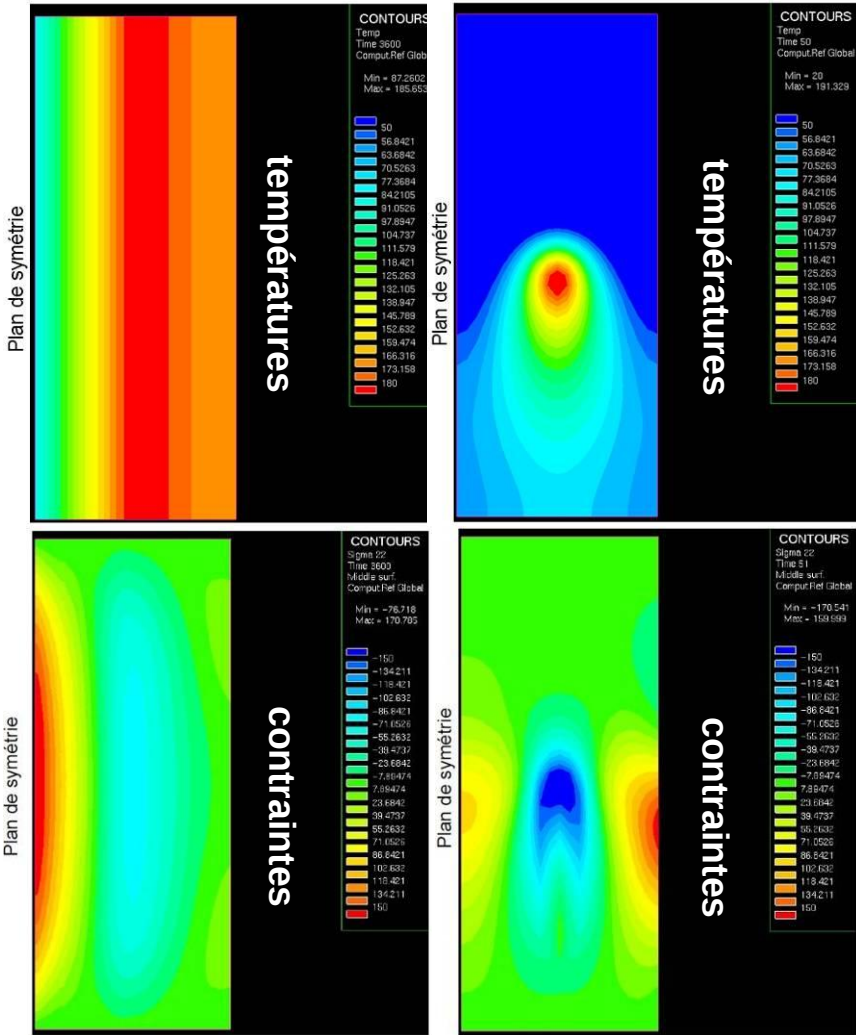
Pourquoi un gain aussi faible par rapport au LSND statique ?

Contrairement au soudage LSND statique :

- Précontrainte générée par les chalumeaux est répartie de part et d'autre au lieu d'être concentrée sur la trajectoire de soudage
- La précontrainte générée est faible (80 MPa contre 150 MPa en LSND statique)

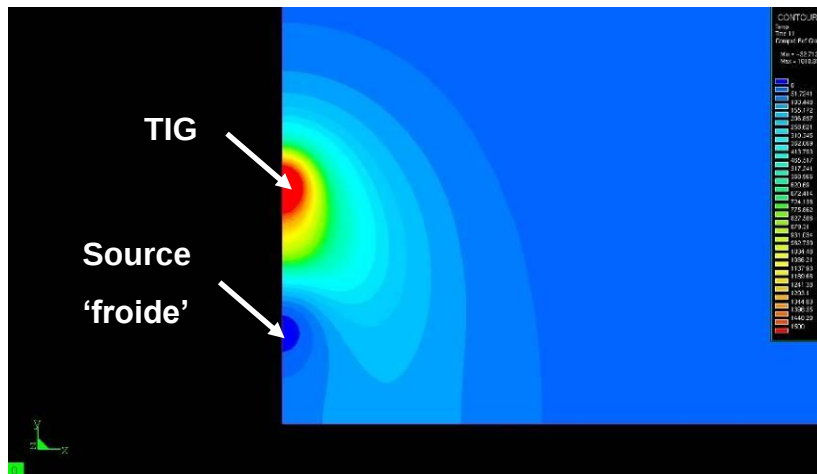


Résultats de calculs avant débridage



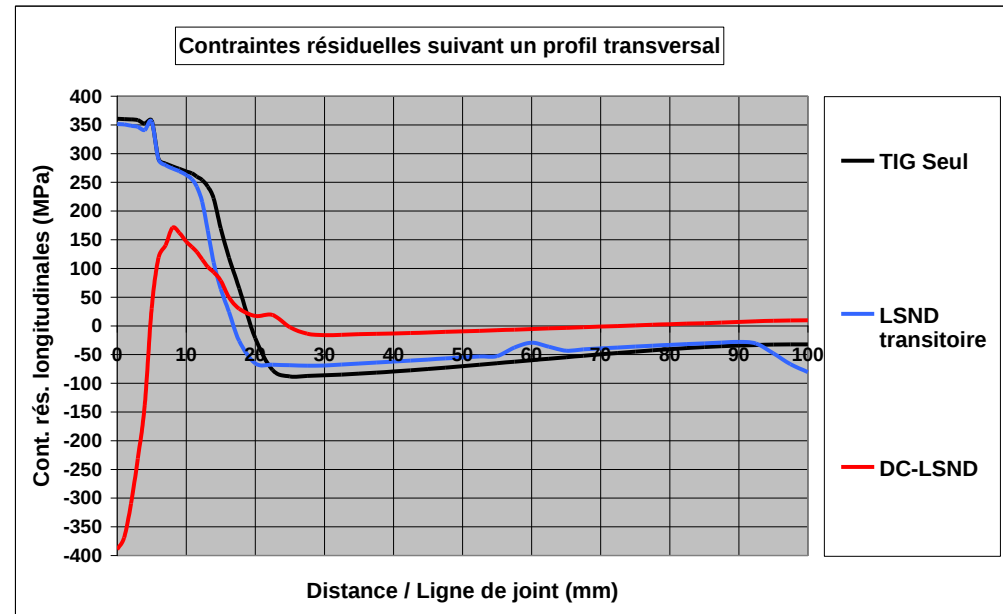
LSND statique

LSND transitoire



Températures simulées

Nous avons simulé un soudage DC-LSND avec une source 'froide' non-calibrée et non-optimisée



Résultats de calculs avant débridage

Avec le soudage DC-LSND :

😊 passe sous la barre des -50 MPa hors de la zone soudée

😊 crée de la martensite en zone soudée (d'où les contraintes de compression élevées)

⇒ augmenter la distance torche TIG / source 'froide'



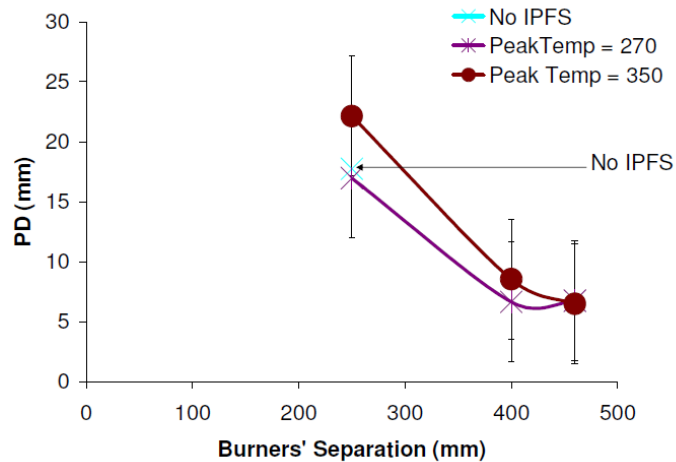
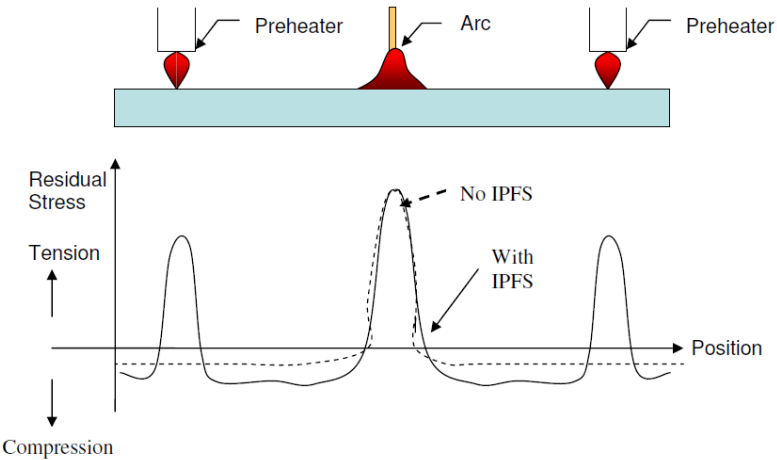
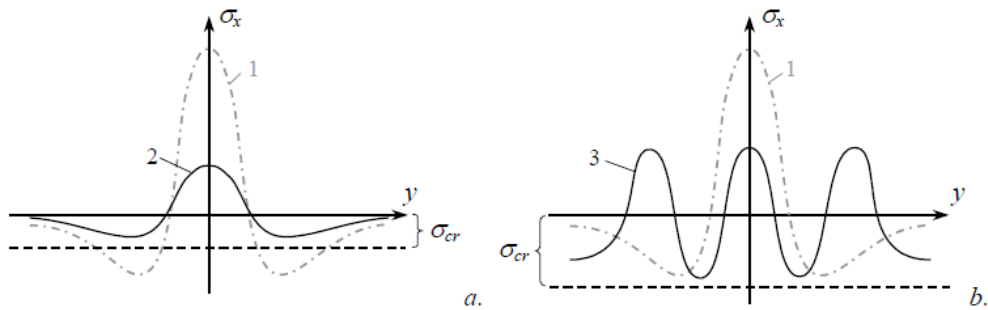
Merci de votre attention

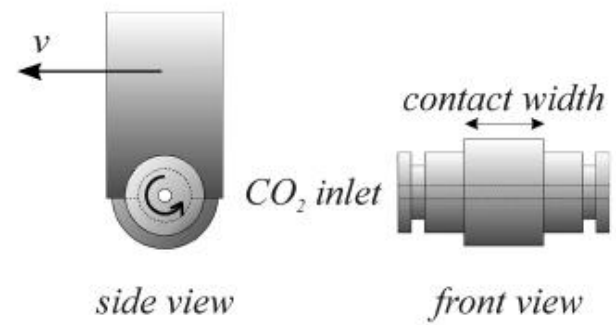
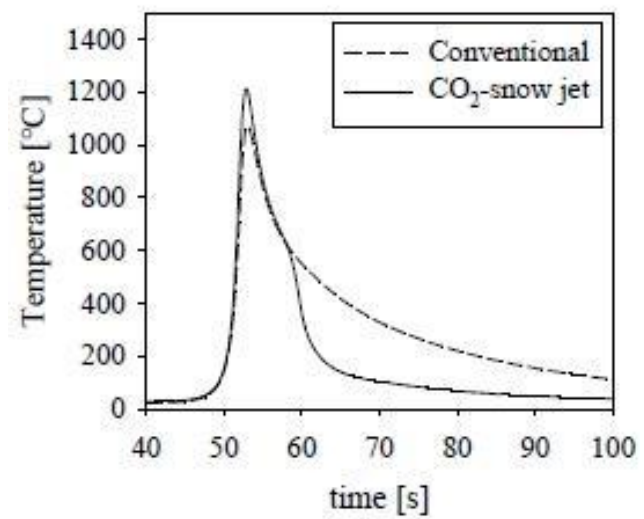
Avez vous des questions ?

Didier LAWRJANIEC

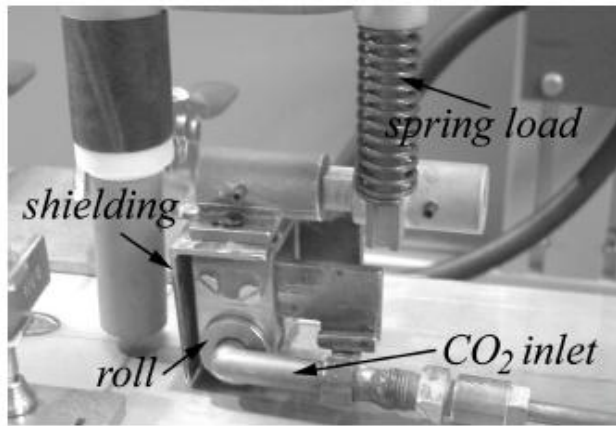
Simulation Numérique du Soudage
Plateforme Mécanique et Corrosion
Institut de Soudure Yutz

Email : d.lawrjaniec@institutdesoudure.com

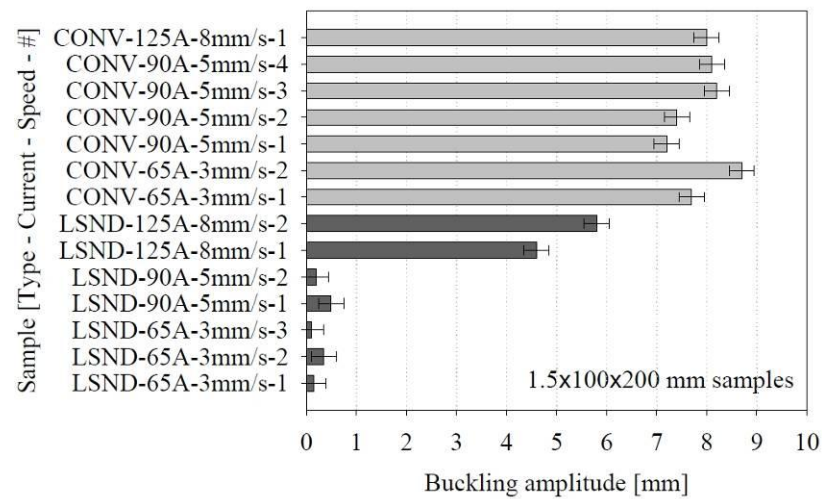
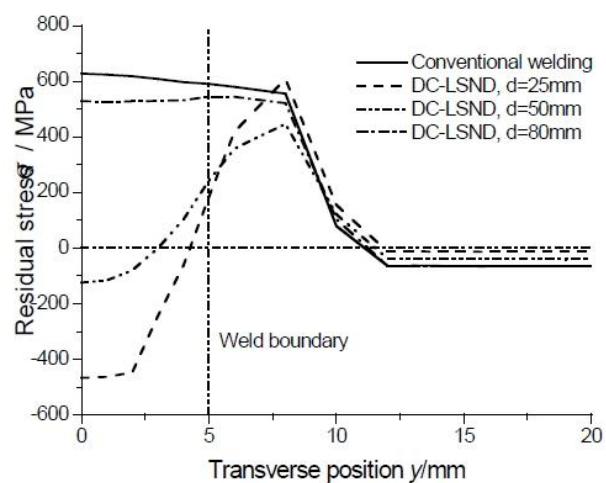


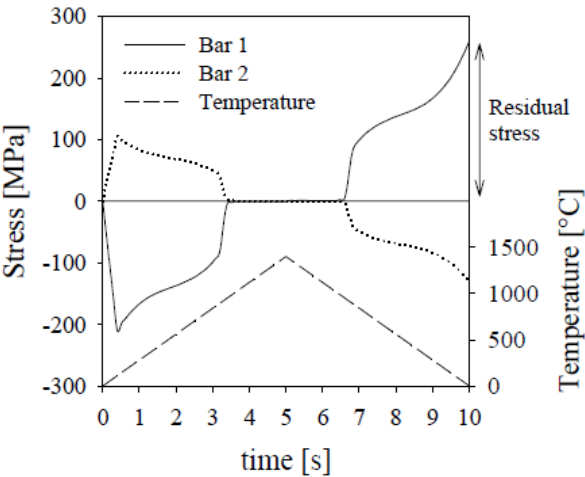


a.

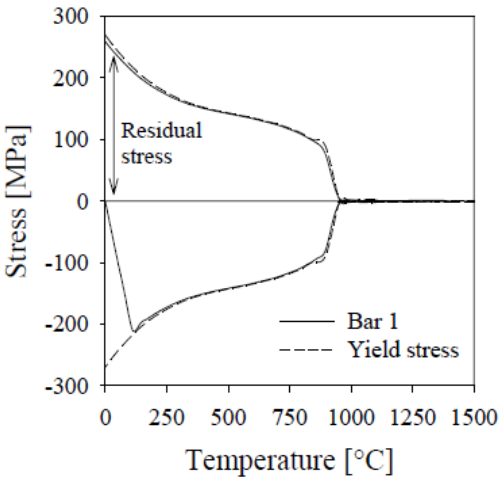


b.





a.



b.

