

Direction Recherche Innovation

Activité FSW

(Centre de Goin)

Procédé de soudage par Friction-Malaxage (FSW)

Hugo ROBE

Sommaire

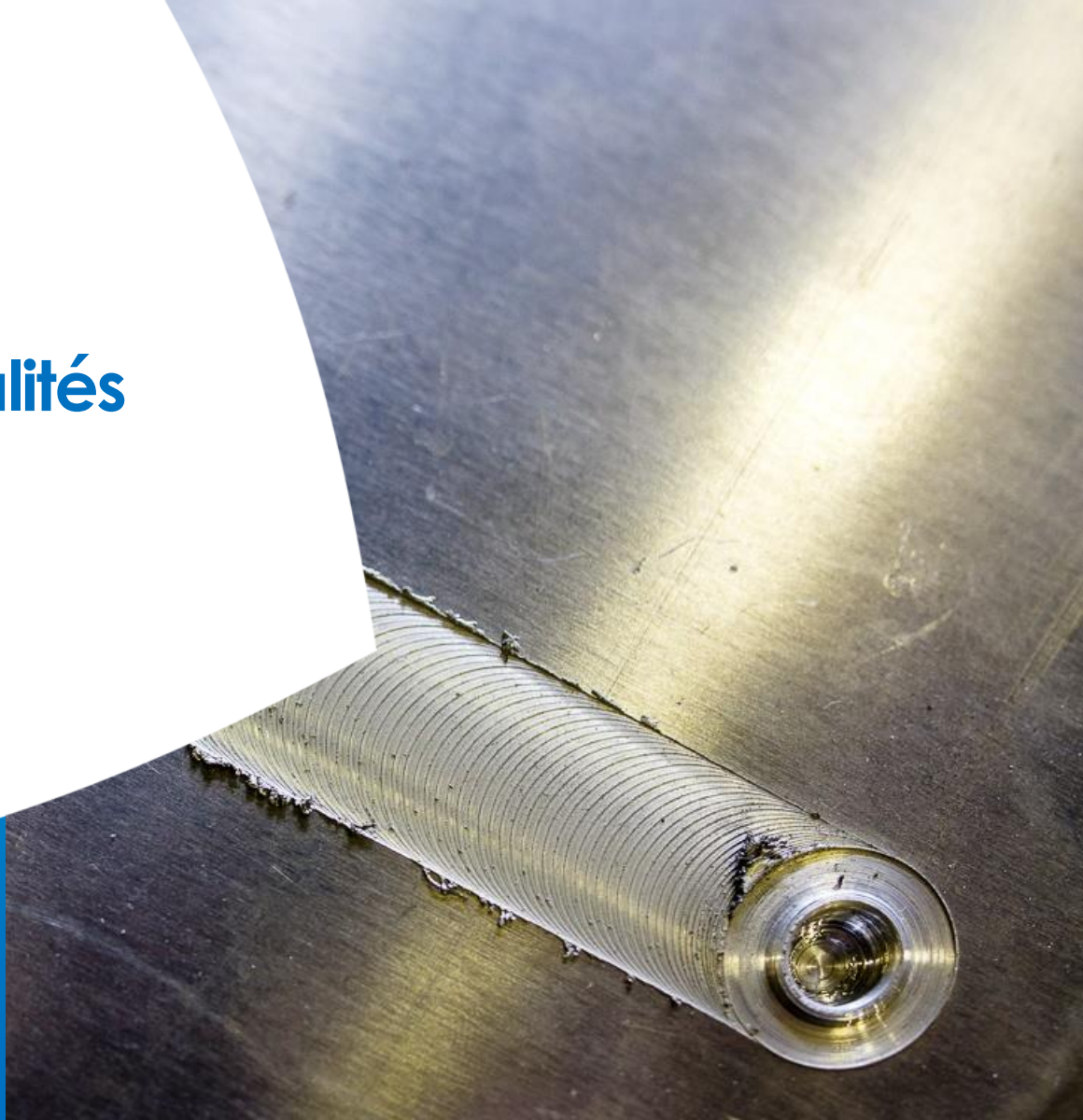
01 Principe et généralités

02 Le FSW à l'IS

03 Exemples de développements et d'applications industrielles

01

Principe et généralités



01 Principe et généralités

Historique Développement du procédé FSW à l'Institut de Soudure

1991

Développement
du FSW au TWI
(W. THOMAS)

1991



2nd brevet
FSW (TWI)

1994

Premiers
développements IS
sur FSW (machine
ESAB)

2002



Ouverture du
centre IS FSW à
GOIN (57)

2004



Inauguration
machine
portique MTS

2005



Inauguration robot
FSW à GOIN (1^{er} en
France)

2009



Fin du brevet
FSW (domaine
public)

2015

Création du
réseau
technologique
FSW français

2019

Poursuite des études industrielles

2025

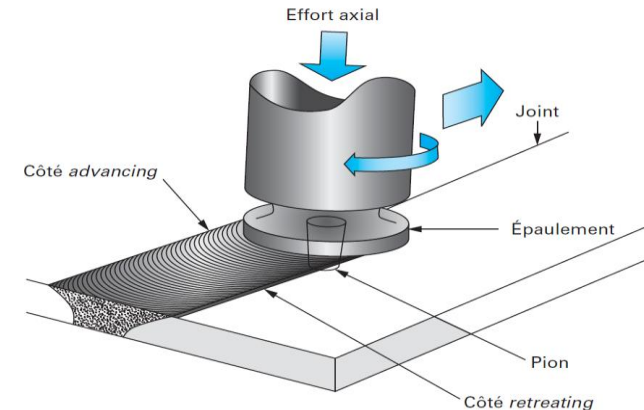
Présentation générale

- Soudage par friction-malaxage ou **Friction Stir Welding (FSW)**

- Procédé dérivé des autres procédés de soudage par friction (linéaire, rotative...)
- Soudure de proche en proche en **phase solide** :

$$T_{\text{soudage}} < T_{\text{fusion}}$$

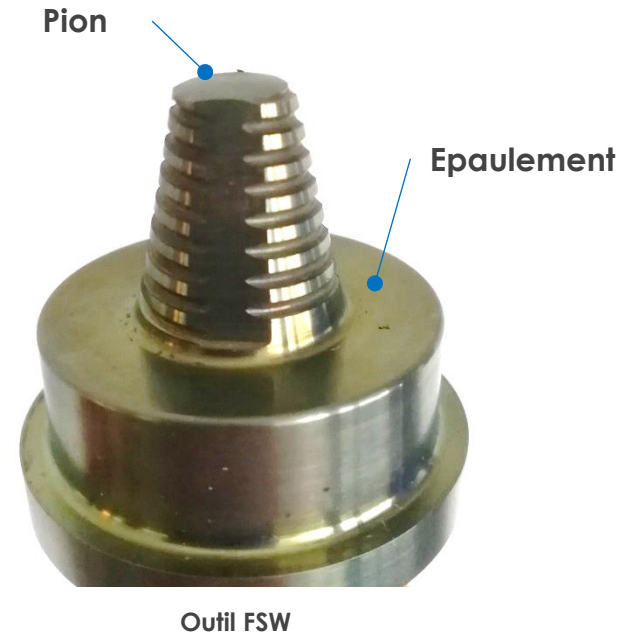
- Apport de chaleur issu uniquement du **frottement outil/matière** et des fortes **déformations plastiques**
- Soudage sans métal d'apport
- Mélange local des matériaux des pièces à assembler



Présentation générale

Outil de soudage : description

- Constitué d'un **pion** et d'un **épaulement**, l'outil est en rotation au cours du soudage
- Au passage de l'outil en rotation, la matière est malaxée, échauffée et le cordon se forme de proche en proche



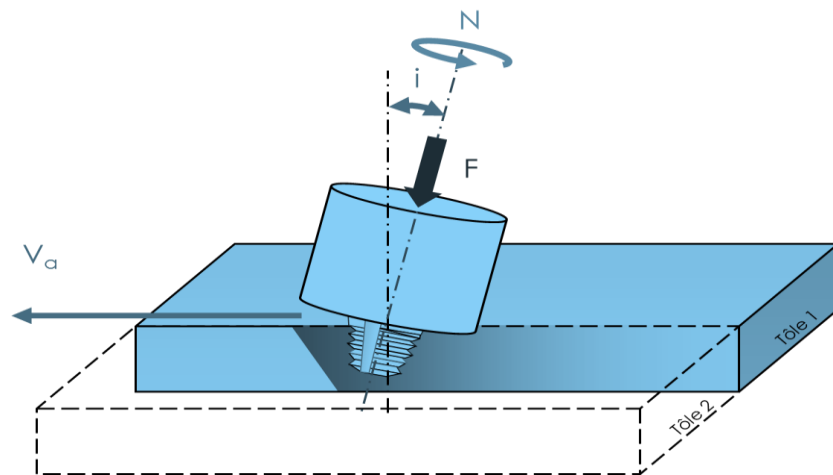
Présentation générale

Les paramètres de soudage

- Paramètres principaux :
 - Vitesse de rotation de l'outil – N (tr/min)
 - Vitesse d'avance / de soudage – V_a (mm/min)
 - Effort de soudage – F (kN)

Forment le domaine de soudabilité opératoire (DSO)

- Paramètres secondaires :
 - Outil : géométrie et matière
 - Angle d'inclinaison de la tête de soudage : i (°)
 - Mode d'asservissement de la machine (position ou effort)
 - Montage de bridage
 - Accostage entre pièces
 - Matériaux à souder



Les matériaux

Matériaux soudables par FSW

- Les alliages d'aluminium : permet de souder toutes les nuances d'aluminium (aluminium corroyés, extrudés, aluminium de fonderie, métallurgie des poudres...),
- Le cuivre et ses alliages,
- La magnésium et ses alliages,
- Les aciers (acier inoxydables notamment),
- Le titane et ses alliages,
- ...

Possibilité d'assemblages hétérogènes

- Différents alliages d'aluminium,
- Aluminium / Acier,
- Aluminium / Cuivre,
- ...

Le cordon de soudure

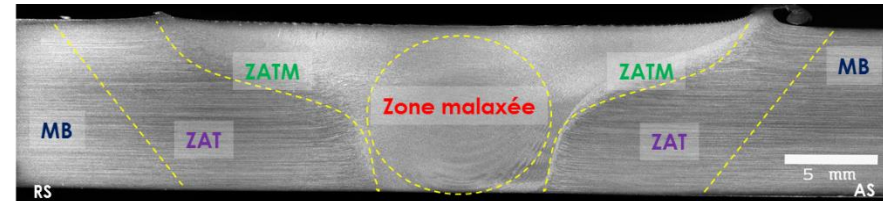
Aspect du cordon de soudure

- Aspect de soudure caractérisé par la présence de stries sur la surface supérieure
- Pas de surépaisseur (pas de métal d'apport) parfois présence d'une légère sous-épaisseur (« underfill » de ~0,2mm)
- Selon les paramètres présence possible de **bavures** appelées « **flash** »,



Activité FSW

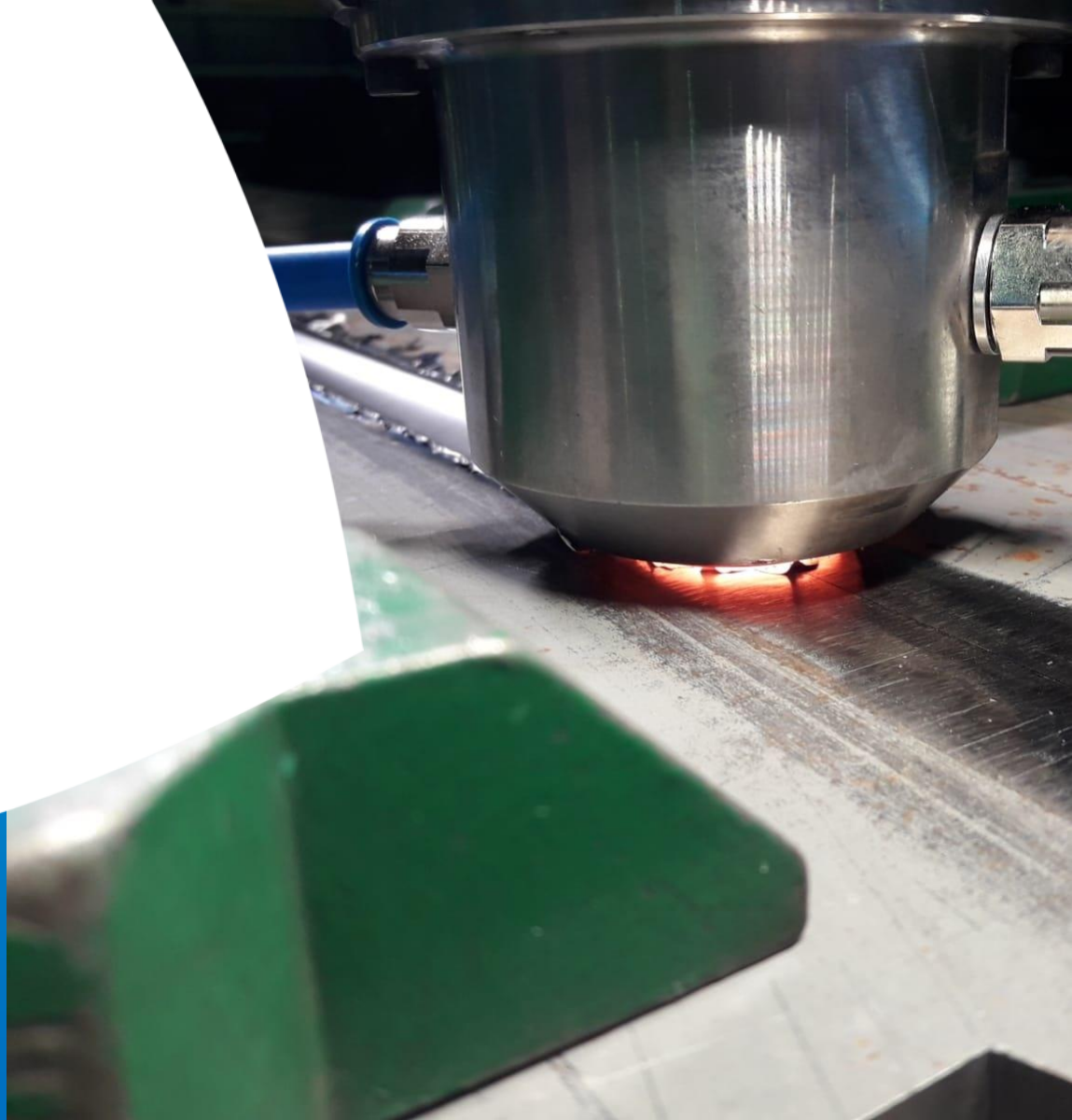
Coupe transversale d'un cordon :



- 4 zones caractéristiques dans un cordon FSW (du centre vers l'extérieur) :
 - **Zone malaxée** / Noyau
 - **ZATM**, Zone Affectée Thermo Mécaniquement
 - **ZAT**, Zone Affectée Thermiquement
 - **MB**, Métal de Base

02

Le FSW à l'IS



Le FSW à l'INSTITUT de SOUDURE

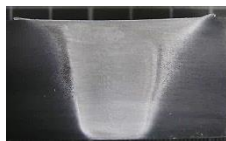
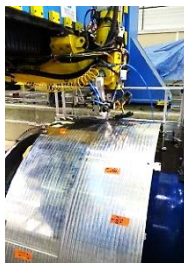
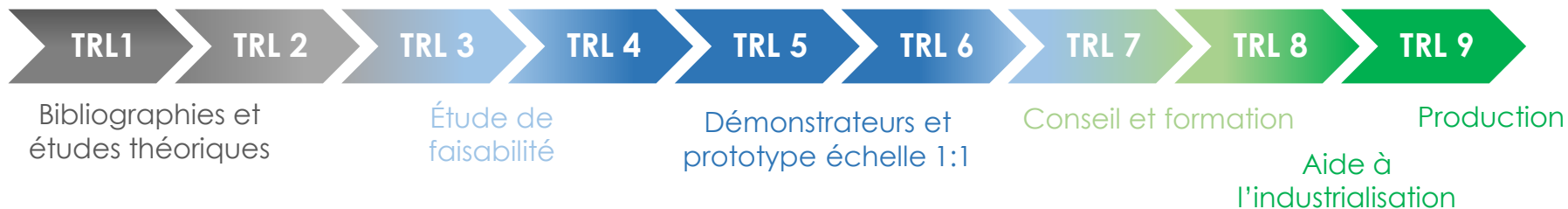
Rôle : l'IS intervient à chaque niveau du processus de développement

- Etudes bibliographiques / théoriques
- Etudes de faisabilité et développement
- Soudage de démonstrateurs et de prototypes
- Industrialisation & transfert technologique
- Assistance à l'intégration de moyens FSW
- Production de pièces en petites séries
- Assistance technique aux industriels
- Formation (catalogue ou sur-mesure)
- ...



Un centre dédié depuis 2004 :

- L'Institut de Soudure étudie les propositions des industriels qui souhaitent déployer le FSW et intervient à chaque niveau du processus de développement :



Équipements FSW à l'Institut de Soudure

Machine portique

4 technologies d'outil

Pion conventionnel, pion rétractable, épaulement stationnaire et double épaulement

Effort de soudage maxi

89 kN
(épaisseur maxi soudée pour le moment : 42mm mono-passe)

Vitesse de soudage max

2 m/min

Vitesse de rotation maxi

2 000 RPM

Machine 5 axes

Courses et volume de travail

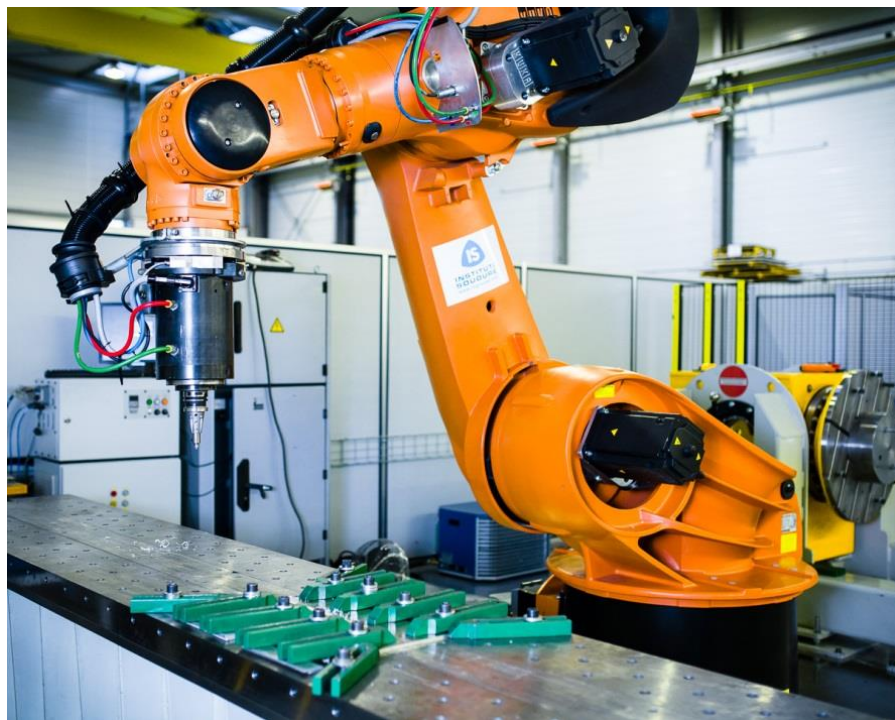
X 19 m Y 3 m Z 1.2 m

Roll $\pm 35^\circ$ Tilt $\pm 15^\circ$

: Fosse pour mise en place de pièces de grandes dimensions



Équipements FSW à l'Institut de Soudure



Robot

Technologie outil conventionnel

Système de suivi de joint laser

Effort de soudage vertical maxi 15 kN

Vitesse de soudage maxi 6 m/min

Vitesse de rotation maxi 2 500 RPM

3D capability (6 axis)

Surface de travail X 2,5 m
Y 2,5 m

03

**Exemples de
développements et
réalisations industrielles**





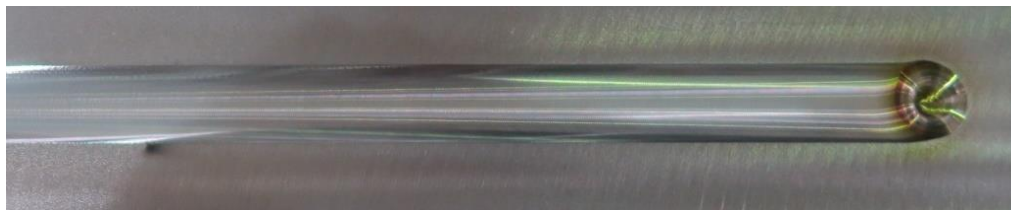
Exemple de développements IS :

- Accélérateur de particules **LHC (Large Hadron Collider)** : anneau de 27km de circonférence, formé de milliers d'aimants supraconducteurs permettant le guidage et l'accélération des faisceaux de particules
- Intérêts du FSW pour ce matériau / cette application :
 - Procédé en phase solide (température réduite / couplage thermomécanique)
 - Pas de phénomène de fissuration
 - Pas d'effet du métal d'apport (appauvrissement en Azote)
 - Déformations limitées



Outil FSW utilisé dans l'étude

Activité FSW



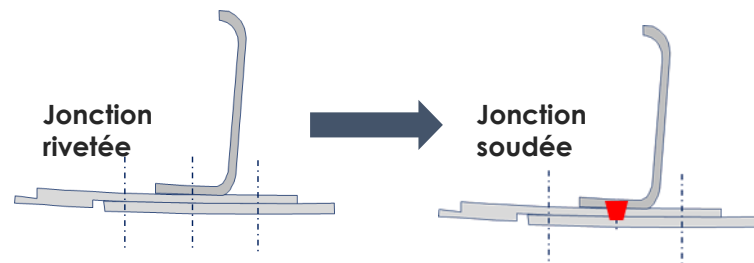
Aspect de la soudure



Soudage FSW

Exemple de développements IS :

- Pièces de structure pour des avions commerciaux :
 - Remplacement des rivets par des soudures FSW
 - ▶ Liaison peau / raidisseur réalisée par transparence
 - ▶ Ce type d'application a été étudiée par de nombreux acteurs du domaine aéronautique et est réalisable sur machine spéciale ou avec un robot poly-articulé.



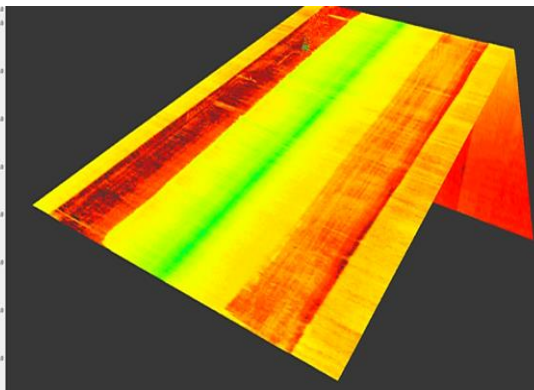
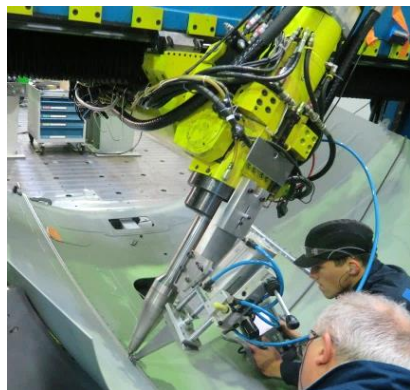
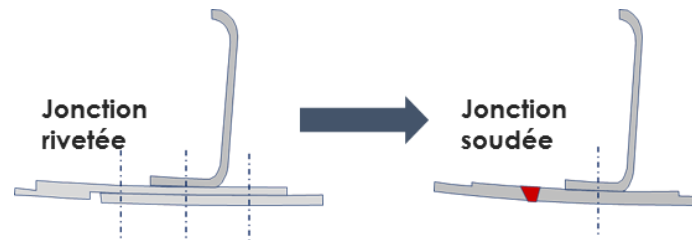
Exemples de soudage FSW de
raidisseurs sur peau.
Documents IS.

STELIA



Exemple de développements IS :

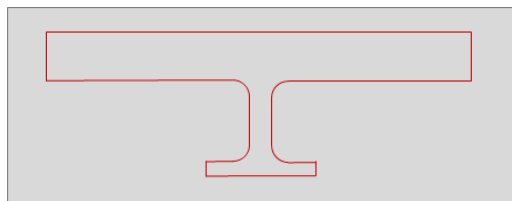
- Pièces de structure pour des avions commerciaux :
 - Autre application visant à substituer partiellement les rivets par des soudures.
 - Ce type d'application a été étudiée par de nombreux acteurs du domaine aéronautique et est réalisable sur machine spéciale ou avec un robot polyarticulé.



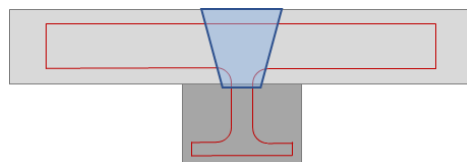
Exemples de soudage FSW de raidisseurs sur peau. Documents IS.

Exemple de développements IS :

- Pièces de structure pour des avions commerciaux :
 - Remplacement des rivets par des soudures FSW
 - Liaison peau / raidisseur réalisée par transparence



Solution classique : usinage dans la masse



Ébauche reconstituée par soudage FSW puis usinée

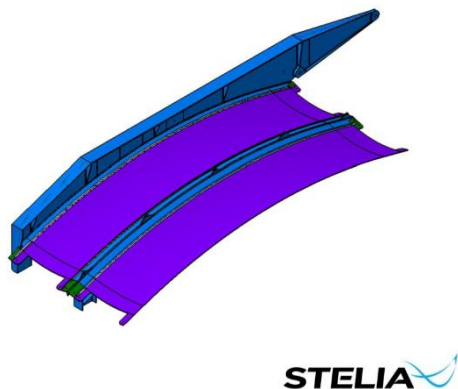
- Avantages :
 - Économie de matière (ratio buy to fly)
 - Pas d'évolution de conception de la pièce : qualification plus facile.



STELIA

Exemple de développements IS :

- Pièces de structure pour des avions commerciaux :
 - Remplacement des rivets par des soudures FSW
 - Liaison matériaux hétérogènes (aluminium 7xxx / 2xxx)



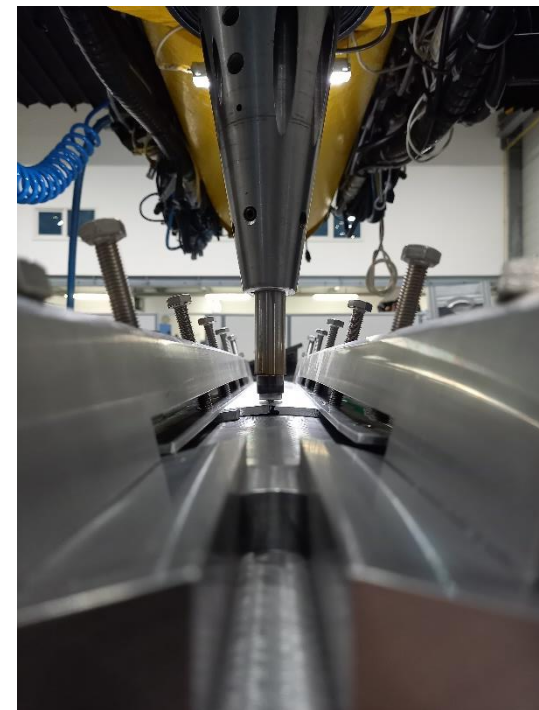
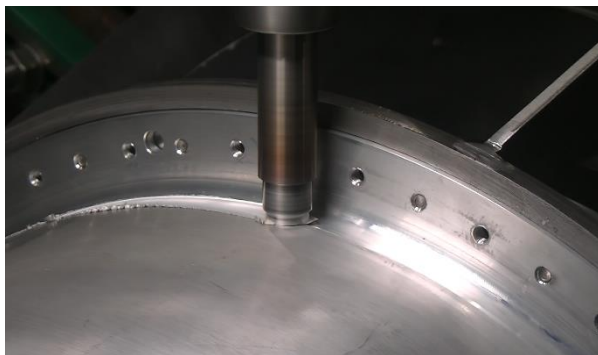
Activité FSW



Soudage FSW de viroles

Domaine Aéronautique et Spatial

- Soudures longitudinales et circonférentielles
- Technologie pion rétractable
- Co-développement design pièce



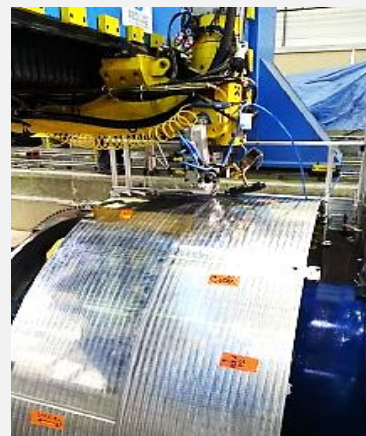
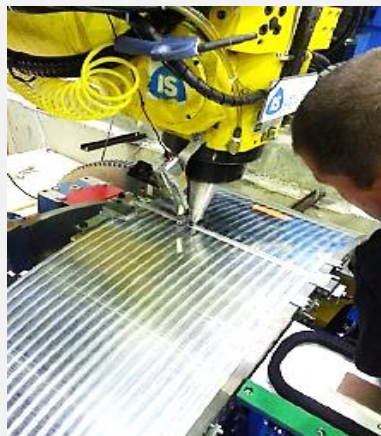
Soudage FSW de viroles

Domaine Aéronautique et Spatial

- Démonstrateur de réservoir d'ergol - Application IS / **Airbus Defence and Space**
 - Assemblage en configuration bout à bout de 8 panneaux en alliage EN AW 2195-T8 :
 - ▶ Soudage longitudinal
 - ▶ Soudage circonférentiel : tête de soudage fixe, pièce animée d'une vitesse de rotation pour le mouvement d'avance de l'outil



Vidéo ADS



Soudage FSW de viroles

Domaine Aéronautique et Spatial

- INSTITUT DE SOUDURE partenaire historique d'ARIANE Group sur les sujets FSW
 - +300 coupons soudés pour qualification procédé (développement paramètres, caractérisations, qualifications, CND...)



Vos contacts



Hugo ROBE

- Responsable Activité
Opérationnelle Produit FSW
06 98 59 41 16
h.robe@isgroupe.com

UN GROUPE APORTEUR DE SOLUTIONS
DEPUIS 1905



RECHERCHE | FORMATION | INSPECTION | CERTIFICATION
EXPERTISE | CONTRÔLES

isgroupe.com



CE QUI NOUS LIE
NOUS REND PLUS FORTS