

# 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



2<sup>nd</sup> 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<sup>er</sup> en  
France)

2009



Fin du brevet  
FSW (domaine  
public)

2015

Création du  
réseau  
technologique  
FSW français

2019

Poursuite des études industrielles

2025

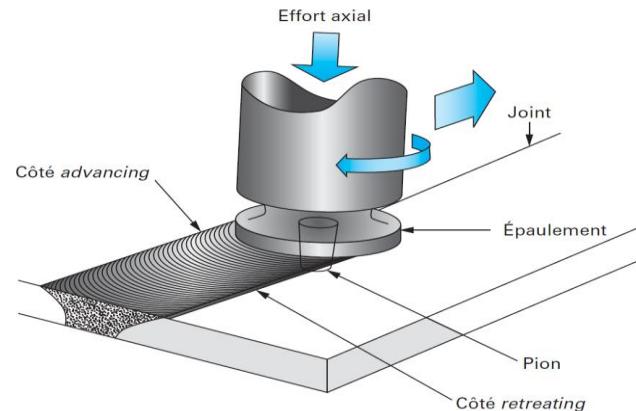
## Présentation générale

- 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** :

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

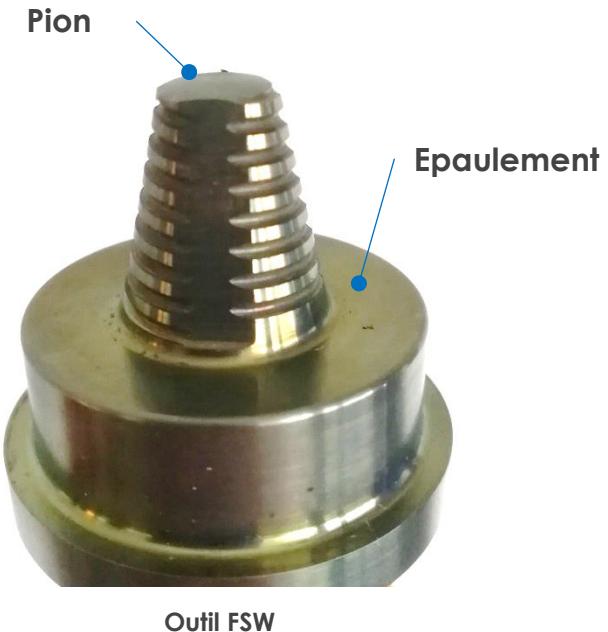
- Apport de chaleur issu uniquement du **frottement outil/matière** et des fortes **déformations plastiques**
- Soudage sans métal d'apport
- Mélange local des matériaux des pièces à assembler



# 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

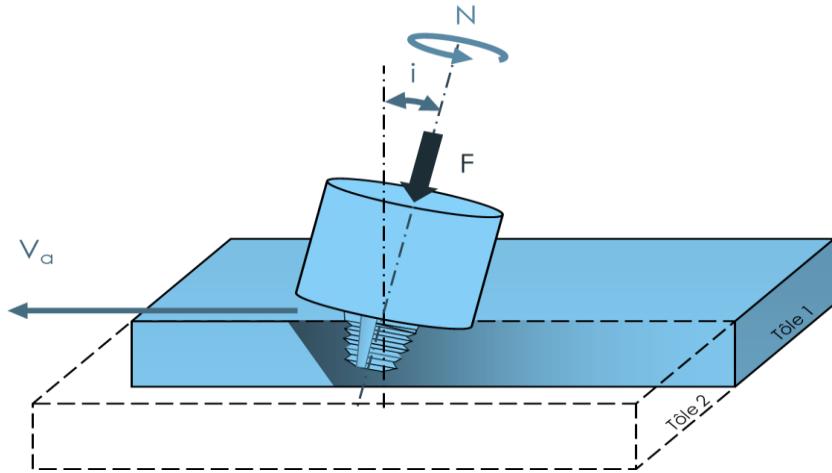
- Paramètres principaux :

- 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

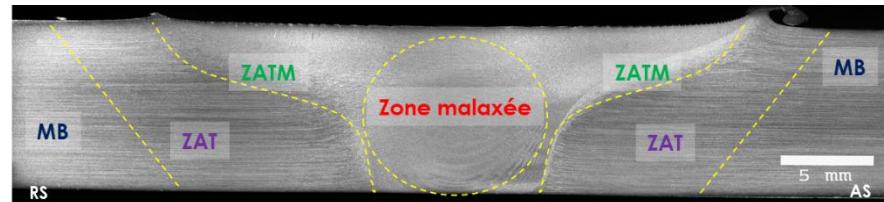
## Aspect du cordon de soudure

- 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

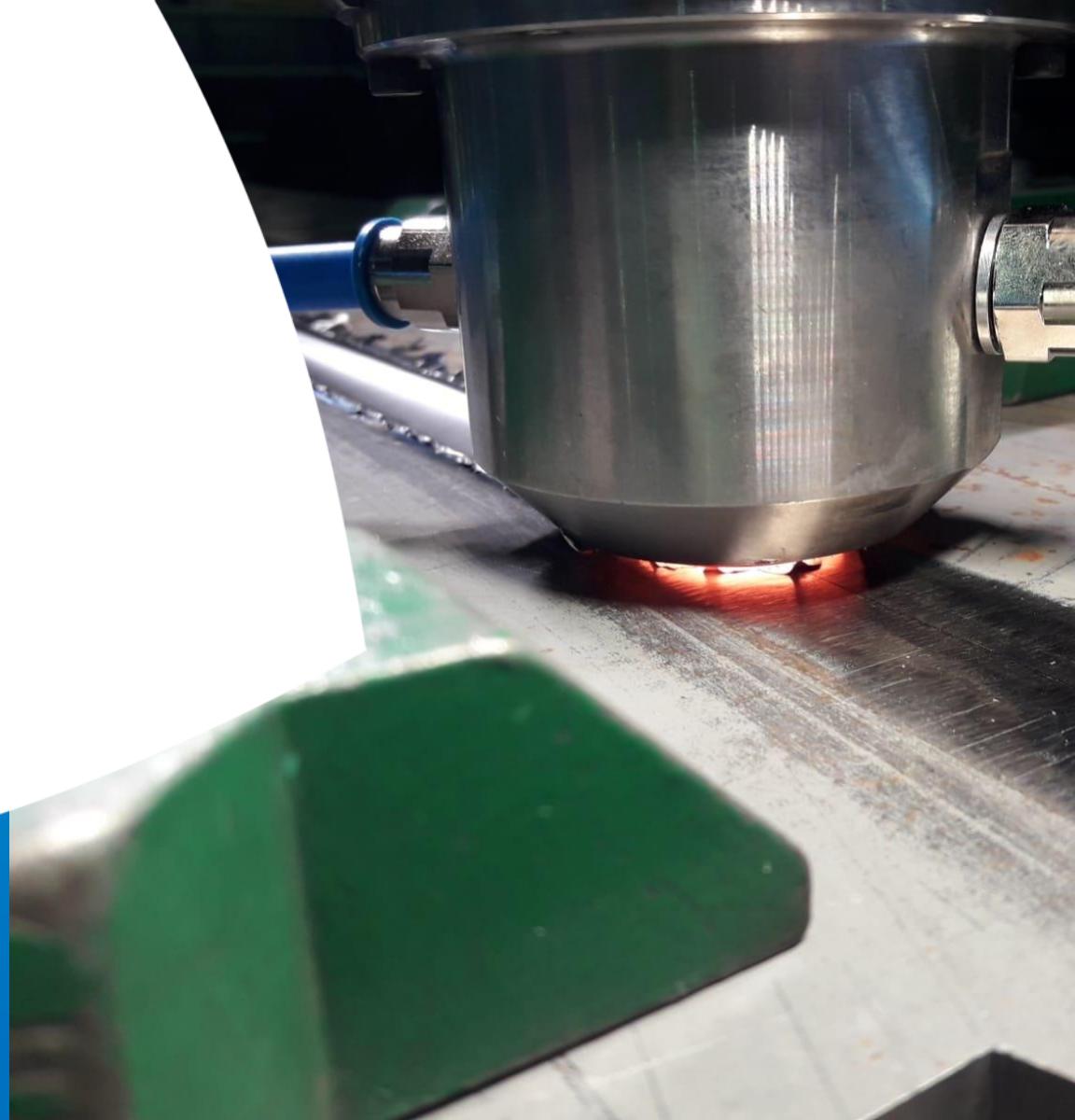
## Coupe transversale d'un cordon :



- 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 :



Bibliographies et études théoriques



Étude de faisabilité



Démonstrateurs et prototype échelle 1:1



Conseil et formation



Production

Aide à l'industrialisation



# 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

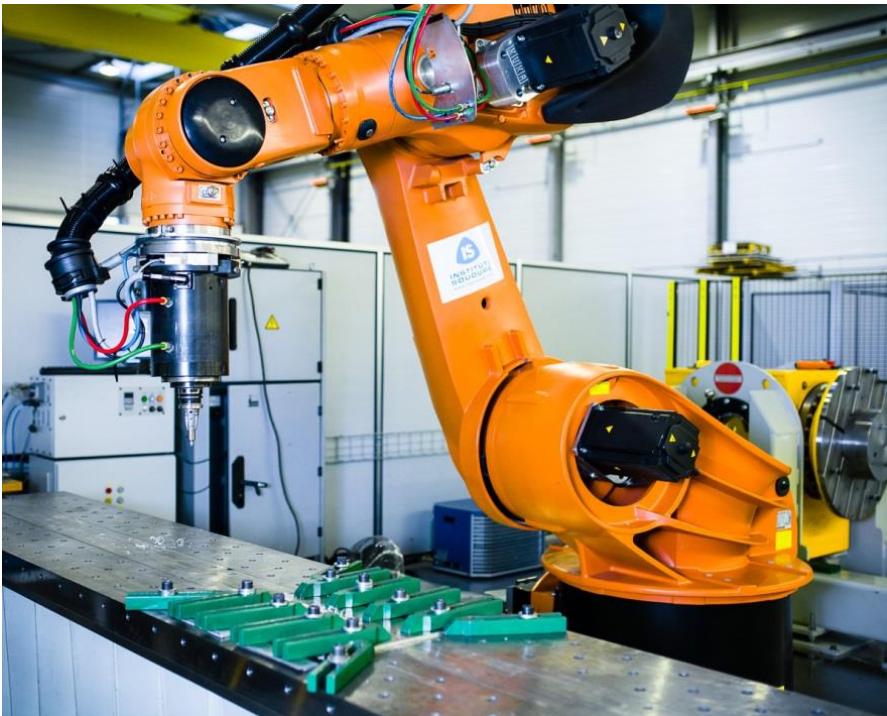
X 19 m Y 3 m Z 1.2 m

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



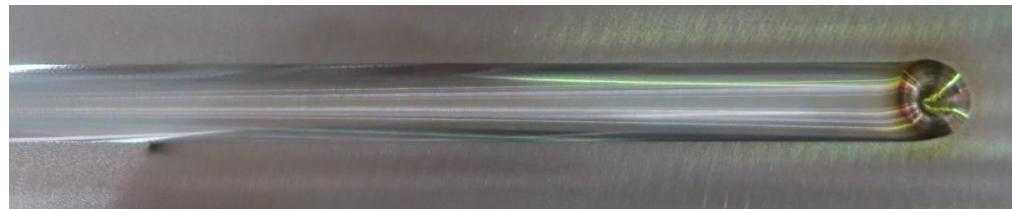


## Exemple de développements IS :

- 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



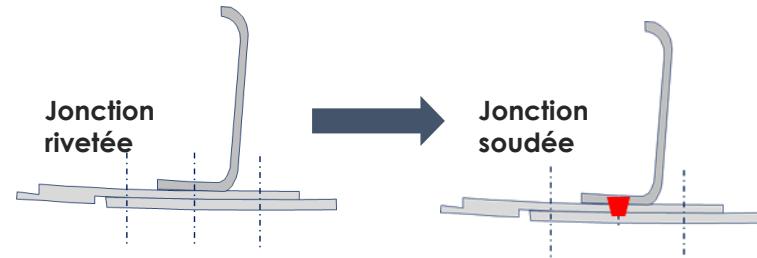
Aspect de la soudure



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.



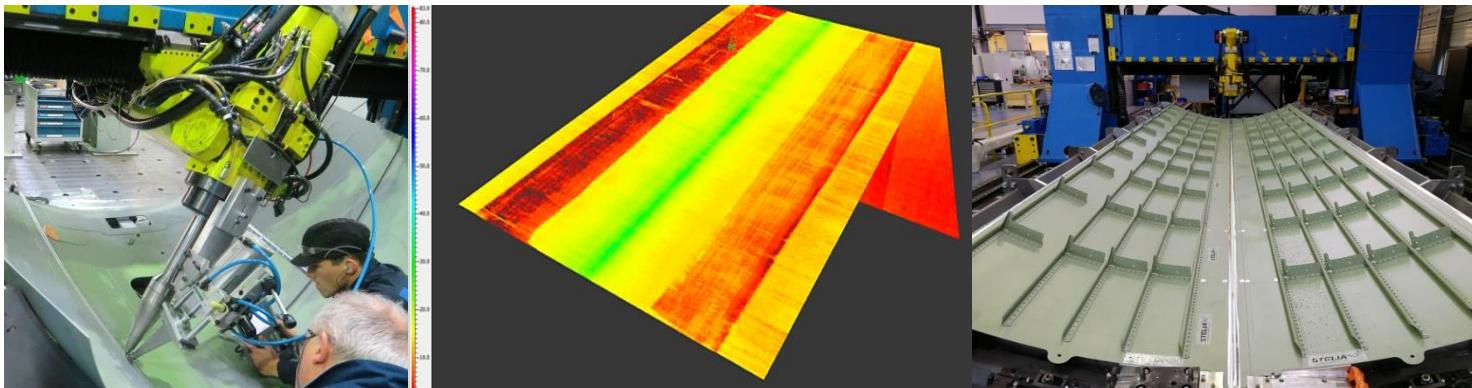
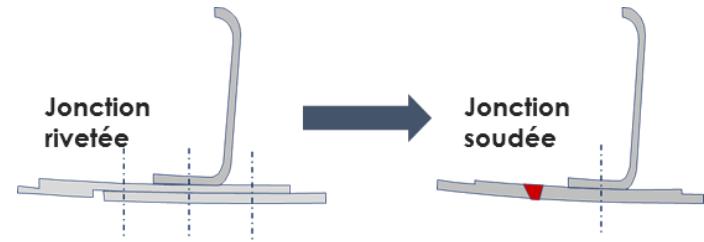
Exemples de soudage FSW de  
raidisseurs sur peau.  
Documents IS.



**STELIA**

## Exemple de développements IS :

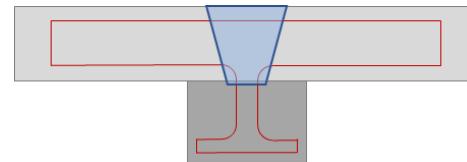
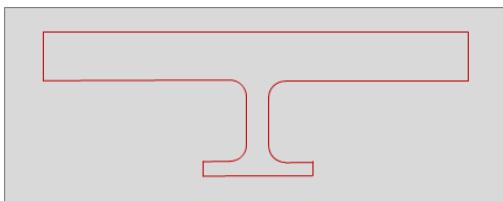
- Pièces de structure pour des avions commerciaux :
  - Autre application visant à substituer partiellement les rivets par des soudures.
  - Ce type d'application a été étudiée par de nombreux acteurs du domaine aéronautique et est réalisable sur machine spéciale ou avec un robot polyarticulé.



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

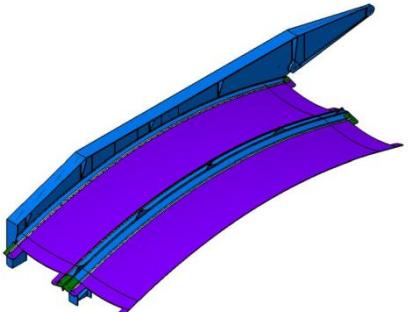


- Avantages :
  - Économie de matière (ratio buy to fly)
  - Pas d'évolution de conception de la pièce : qualification plus facile.

**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)



**STELIA** 

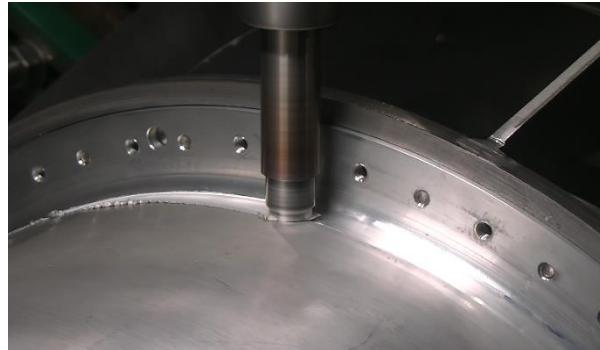
Activité FSW



## Soudage FSW de viroles

Domaine Aéronautique et Spatial

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



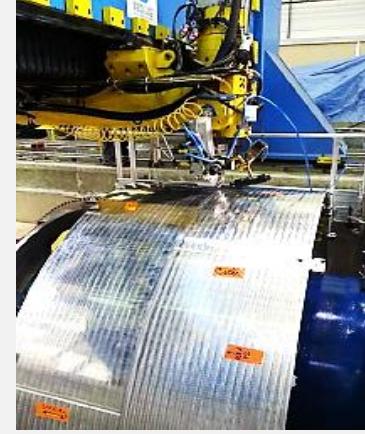
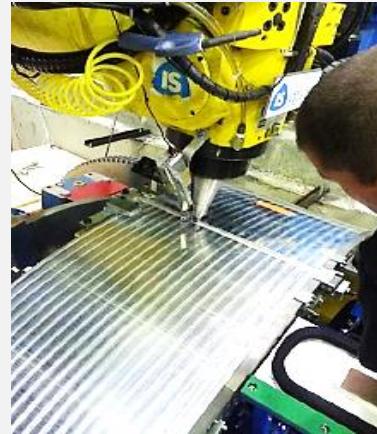
## Soudage FSW de viroles

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](mailto:h.robe@isgroupe.com)

UN GROUPE APPORTEUR DE SOLUTIONS  
DEPUIS 1905



RECHERCHE | FORMATION | INSPECTION | CERTIFICATION  
EXPERTISE | CONTROLES

[isgroupe.com](http://isgroupe.com)

 INSTITUT  
de SOUDURE  
GROUPE

CE QUI NOUS LIE  
NOUS REND PLUS FORTS