

Identification des mécanismes de rupture sur des soudures par point de friction malaxage

S. BOZZI¹, A.L. ETTER¹, T. BAUDIN¹, B. CRIQUI², J.G. KERBIGUET²



(1) *Laboratoire de Physico-Chimie de l'État Solide
ICMMO, UMR CNRS 8182
Université de Paris Sud XI, Orsay, France*

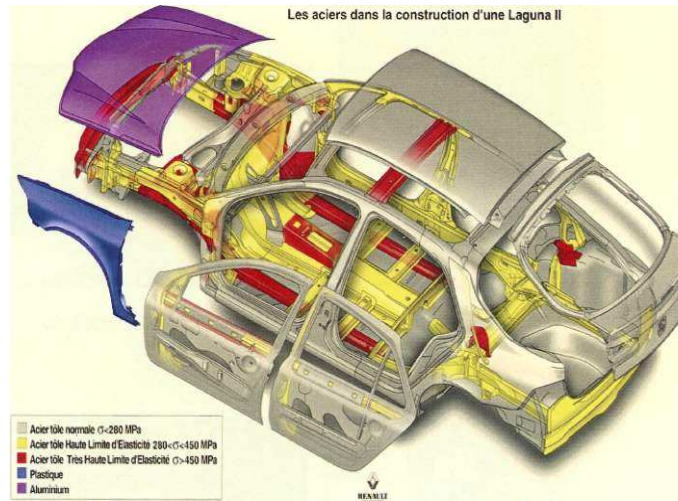
(2) *Technocentre Renault, Guyancourt, France*



Introduction

- **Contexte :**

Allègement des voitures et réduction des coûts grâce à l'assemblage par point par le procédé « FSSW »



- **Objectif :**

Comprendre les mécanismes de rupture et identifier les paramètres fragilisants, afin d'optimiser la tenue mécanique des points.

Sommaire

- Le procédé FSSW
 - L'assemblage de l'aluminium
- L'assemblage entre l'acier et l'aluminium
 - Conclusion / Perspectives

Le procédé FSSW

- Soudage thermomécanique, sans fusion (inventé en 1991, TWI)

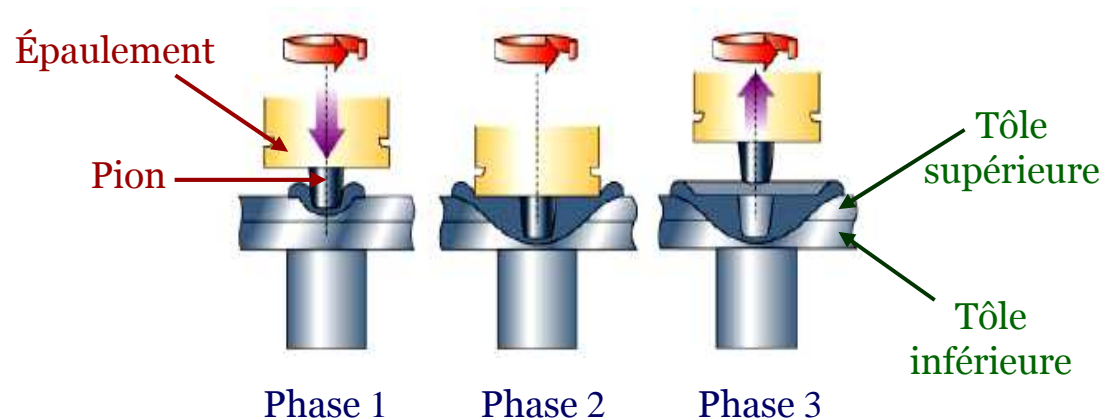
- Deux types :



Le soudage linéaire



Le soudage par point (FSSW)



- Paramètres de soudage :
 - Vitesse de rotation
 - Temps de soudage
 - Effort de soudage
 - Géométrie de l'outil

L'assemblage de l'aluminium

- **2 tôles soudées par transparence :**
 - Alliage Aluminium Magnésium 5182
 - Tôle supérieure : épaisseur de 1,2 mm ; tôle inférieure : 2,0 mm

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Autres	Al
0,20	0,35	0,15	0,20-0,50	4,00-5,00	0,10	0,25	0,10	0,15	reste

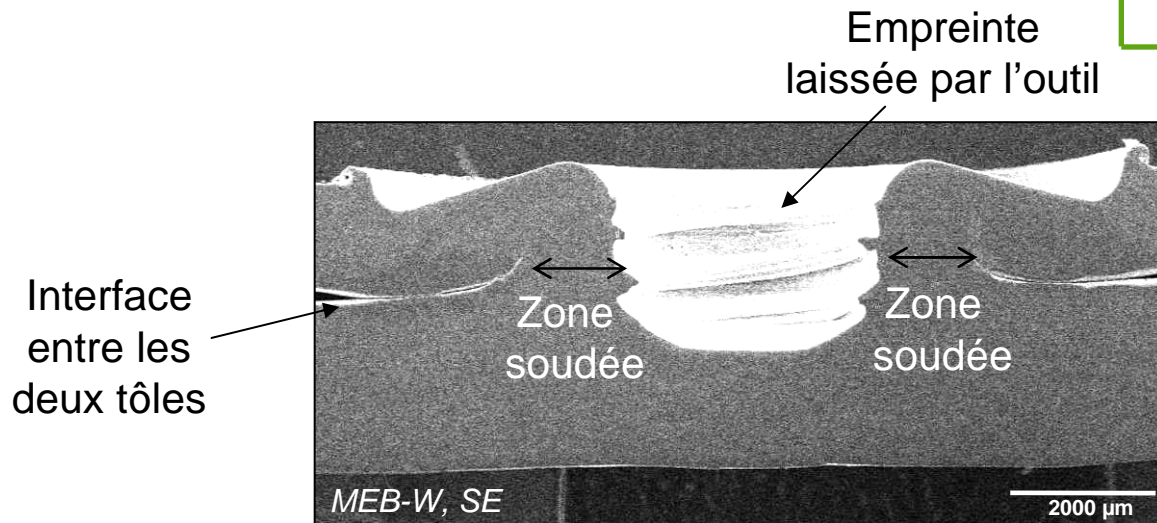
Composition chimique (% poids) de l'alliage 5182

- **Outil de soudage :**
 - Acier Z38CDV5 traité à 50 HRC
 - Pion cylindrique fileté à gauche : 1,8 mm de longueur

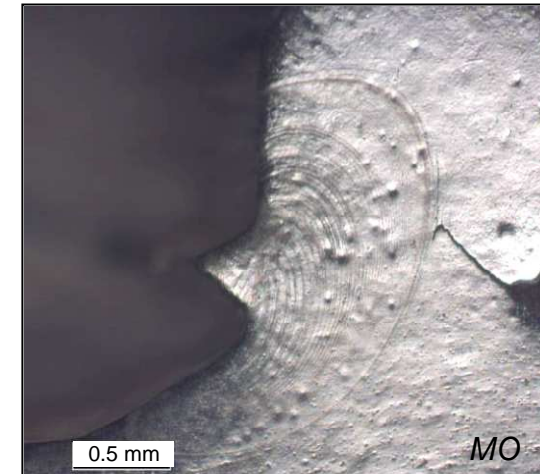


L'assemblage de l'aluminium

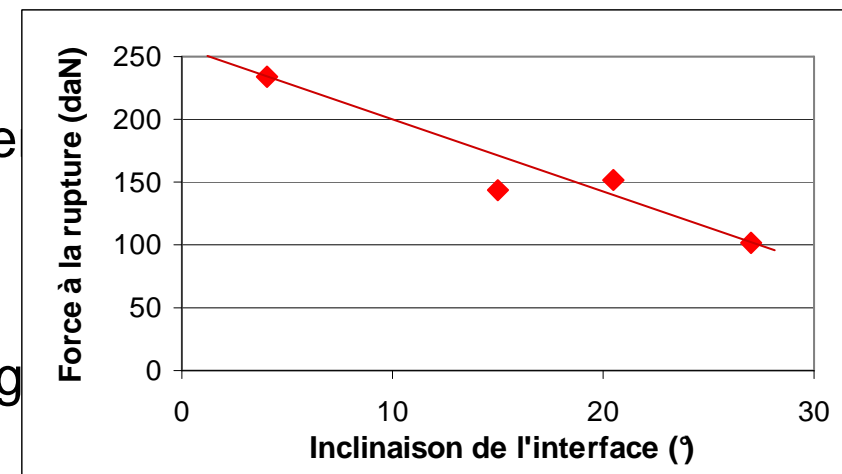
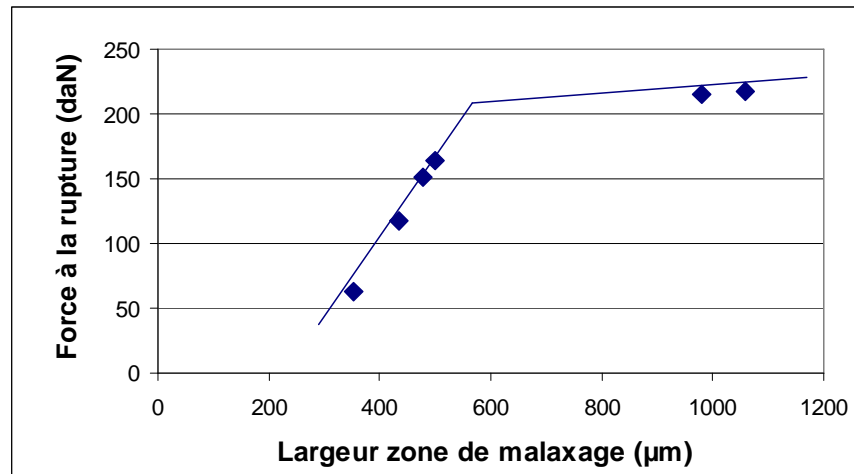
Aspect des soudures



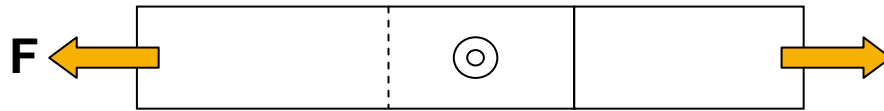
Coupe transversale d'un point de soudure



Zone soudée



L'assemblage de l'aluminium



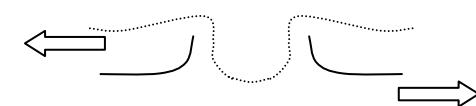
Analyse mécanique



Interface plane

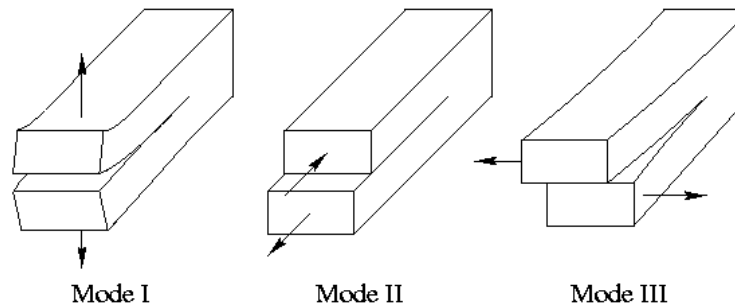


Interface inclinée



Interface verticale

Les différentes configurations possibles des points de soudure



Mode I

Mode II

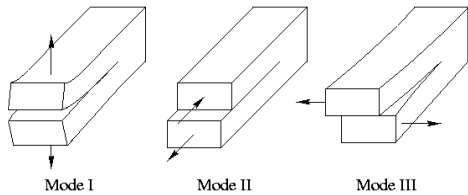
Mode III

Les différents modes d'ouverture d'une fissure

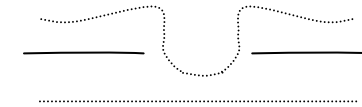
L'interface se comporte comme une fissure.

L'assemblage de l'aluminium

Analyse mécanique

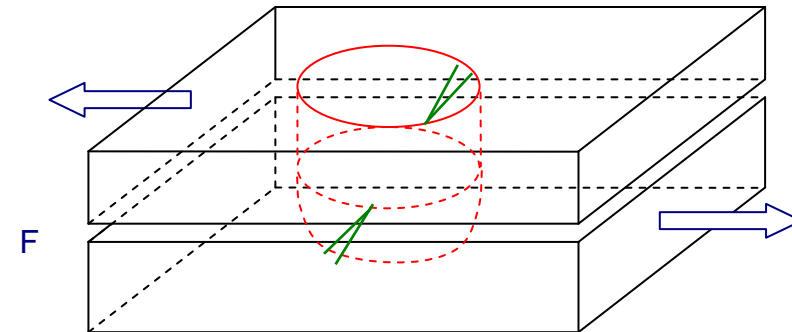
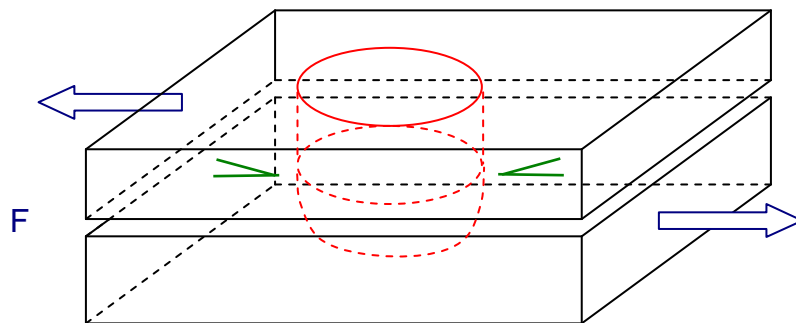


■ Cas de l'interface plane :



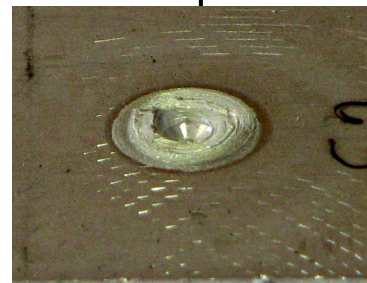
$\alpha = 0^\circ$

$\alpha = 90^\circ$



Mode II

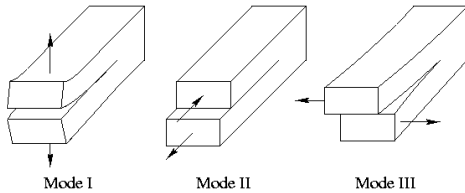
Mode III



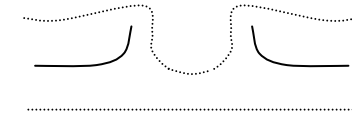
Bonne tenue mécanique en traction-cisaillement

L'assemblage de l'aluminium

Analyse mécanique

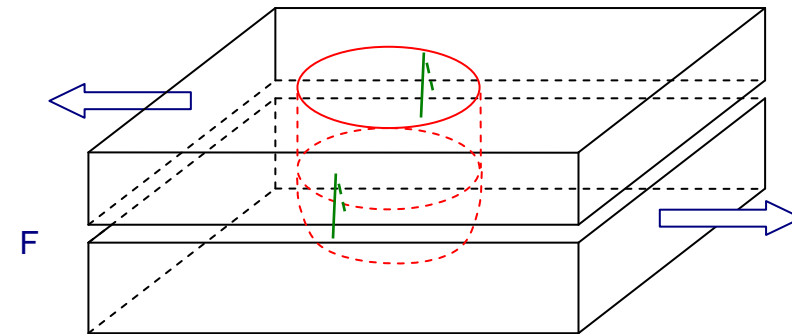
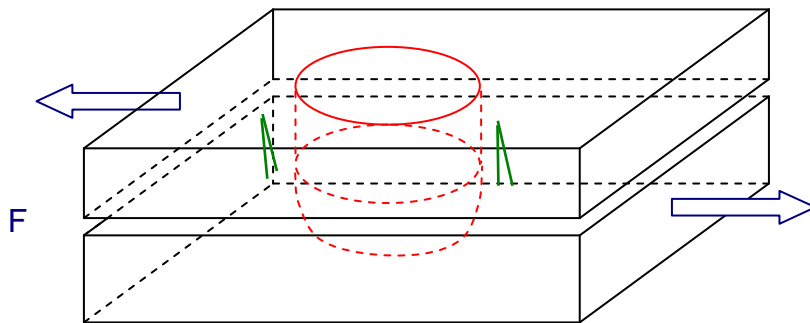


- Cas d'une interface verticale :



$\alpha = 0^\circ$

$\alpha = 90^\circ$



Mode I

Mode III

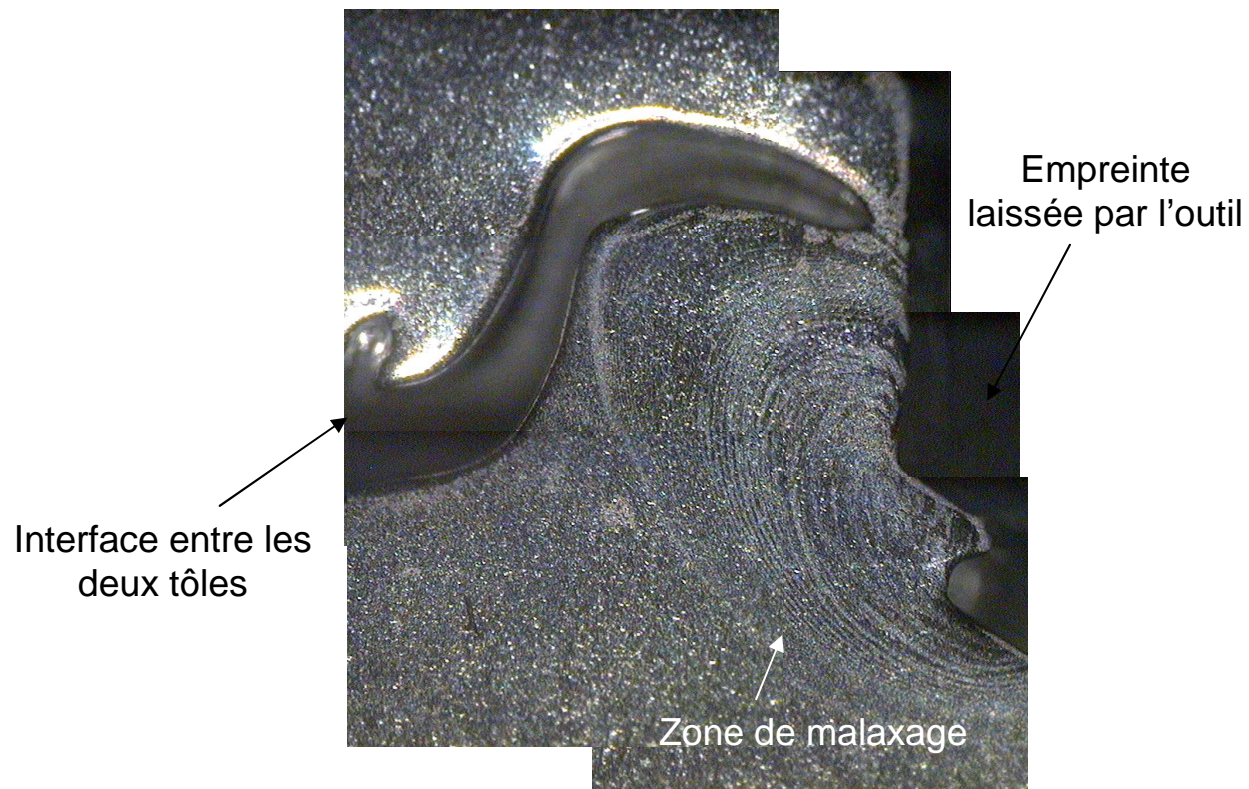


Mauvaise tenue mécanique en traction-cisaillement

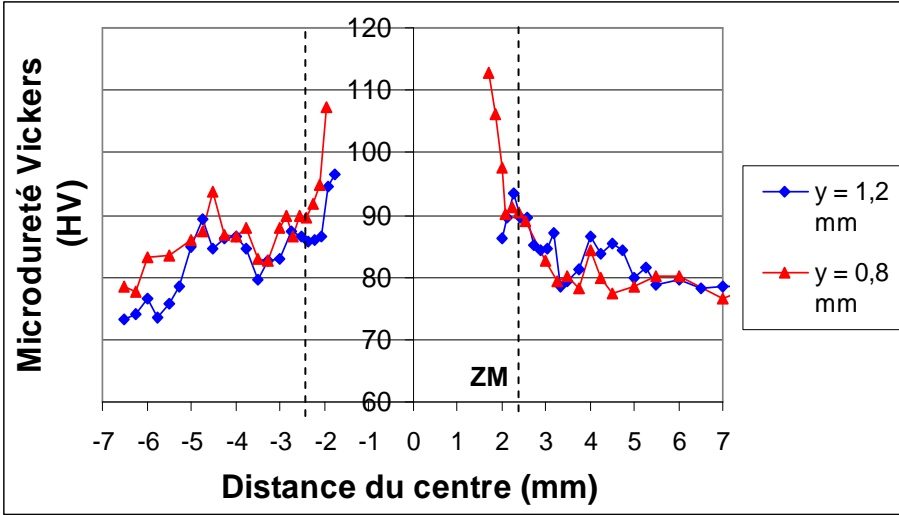
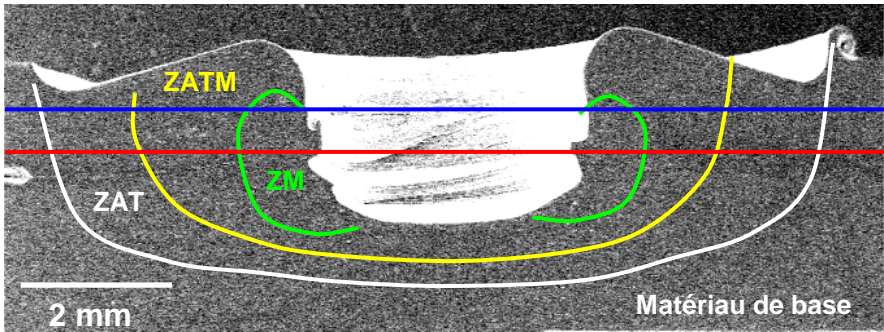
L'assemblage de l'aluminium

Mécanisme de rupture

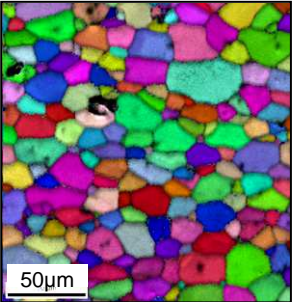
- Essai de traction-cisaillement interrompu à 80% de la force à la rupture :
 - Propagation de la fissure (interface)
 - Contournement de la zone de malaxage



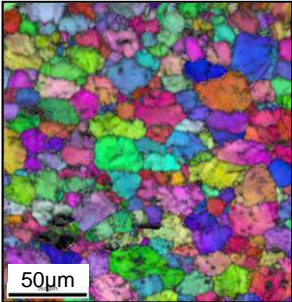
L'assemblage de l'aluminium



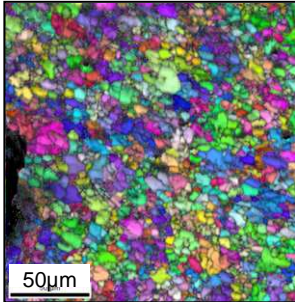
Cartographies EBSD/MEB W, pas de 0,5 à 1 μ m



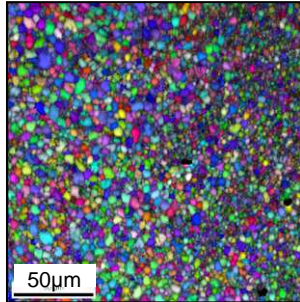
Matériau de base (30 μ m)



Zone Affectée Thermiquement (25-30 μ m)

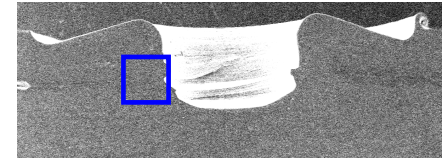


Zone Affectée Thermo-Mécaniquement (10-15 μ m)



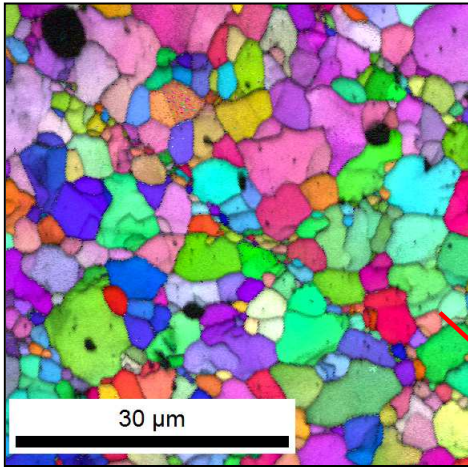
Zone de Malaxage (~ 5 μ m)

Zone de malaxage



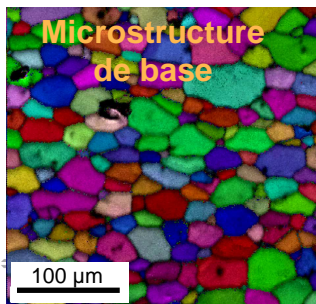
Grains allongés
de 8 - 10 μm

Présence de
« stries »

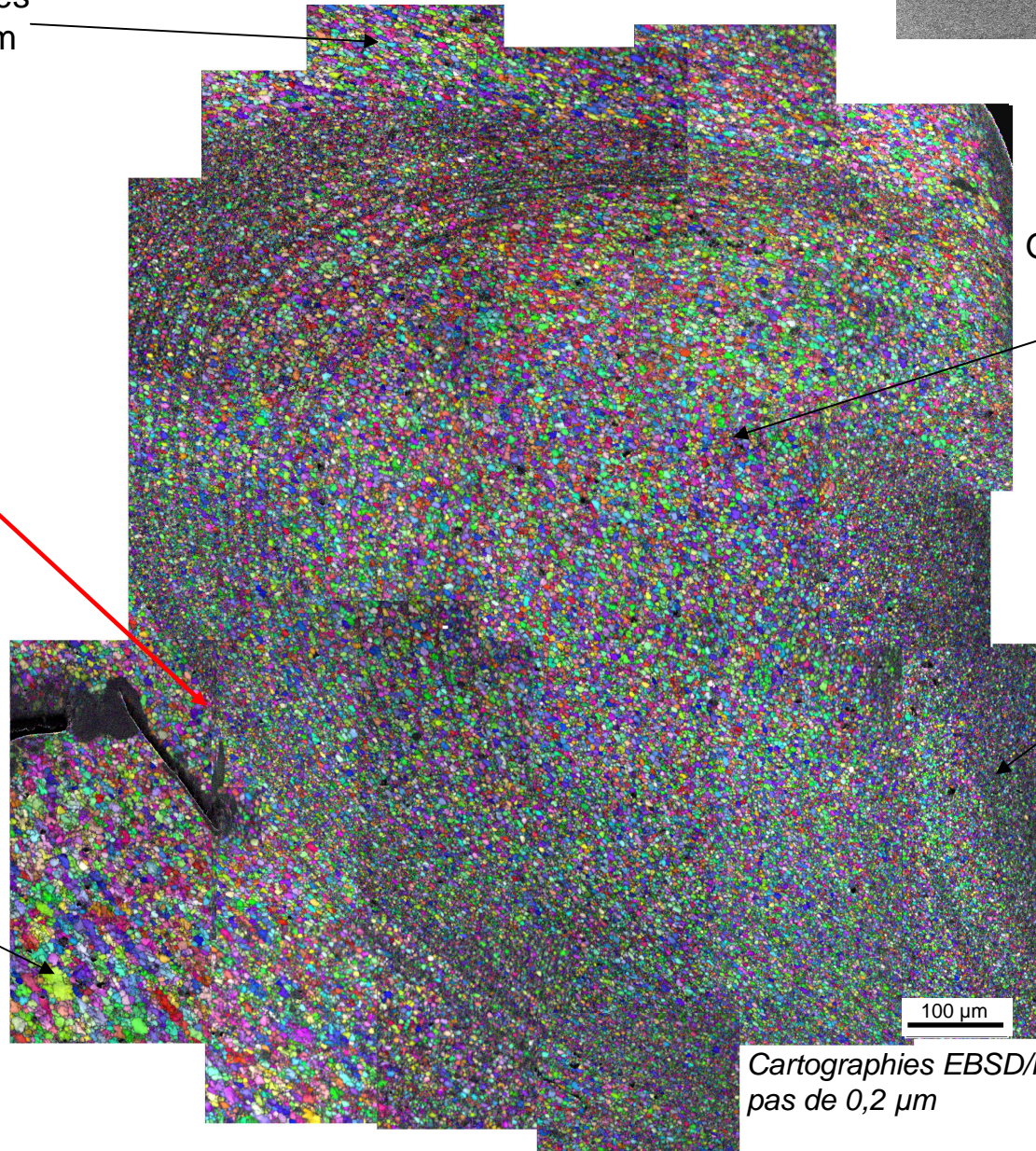


Cartographie EBSD/FEG,
pas de 0,1 μm

Grains allongés
de 12 - 15 μm



Microstructure
de base

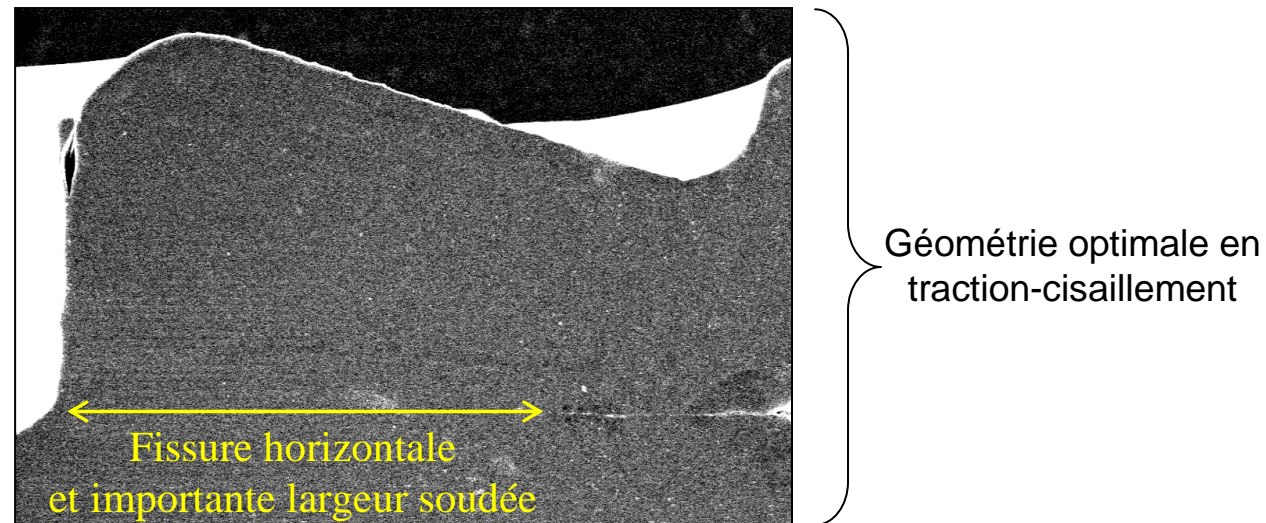


Grains équiaxes
de 6 - 7 μm

Grains
équiaxes de
4 - 5 μm

Cartographies EBSD/MEB W,
pas de 0,2 μm

- **Pour optimiser la tenue mécanique des points de soudure :**
 - Optimiser les paramètres pour obtenir une interface la plus plane possible (forte pression de l'épaulement)
 - Obtenir une zone de malaxage la plus grande possible afin de retarder la propagation des fissures (Vitesse de rotation élevée)



- **La microstructure de la zone de malaxage détermine le chemin de propagation de la fissure**

L'assemblage entre l'aluminium et l'acier

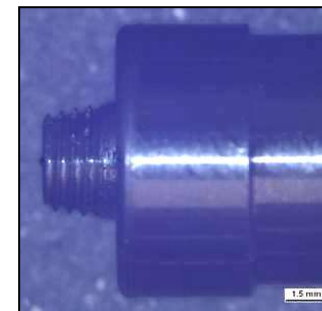
Matériaux

- **2 tôles assemblées par transparence :**
 - Tôle supérieure : Alliage Aluminium Magnésium Silicium 6016 (1,2 mm)
 - Tôle inférieure : Acier XE280P galvanisé (2,0 mm)

AA6016	Mg	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Cr	Ti	Al
% pds	0,25-0,6	<0,2	<0,5	1,0 - 1,5	< 0,2	< 0,2	≤0,1	≤ 1,15	reste

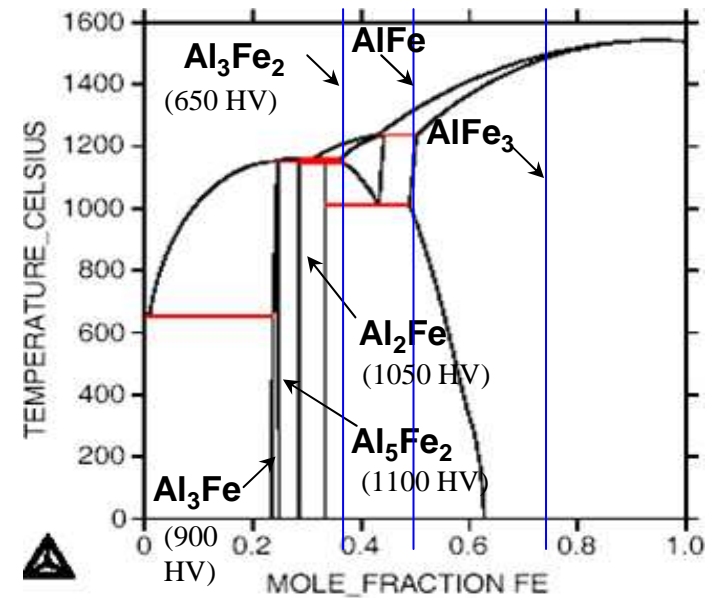
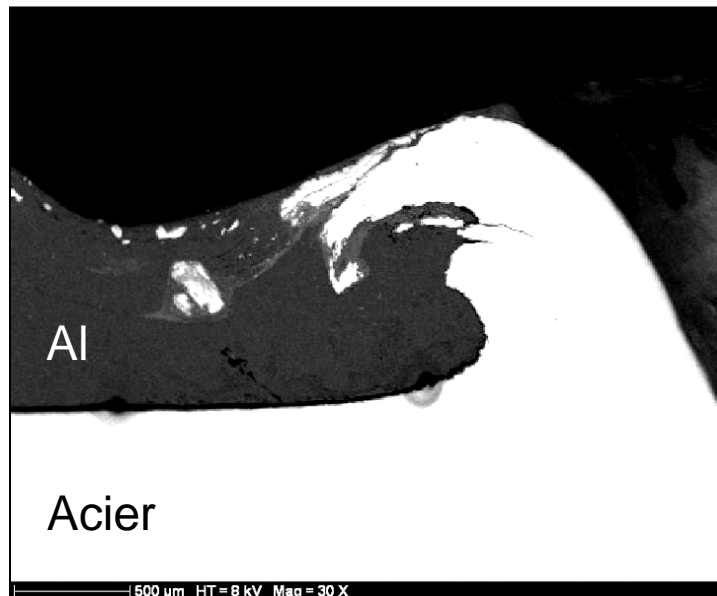
XE280P	C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	Ti	V	Fe
% pds	≤0,08	≤1,3	≤0,25	0,095	0,025	≤0,08	≤0,04	≤0,1	≤0,01	reste

- **Outil de soudage :**
 - Tungstène Rhénium (WRe25)
 - Pion cylindrique ou tronconique fileté à gauche



L'assemblage entre aluminium et acier

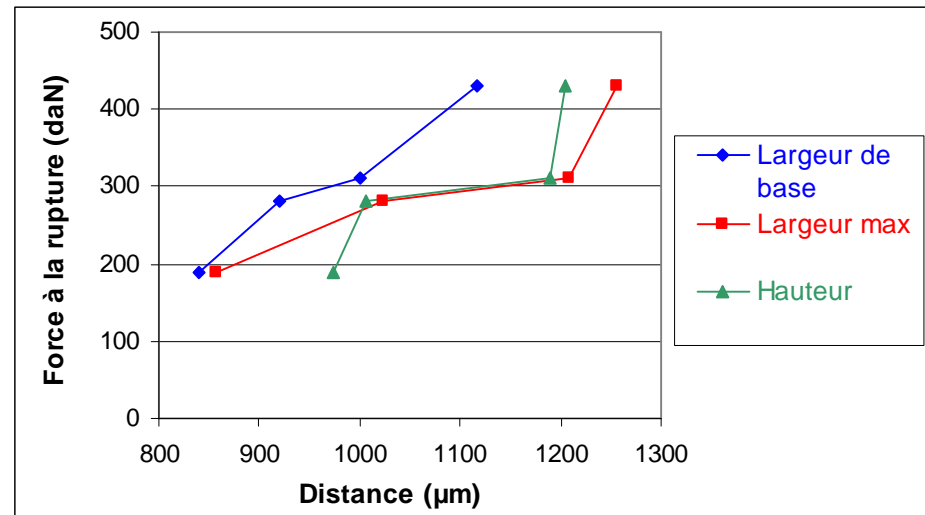
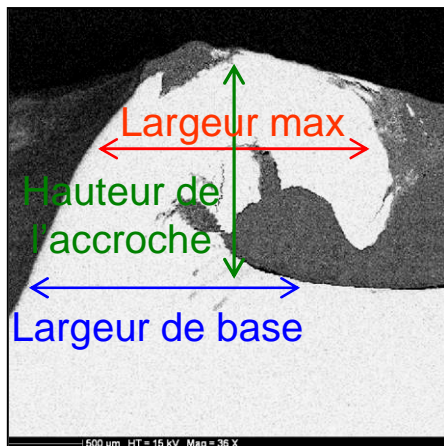
Aspect des soudures



- **Les paramètres de soudage influencent :**
 - La géométrie des accroches
 - La quantité d'intermétalliques
 - La nature des intermétalliques

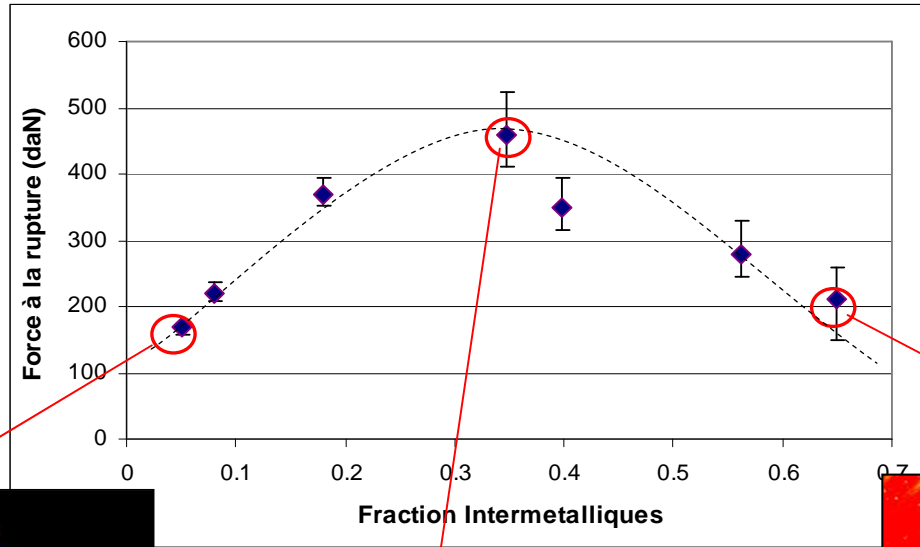
L'assemblage entre aluminium et acier

Influence de la géométrie des accroches sur la tenue mécanique:



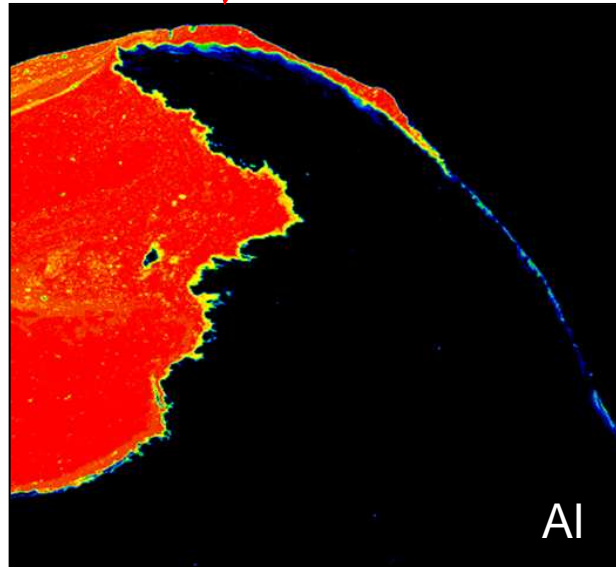
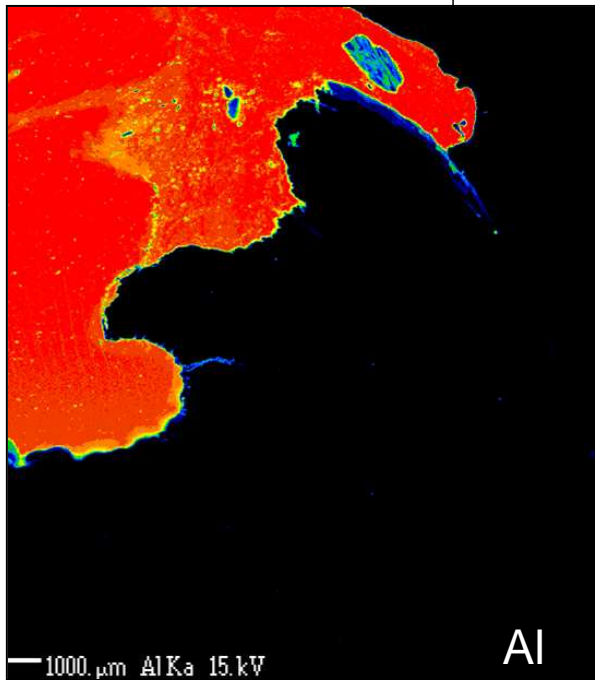
L'assemblage entre aluminium et acier

Quantité des intermétalliques :

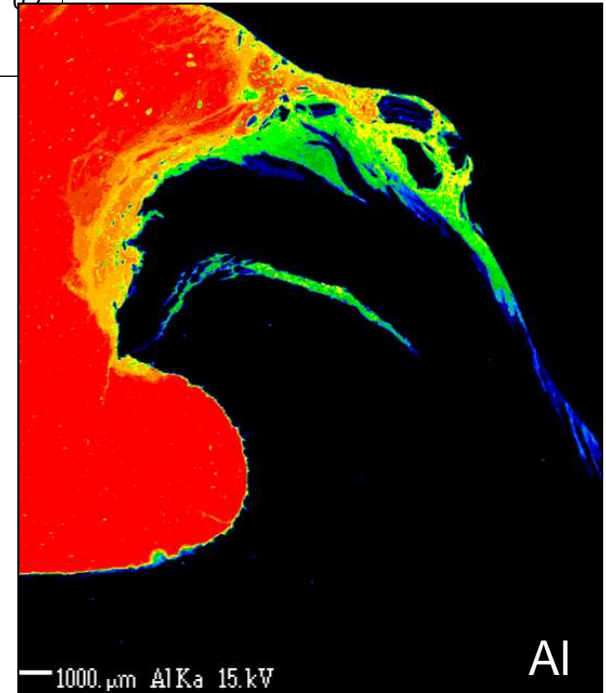


Nature des intermétalliques :

- Bleu : $AlFe_3$ (250-350 HV)
- Jaune : Al_3Fe (820-980 HV)
- Vert : Al_2Fe (1000-1050 HV)



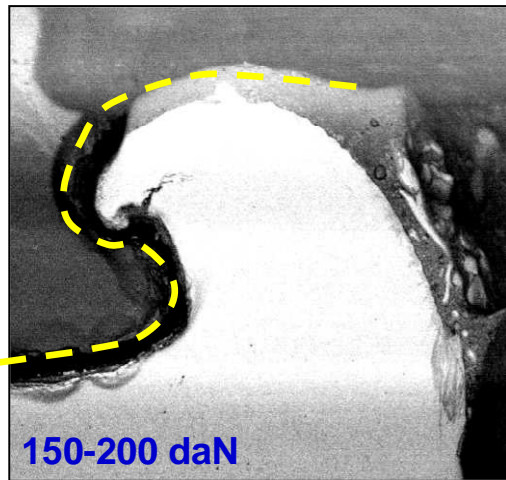
Microsonde, pas de 1 μm, E. Leroy (CNRS, Thiais)



Assemblage entre aluminium et acier

Mécanismes de rupture

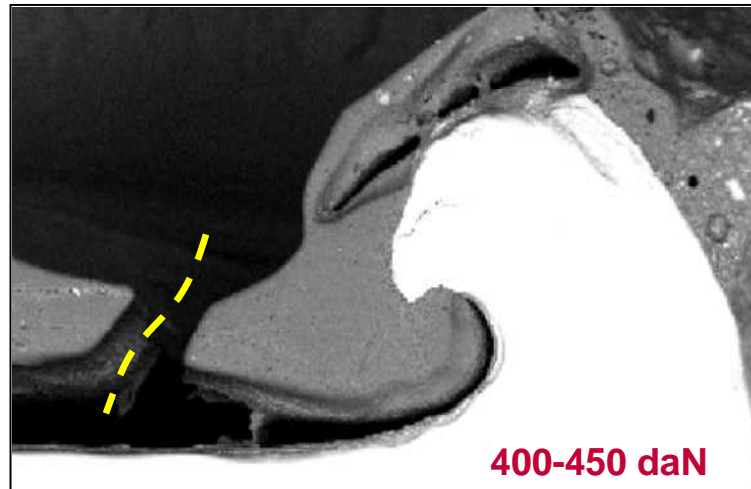
Décohésion entre accroche et aluminium



Origines :

- Fissure plane
- Trop peu d'intermétalliques (incompatibilité de déformation)

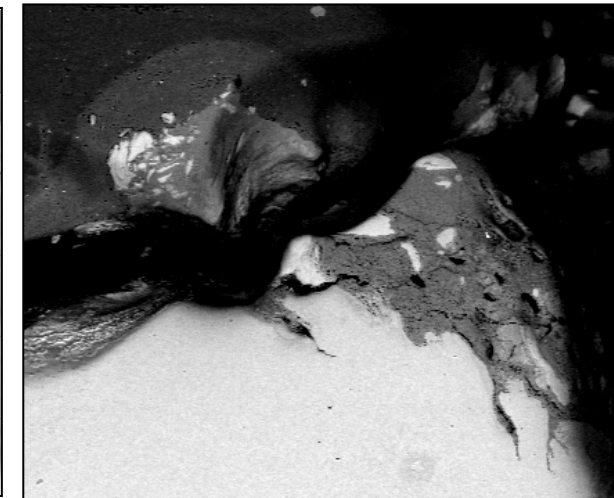
Déchirure de la tôle d'aluminium



Origines :

- Bonne géométrie d'accroche (fissure verticale)
- Fine épaisseur d'intermétalliques (bon gradient en composition chimique)

Fissuration dans les zones intermétalliques



Origines :

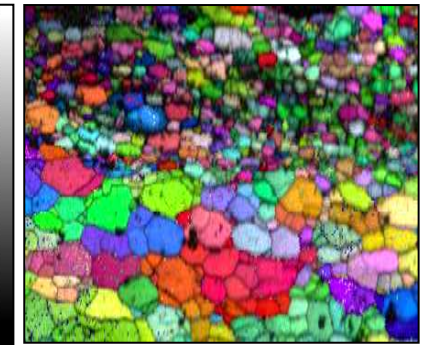
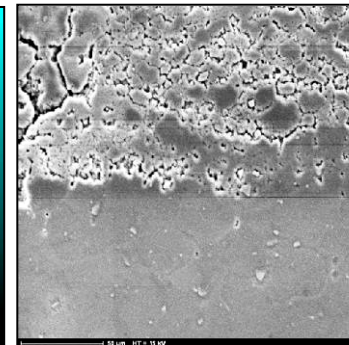
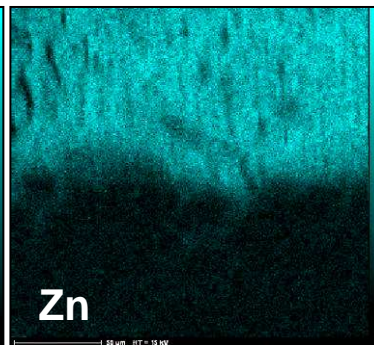
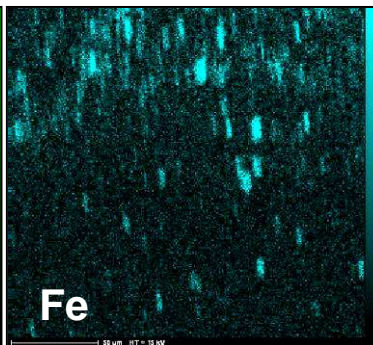
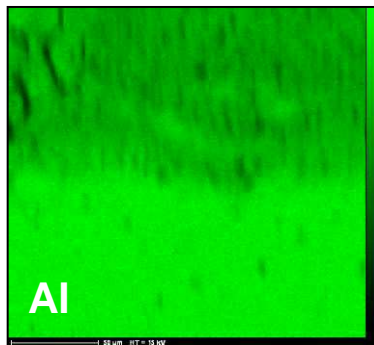
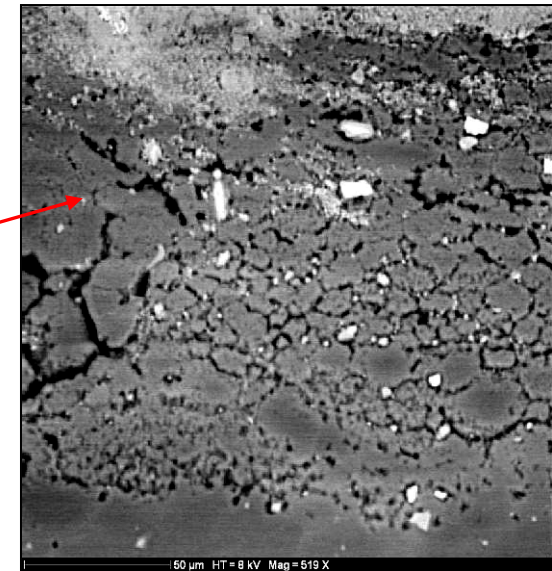
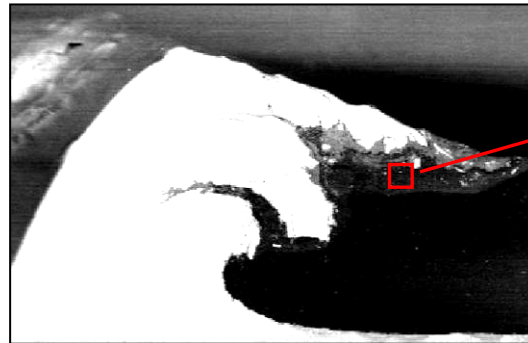
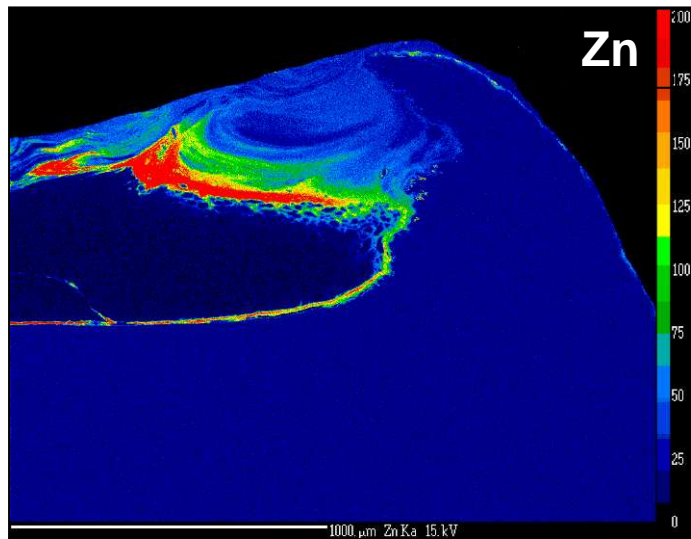
- Apparition de composés de microdureté plus élevée et donc fragiles

Conclusion

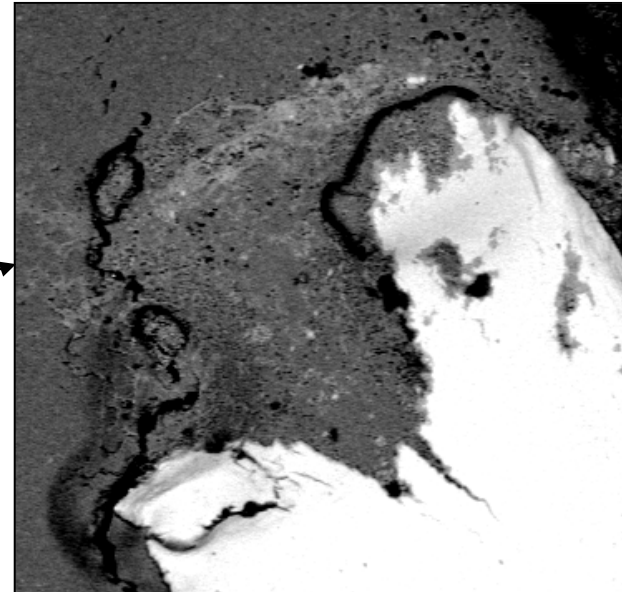
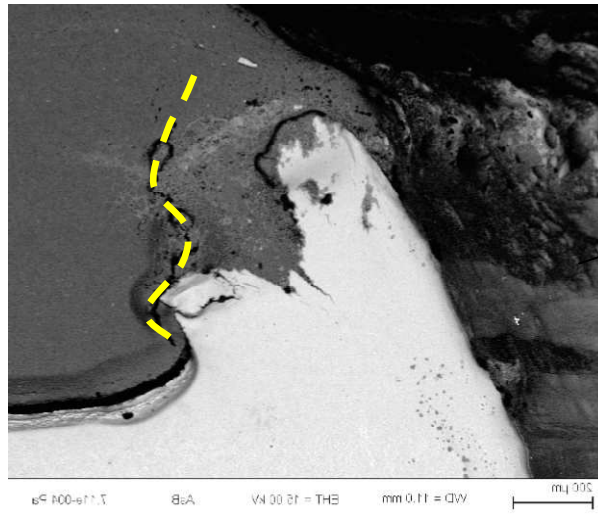
- **Le mécanisme de rupture dépend principalement de la quantité et de la nature des intermétalliques.**
- **Pour optimiser la tenue mécanique des points de soudure :**
 - Optimiser les paramètres pour obtenir une accroche de dimensions suffisantes
 - Trouver la quantité optimale d'intermétalliques et éviter le composé Al_2Fe

L'assemblage entre aluminium et acier

- Autre facteur fragilisant : Diffusion du zinc dans l'aluminium



L'assemblage entre aluminium et acier



Fissuration dans les zones
Al/Zn



Cause :
Zones présentant une décohésion
des grains \Rightarrow fissures