



Problématiques liées à la réalisation des assemblages hétérogènes

**11^{ème} Colloque Modélisation et Simulation du Soudage
28/03/2013**

Fabrice Scandella



Introduction

- Qu'est-ce qu'un assemblage hétérogène ?
- Pourquoi réalise t-on des assemblages hétérogènes ?
- Les difficultés liées à la réalisation d'assemblages hétérogènes

Problèmes liés aux propriétés des matériaux

Problèmes d'ordre métallurgique

Les procédés d'assemblage : rappels

- Procédés thermiques, mécaniques, chimiques, hybrides
- Avantages et limites des procédés d'assemblage

Les solutions technologiques actuelles

- Assemblage par fusion : cas généraux, cas des aciers plaqués
- Assemblage à l'état solide

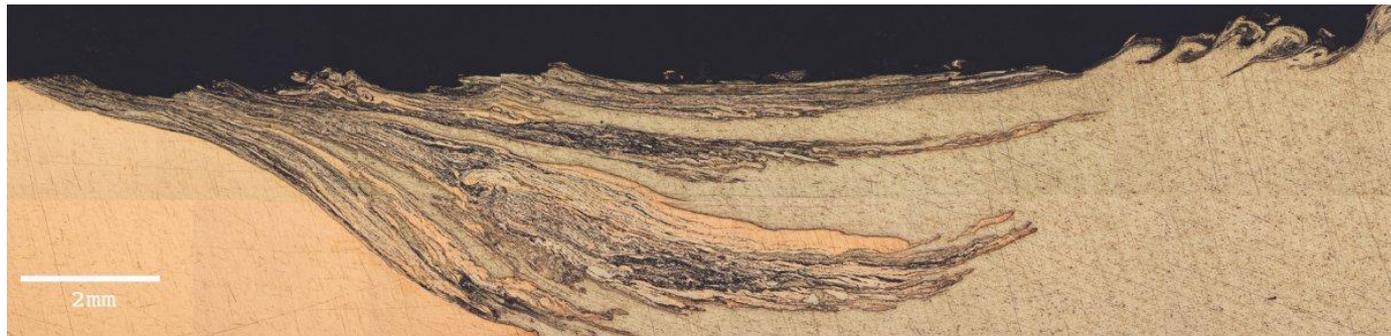


Qu'est-ce qu'un assemblage hétérogène ?

Un assemblage hétérogène est constitué de matériaux de composition chimique et/ou de propriétés (mécaniques, physiques, électriques, thermiques, etc.) différentes.

Réaliser un assemblage hétérogène consiste donc à assembler des matériaux présentant :

- Des résistances mécaniques différentes et/ou
- Des coefficients de dilatation différents et/ou
- Des températures de liquidus/solidus différentes et/ou
- Des coefficients de conductibilité thermique différents, etc.



Assemblage hétérogène cuivre/aluminium (soudure FSW). Document IS.



Qu'est-ce qu'un assemblage hétérogène ?

Dans le cas du **soudage**, on parle de **soudure hétérogène** dans les cas précités mais également lorsque les matériaux à assembler sont identiques si :

- *Le produit d'apport a une composition chimique et/ou des propriétés mécaniques différentes de celle des pièces à souder **et que***
- *le produit d'apport a une température de fusion voisine de celle des pièces à souder.*

De plus, le CODAP ajoute la notion **d'assemblage mixte** pour un assemblage de pièces de nuances différentes.

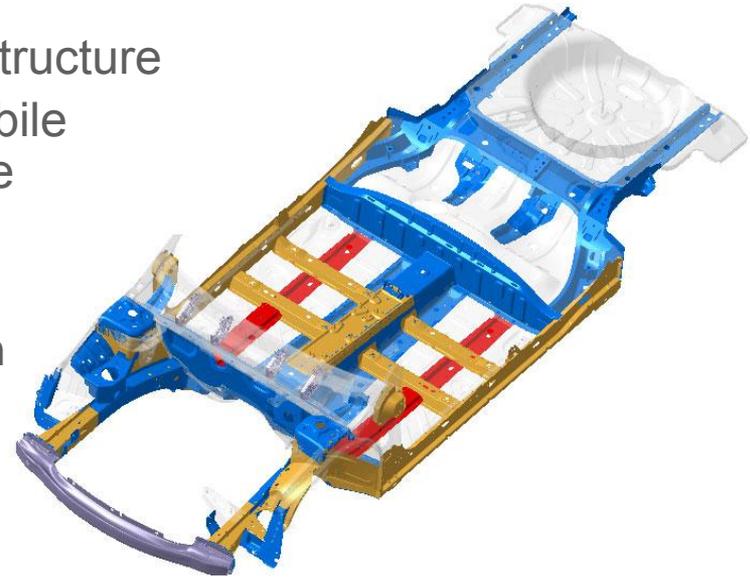
Au sens large du terme « hétérogène », on pourrait donc considérer que presque toutes les opérations de soudage avec produit d'apport conduisent à la réalisation d'un assemblage hétérogène.

En pratique, la notion d'assemblage hétérogène est généralement réservée au soudage de matériaux dissemblables (***welding of dissimilar materials en Anglais***).



Pourquoi réalise t-on des assemblages hétérogènes ?

- Réaliser des gains en termes de **masse** d'une structure
C'est notamment le cas dans le secteur automobile (intégration croissante d'alliages d'aluminium, de magnésium, de composites)
- Réduire le **coût** d'un sous-ensemble
- Optimisation **propriétés/coût** : pour avoir le bon matériau au bon endroit dans une structure.



Différents grades d'aciers ainsi que des parties en aluminium. Document Renault



Assemblage hétérogène Cu/al : tubes de compresseur, remplacement de 100% Cu par 2/3 Al + 1/3 Cu (soudure MPW).
Document Intecom/Bmax



Les difficultés liées à la réalisation d'assemblages hétérogènes

Dans le cas du **soudage par fusion** :

- Différence de **coefficient de dilatation**, générant des contraintes résiduelles additionnelles entre les pièces assemblées et pouvant générer de la fissuration
- Différence de **température de liquidus**, les matériaux pouvant avoir une plage de température solidus-liquidus commune très restreinte ou inexistante
- Problèmes d'ordre métallurgique : formation de **phases intermétalliques** fragiles, pouvant générer de la fissuration



Problèmes liés aux propriétés des matériaux

Différence de coefficient de dilatation

- Des contraintes résiduelles apparaissent dans et au voisinage de la zone fondue
- Les niveaux de contrainte augmentent avec l'épaisseur des pièces (autobridage)
- Des fissures peuvent apparaître en cours ou après soudage et en service
- Coefficients de dilatation linéaire, $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$:

Acier C-Mn : ~ 10

Acier inoxydable α : ~ 10

Base Ni : ~ 13

Acier inoxydable γ : ~ 16



Rupture d'un assemblage entre un acier ferritique et austénitique, côté acier ferritique. Document David N. French Metallurgists



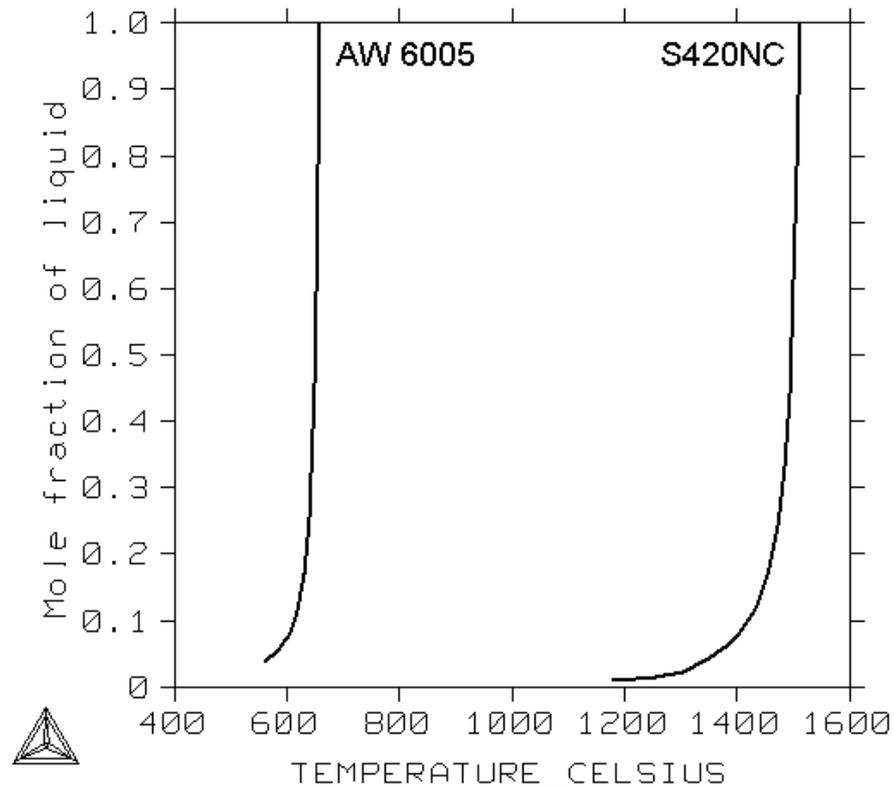
Problèmes liés aux propriétés des matériaux

Différence de température de liquidus

Un cas typique est l'assemblage d'un acier avec un alliage d'aluminium, qui ne présente pas de plage de solidification commune :

- Avec un produit d'apport base Fe, on dégrade la pièce en alliage d'aluminium
- Avec un produit d'apport base Al, il est impossible de fusionner la pièce en acier
- Sans produit d'apport, on forme des phases intermétalliques en zone fondue.

Simulations de Scheil-Gulliver représentant la solidification d'un alliage AW 6005 (Al-0,55 Mg-0,75 Si-0,4 Cr-0,3 Fe) et S420NC (0,18 C-0,4 Si-1,5 Mn-0,05 Nb-0,1 Ti-0,01 Al, wt%).

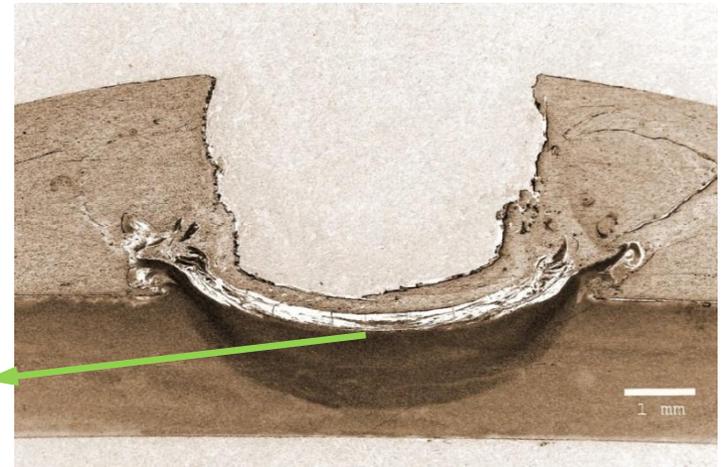




Problèmes d'ordre métallurgique

Formation de phases intermétalliques fragiles

Des phases intermétalliques sont aisément obtenues en soudage par fusion dès lors qu'il y a incompatibilité métallurgique. Mais même les procédés de soudage à l'état solide sont susceptibles de produire des phases fragiles dans la zone de liaison.

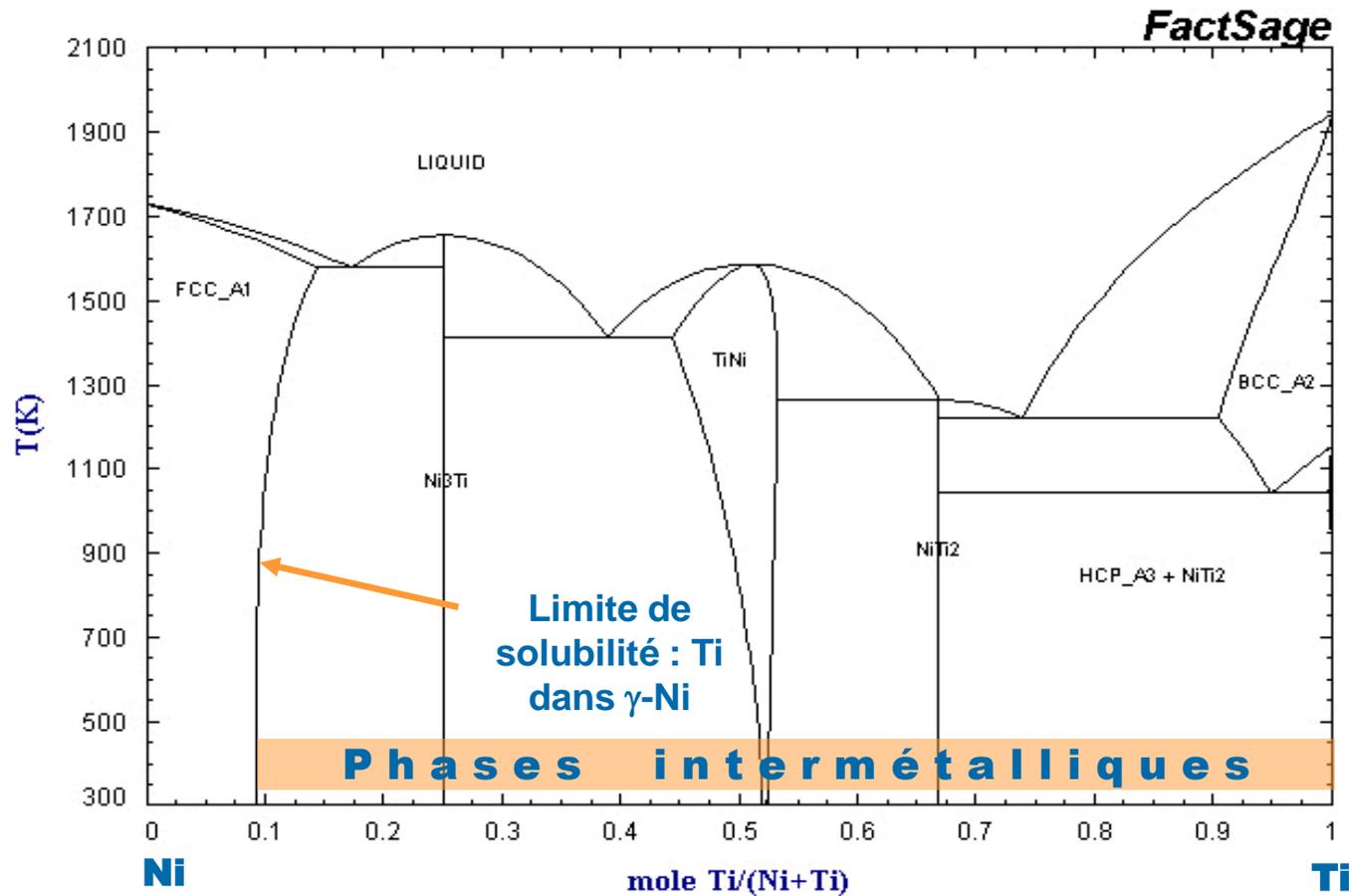


Assemblage hétérogène aluminium sur acier (soudage FSW par point) : alliage d'aluminium 6008 : 40 HV ; acier : 220 HV ; bande d'intermétalliques (FeAl , Fe_2Al , Fe_2Al_7) : 520 HV.
Document IS.



Problèmes d'ordre métallurgique

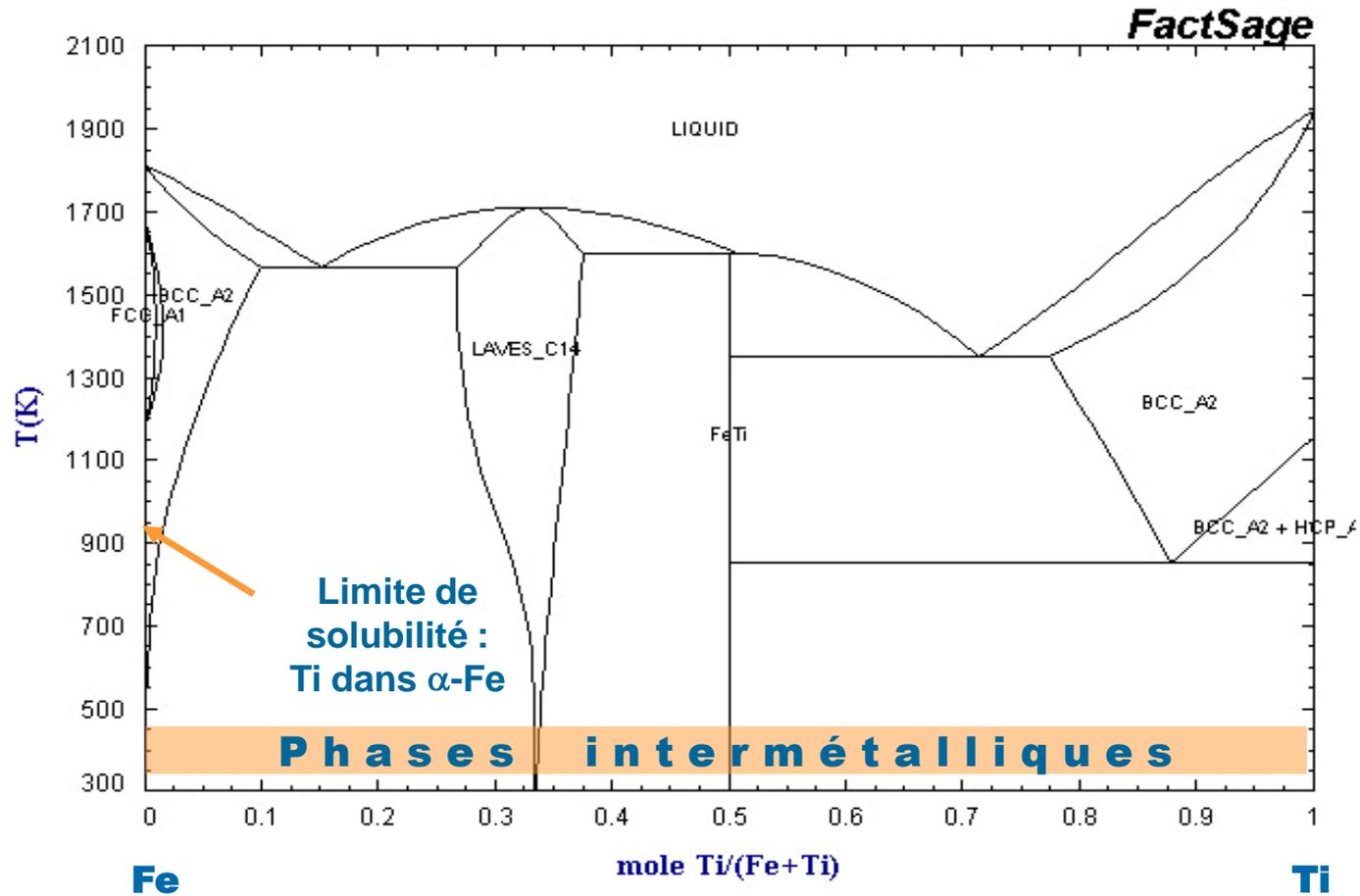
Cas d'un assemblage Ni-Ti





Problèmes d'ordre métallurgique

Cas d'un assemblage Fe-Ti





Les procédés d'assemblage : rappels

Procédés thermiques

Soudage par fusion :

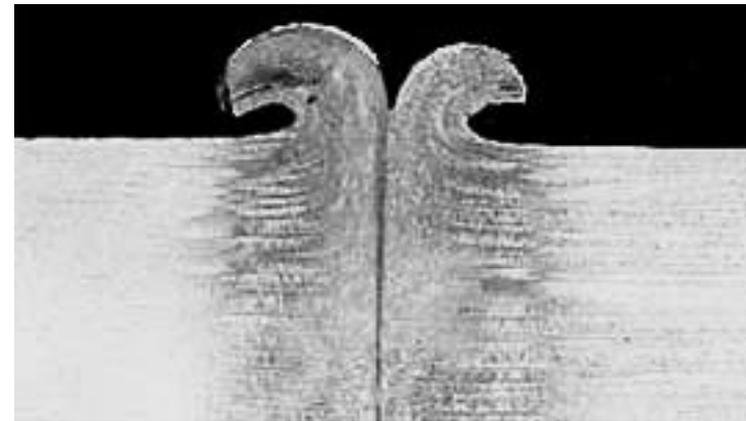
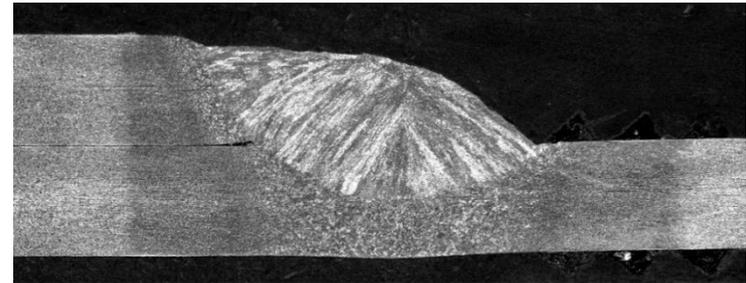
Assemblage de pièces avec ou sans produit d'apport avec fusion partielle des pièces à assembler et reconstitution d'un réseau cristallin commun.

Soudage à l'état solide :

Assemblage de pièces sans produit d'apport et sans fusion des pièces

Soudo-brasage :

Opération de brasage dans laquelle l'assemblage est obtenu de proche en proche, par une technique analogue à celle du soudage par fusion, avec un produit d'apport dont le liquidus est supérieur à 450 °C.



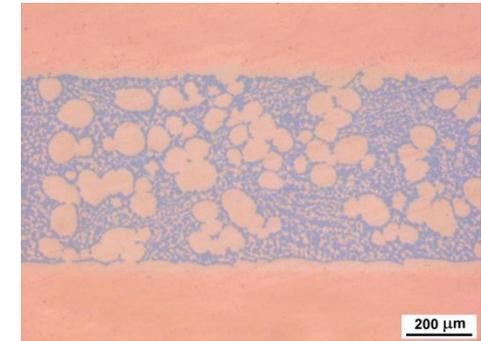


Les procédés d'assemblage : rappels

Procédés thermiques

Brasage :

Assemblage de pièce à l'aide d'un produit d'apport à l'état liquide, ayant une température de fusion inférieure à celle des pièces à assembler et mouillant le métal de base qui ne participe pas par fusion à la constitution du joint.



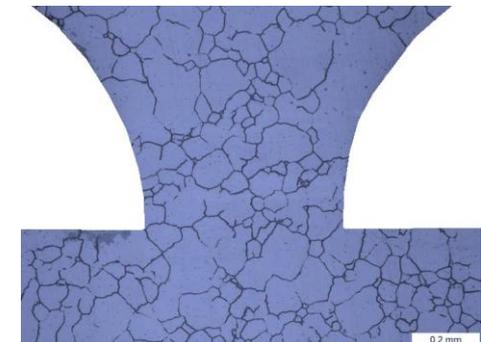
Brasage-diffusion :

Opération de brasage avec diffusion (parfois partielle) du produit d'apport dans les pièces à assembler.



Soudage-diffusion :

Assemblage de pièces à hautes températures et sous pression, sans produit d'apport, par diffusion au travers de l'interface entre les pièces.





Les procédés d'assemblage : rappels

Procédés mécaniques

- Vissage, boulonnage, rivetage, clinchage, sertissage

Procédés chimiques

- Collage

Procédés hybrides

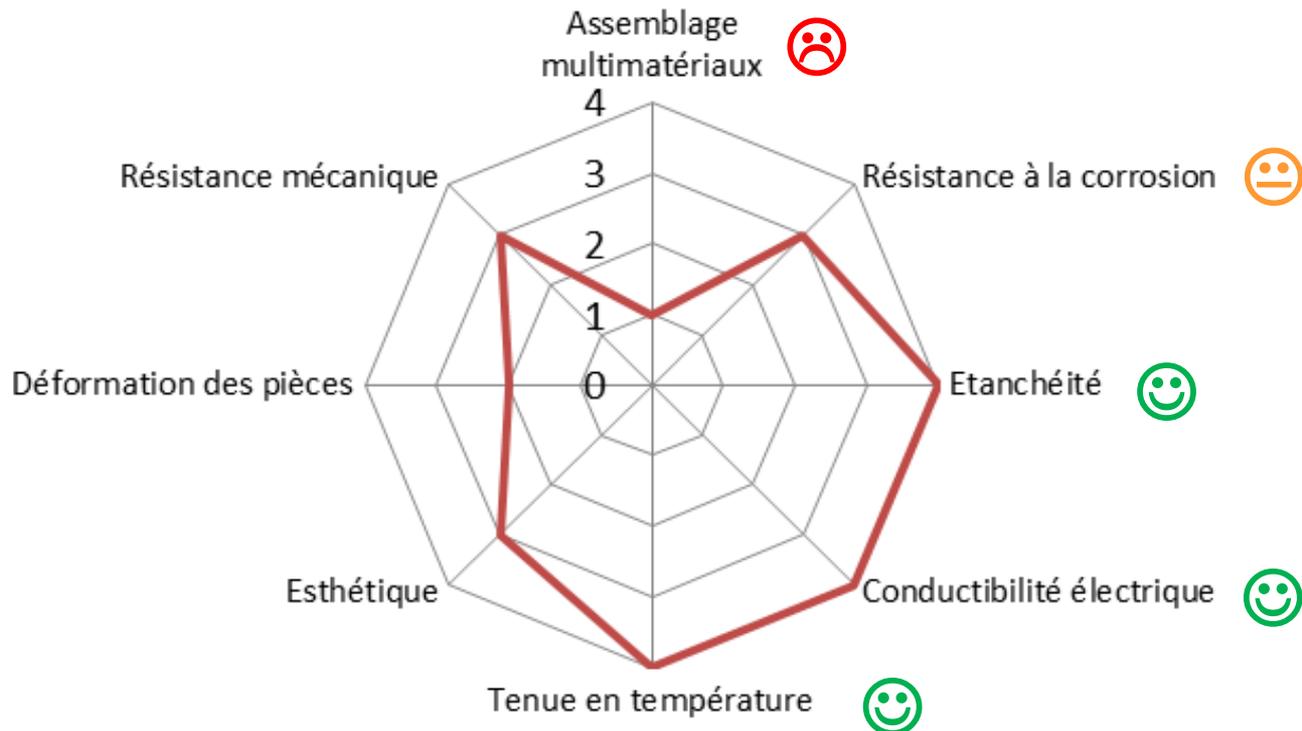
- Combinaison collage/assemblage mécanique





Avantages et limites des procédés d'assemblage

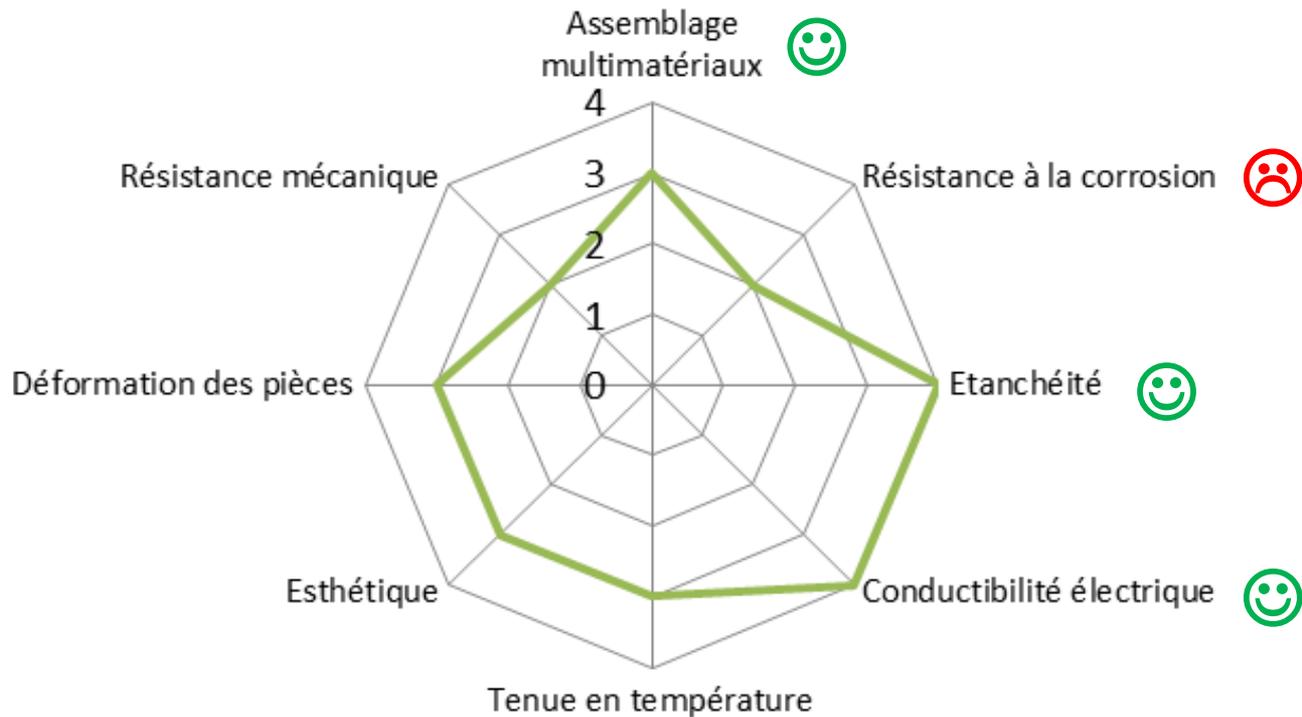
Soudage par fusion





Avantages et limites des procédés d'assemblage

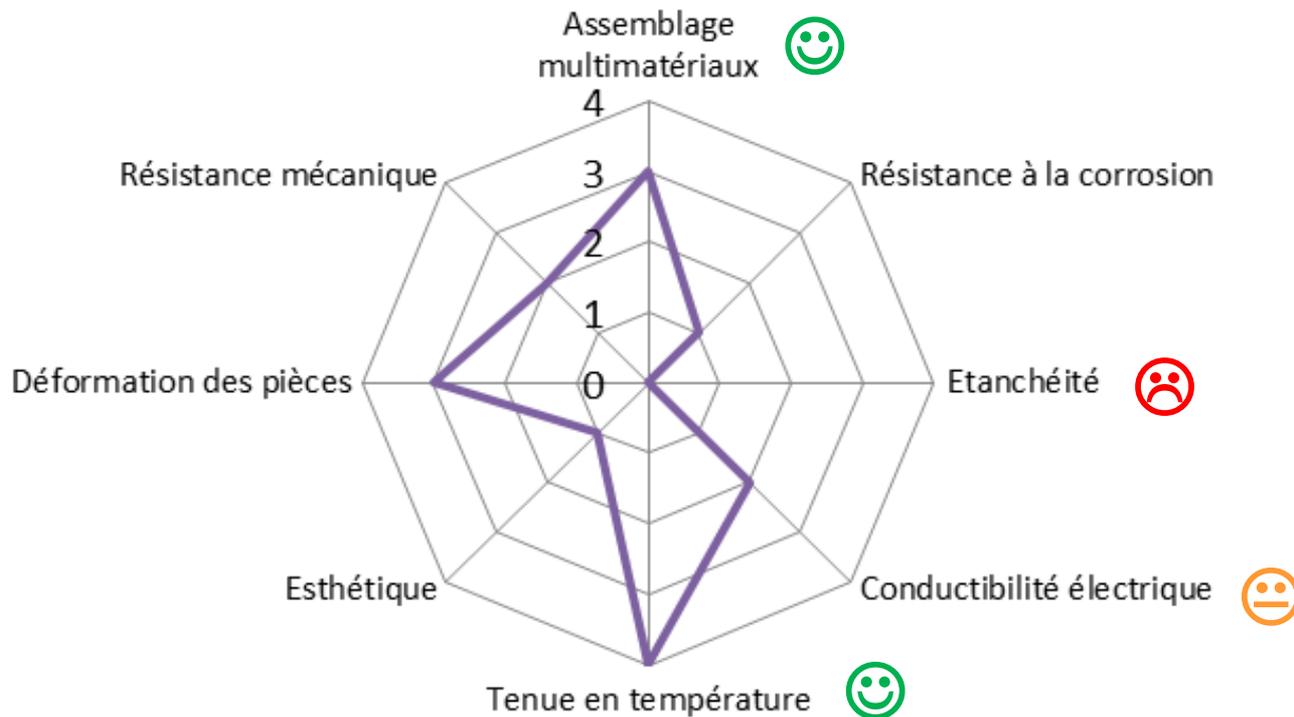
Brasage et soudo-brasage





Avantages et limites des procédés d'assemblage

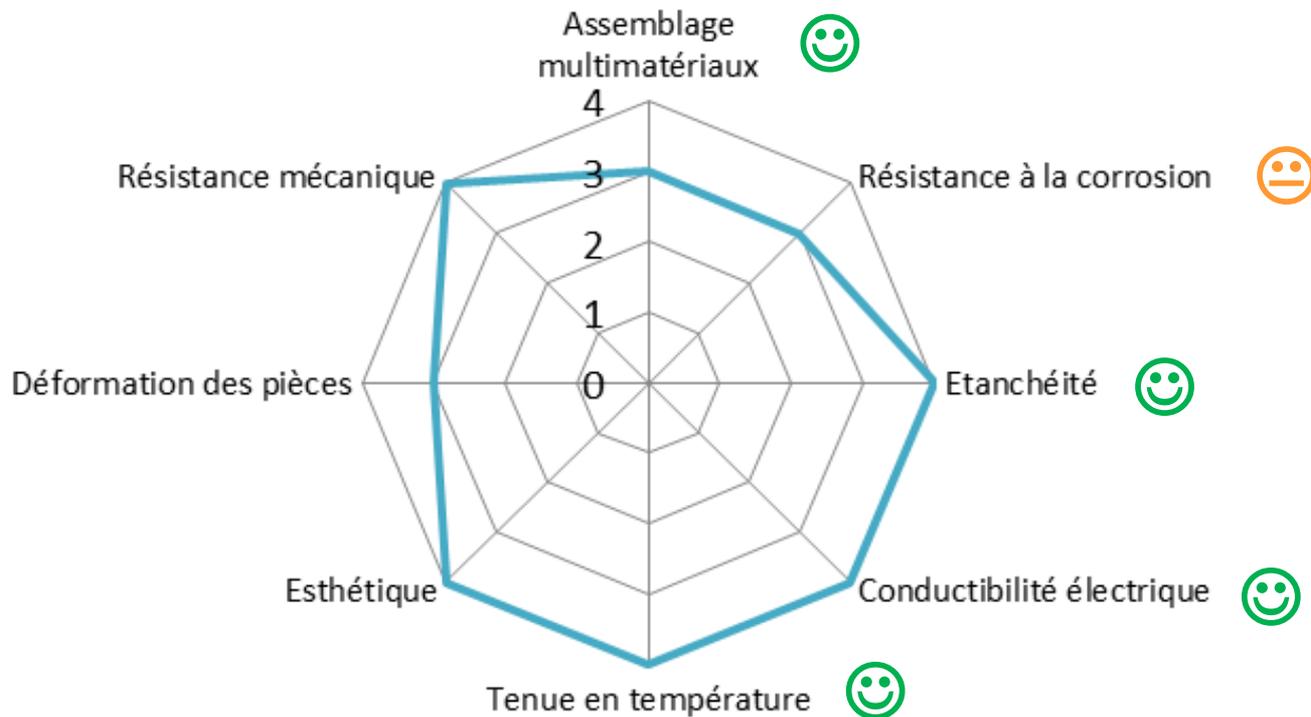
Assemblage mécanique





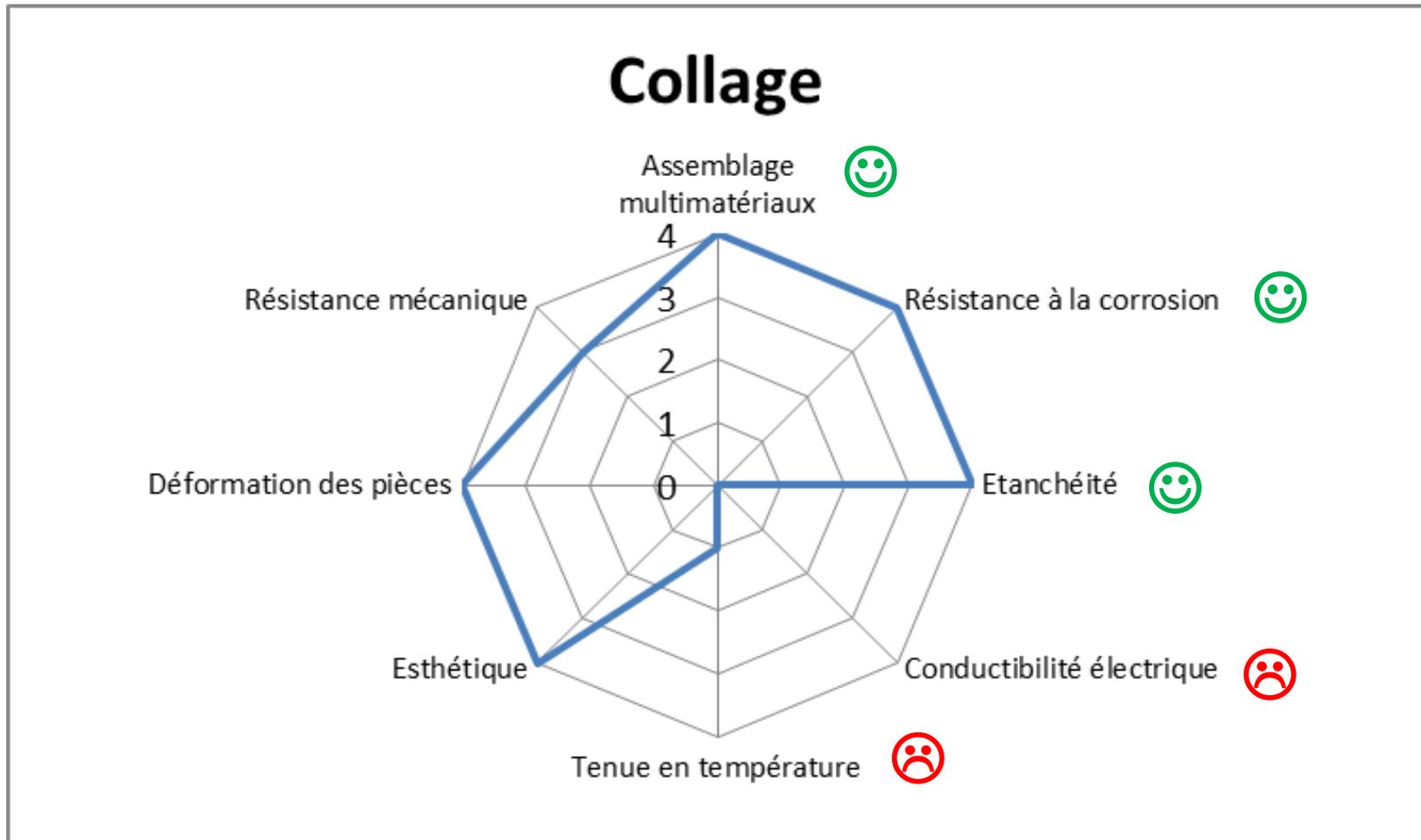
Avantages et limites des procédés d'assemblage

Soudage à l'état solide





Avantages et limites des procédés d'assemblage



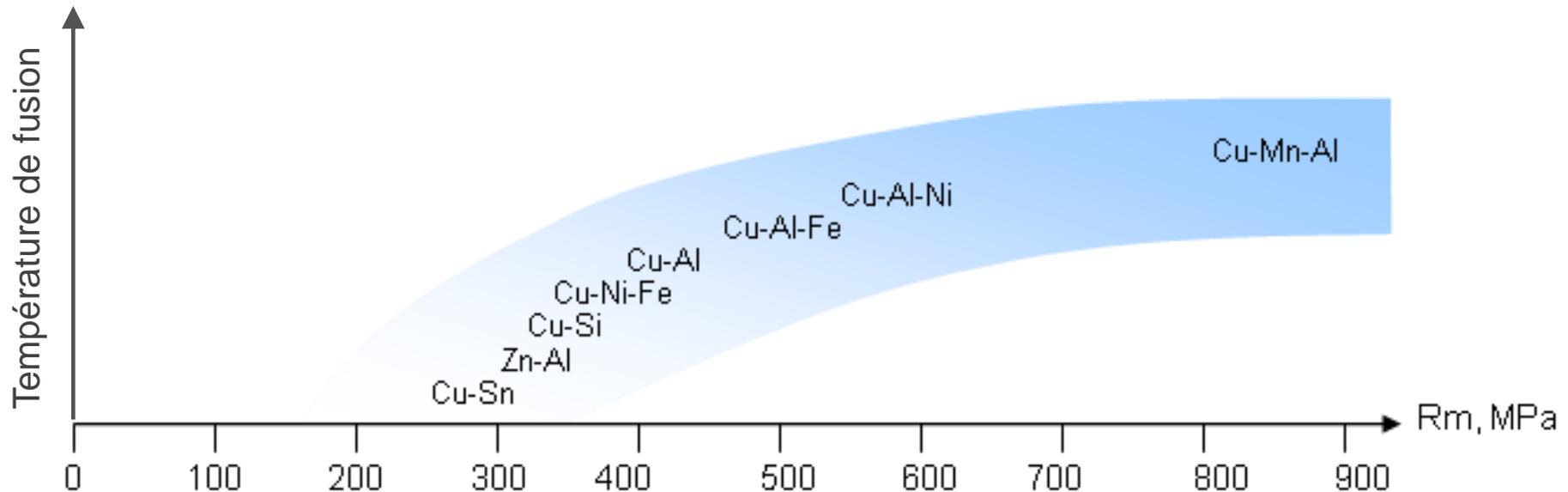


Les solutions technologiques actuelles

Assemblage par fusion : cas général

Le **brasage** et le **soudo-brasage** sont des solutions à privilégier :

- Toutes technologies de brasage (four sous vide, induction, chalumeau, etc.)
- Soudobrasage MIG et laser



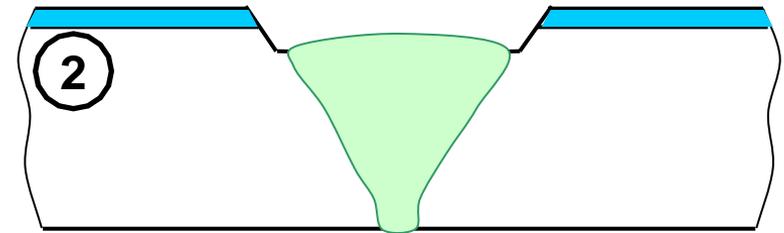
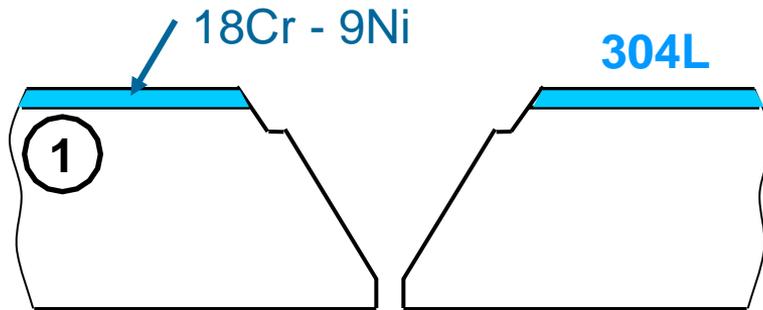
- Dans le cas de pièces d'épaisseur > 5 mm, la réalisation d'un beurrage est une bonne solution.



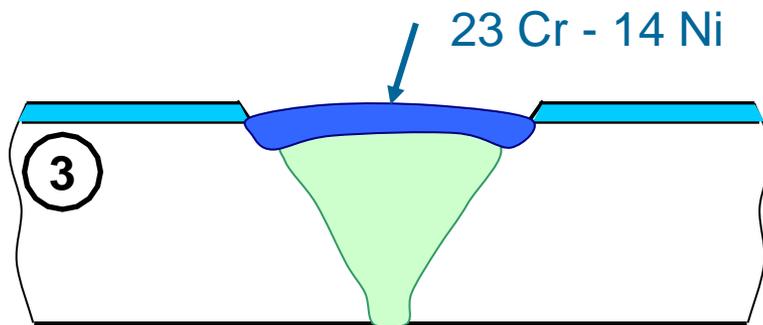
Les solutions technologiques actuelles

Assemblage par fusion : cas des aciers plaqués

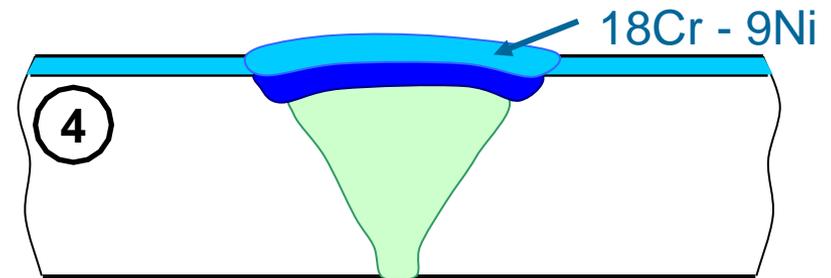
Exemple n°1 : avec compatibilité métallurgique



Soudage homogène avec le S355
(par exemple : apport G3Si1)



Soudage hétérogène avec un produit plus allié que le 304L (par ex. : apport 309L)



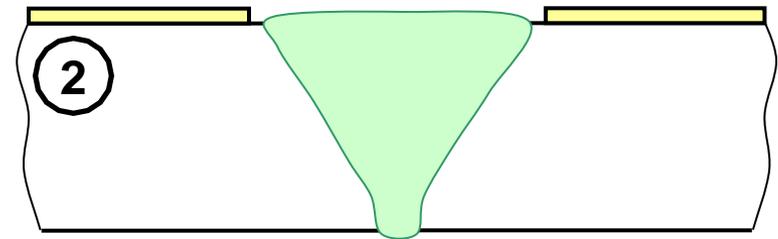
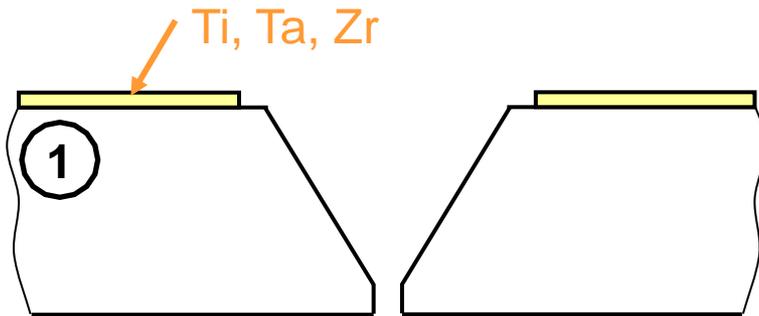
Soudage homogène (apport 308L)



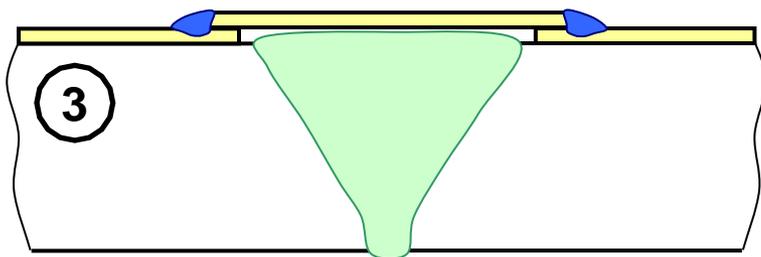
Les solutions technologiques actuelles

Assemblage par fusion : cas des aciers plaqués

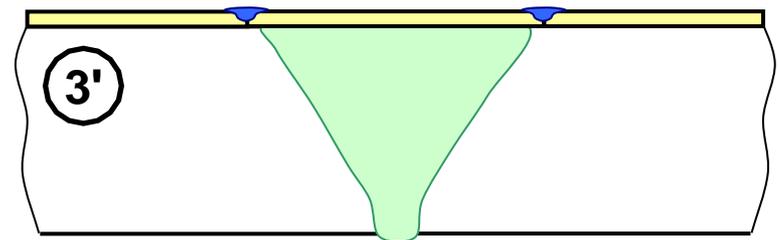
Exemple n°2 : avec incompatibilité métallurgique



*Soudage homogène avec le S355
(par exemple : apport G3Si1)*



*Réalisation d'un doublage sans usinage
Soudage homogène (T40)*



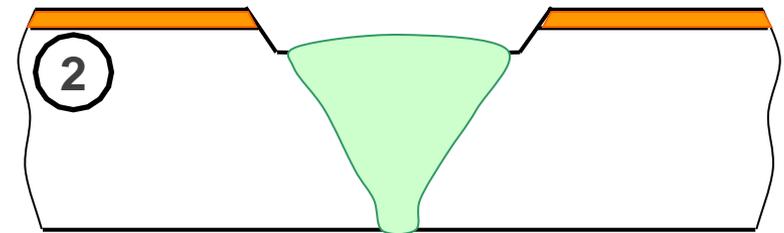
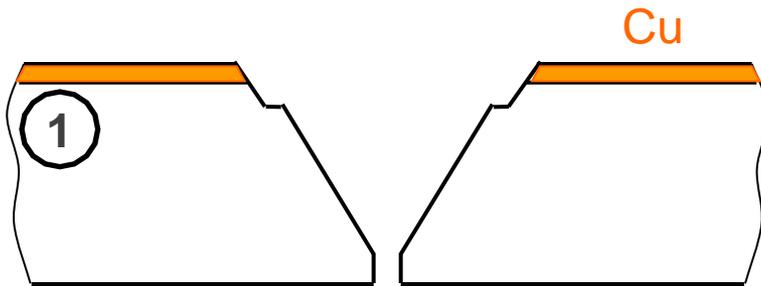
*Réalisation d'un doublage avec usinage
Soudage homogène (T40)*



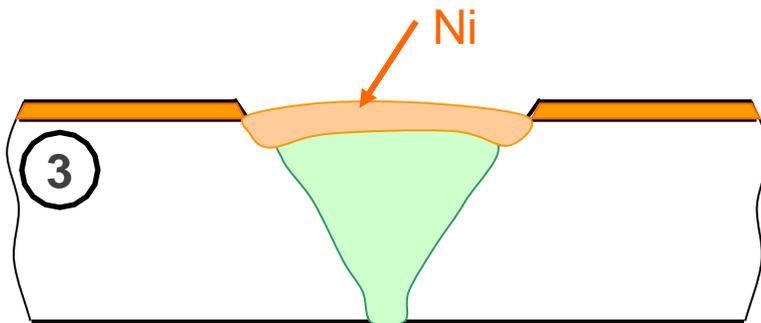
Les solutions technologiques actuelles

Assemblage par fusion : cas des aciers plaqués

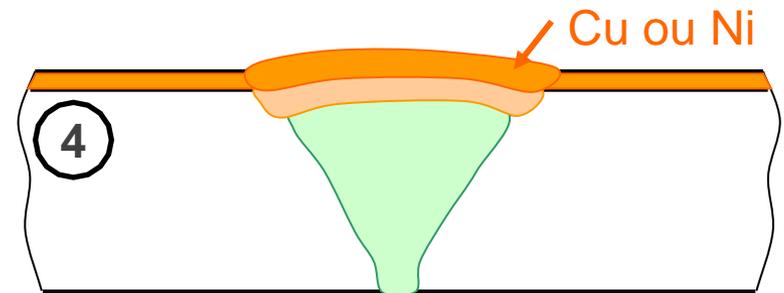
Exemple n°3 : avec compatibilité métallurgique "partielle"



*Soudage homogène avec le S355
(par exemple : apport G3Si1)*



*Soudage hétérogène avec un produit
base nickel (par ex. : apport Inconel 600)*



*Finition avec une base Cu, Ni
ou Ni-Cu (Monel)*



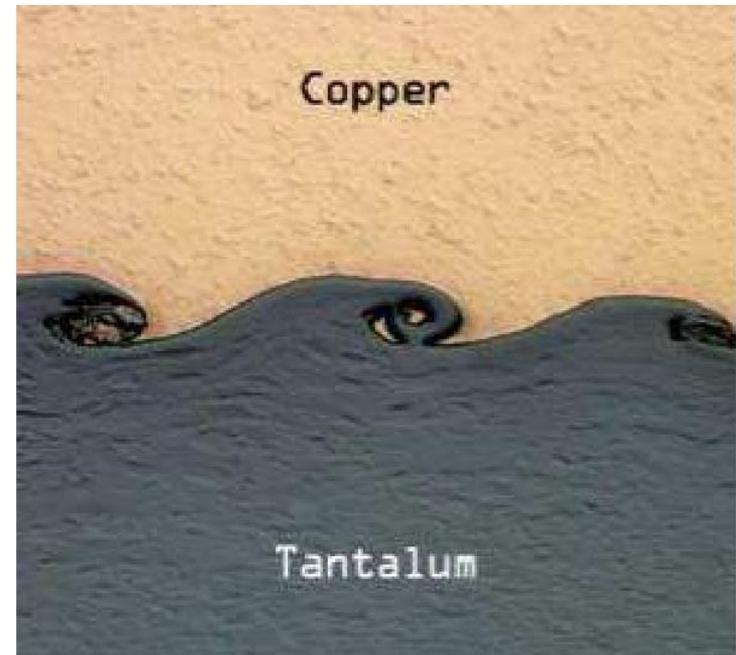
Les solutions technologiques actuelles

Assemblage à l'état solide

Plusieurs procédés de soudage à l'état solide sont disponibles :

- Soudage par **explosion**
- Soudage par **friction** (rotative, linéaire)
- Soudage par **ultrasons**
- **Soudage-diffusion**

Ces procédés sont bien adaptés à la réalisation d'assemblages hétérogènes, mais présentent des limites en termes de dimensions ou de morphologies de pièces

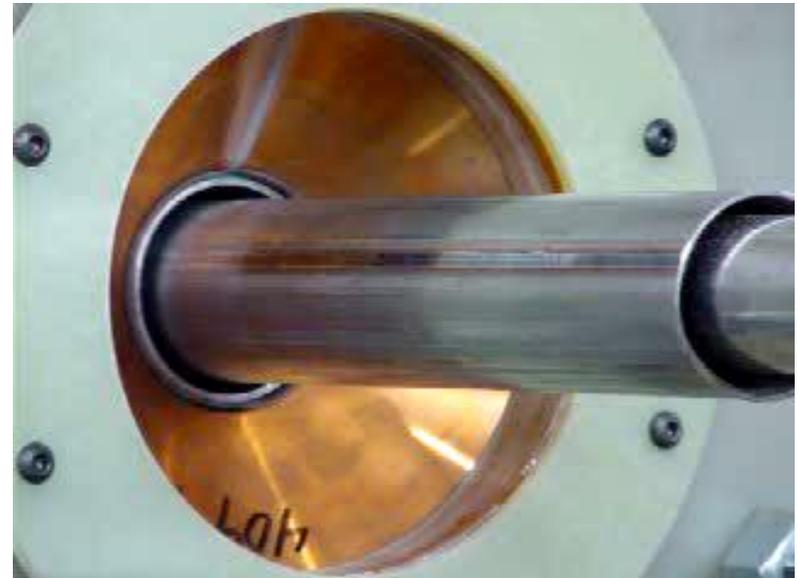




Les solutions technologiques actuelles

Assemblage à l'état solide

Le procédé de soudage par **impulsion magnétique** intéresse de plus en plus l'industrie (notamment les sous-traitants automobiles), car il permet de réaliser des assemblages hétérogènes avec une qualité proche de celle des soudures par explosion.





Merci de votre attention

Avez vous des questions ?

Fabrice Scandella

Institut de Soudure

4 boulevard Henri Becquerel
57970 Yutz

Tél : 03 82 59 86 47

e-mail : f.scandella@institutdesoudure.com