



Fabrication additive métallique arc-fil : technologies et opportunités

Journée SNS - CFV
Palaiseau, 26/06/2018
Fabrice SCANDELLA



CE QUI NOUS LIE
NOUS REND PLUS FORTS



- 1. Introduction : la FA arc-fil**
 - Les différentes technologies
 - Avantages et limites
 - Positionnement de la FA arc-fil
- 2. Verrous technologiques**
- 3. Derniers développements**
 - Outil de conversion CAO/programme robot
 - Consommables spécifiques
 - Machines « hybrides »
- 4. Quelques projets en cours**
 - Chez Cranfield University
 - Chez MX3D
 - Au RAMLAB
 - A l'Institut de Soudure
 - A l'ECN
- 5. Marché potentiel / vision à moyen terme**
- 6. Conclusions**



- 1. Introduction : la FA arc-fil**
 - Les différentes technologies
 - Avantages et limites
 - Positionnement de la FA arc-fil
2. Verrous technologiques
3. Derniers développements
 - Outil de conversion CAO/programme robot
 - Consommables spécifiques
 - Machines « hybrides »
4. Quelques projets en cours
 - Chez Cranfield University
 - Chez MX3D
 - Au RAMLAB
 - A l'Institut de Soudure
 - A l'ECN
5. Marché potentiel / vision à moyen terme
6. Conclusions



1. Introduction : la FA arc-fil

Les différentes technologies

- Tous les procédés de soudage ou de rechargement peuvent potentiellement être utilisés en FA arc-fil à condition :
 - D'être automatisés ou robotisés
 - De déposer de la matière en 3D (ou au moins en 2,5D)
- Les **robots polyarticulés** :
 - Sont répandus et peu onéreux
 - Ont une vraie capacité 3D
 - Offrent de grands volumes de travail... mais une machine cartésienne est aussi une option.
- On peut y associer :
 - Le procédé **MIG-MAG**, en particulier les variantes à énergie contrôlée
 - Le procédé **plasma**, surtout pour les pièces en titane
 - Le procédé **TIG** avec apport de fil froid ou chaud



*Démonstrateur en aluminium.
MIG robotisé, document IS*



1. Introduction : la FA arc-fil

Avantages et limites (de la FA arc-fil vs. technologies utilisant de la poudre)

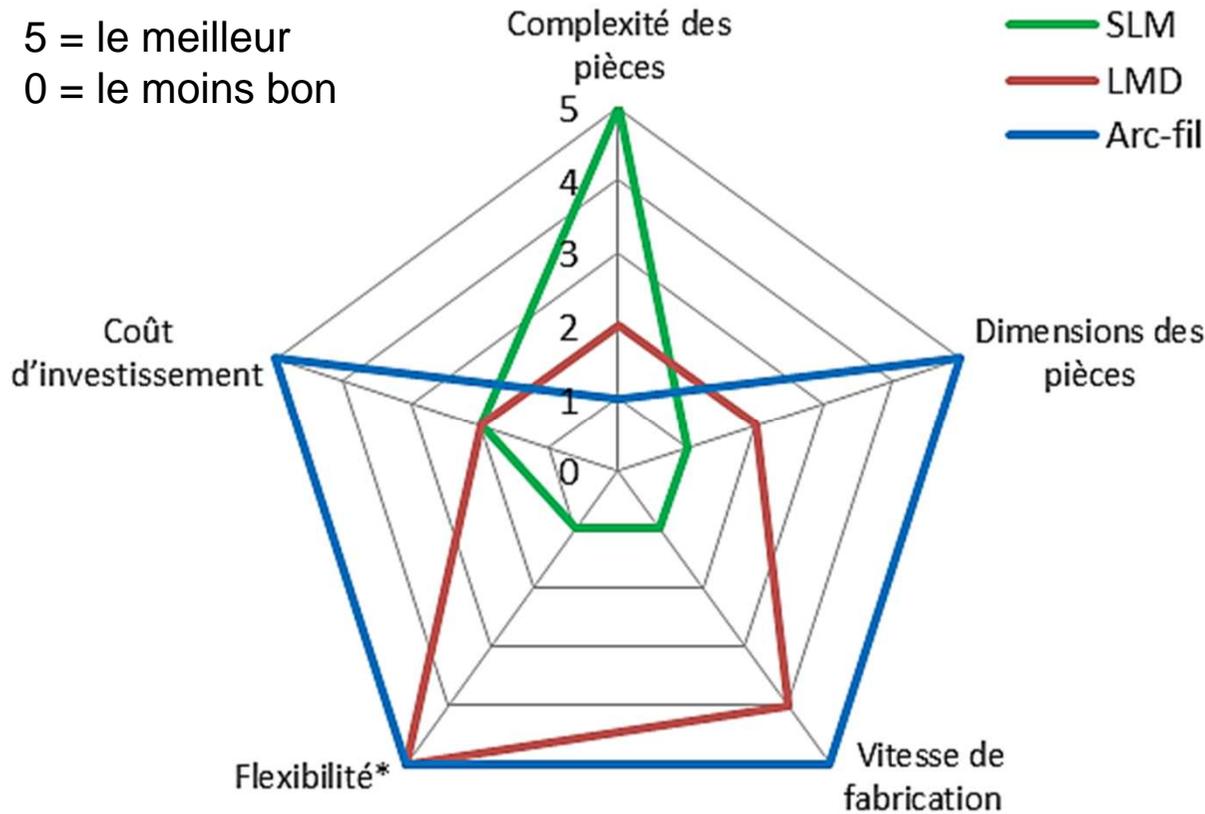
Avantages	Limites
Adapté à la fabrication de pièces de « grandes » dimensions	Impossible d'obtenir des pièces de forme complexe, avec des parois très fines ou encore avec des petits canaux
Productivité généralement largement supérieure	« Etat de surface » (pas la rugosité !) largement moins bon
Investissement machine modéré ou nul (moyen existant de soudage ou de rechargement)	Logiciels permettant de passer d'un fichier CAO à un programme pour robot polyarticulé en cours de développement
Très large gamme de produits d'apport (dont certains qualifiés) peu onéreux et de très nombreux fournisseurs	 <p><i>Etat de surface typique en FA avec le procédé MIG-MAG. Document IS</i></p>
Pas de recyclage (récupération, tamisage) de produit d'apport, donc un produit d'apport toujours « neuf »	
Pas de risque d'incendie dans la machine (liée à la réactivité du produit d'apport)	
Pièces en multimatériaux : gain de temps (pas de nettoyage de machine)	



1. Introduction : la FA arc-fil

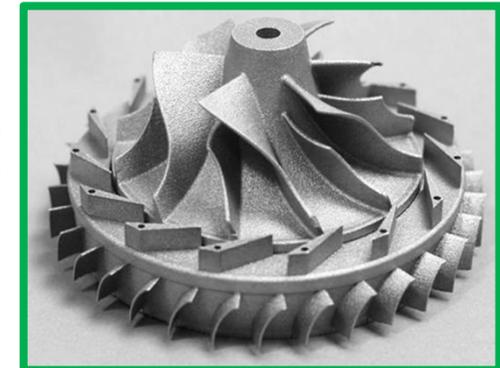
Positionnement de la FA arc-fil

5 = le meilleur
0 = le moins bon



Note : * Flexibilité = capacité du procédé à fabriquer, ajouter des fonctionnalités sur pièce existante, réparer.

Pinterest.com



Purdue University



Gefertec





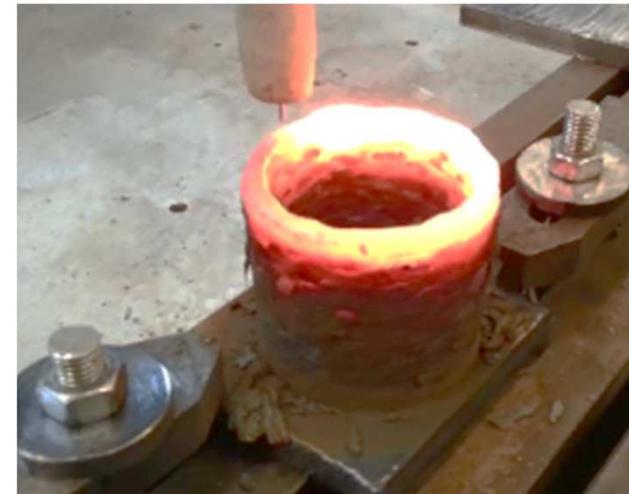
1. Introduction : la FA arc-fil
Les différentes technologies
Avantages et limites
Positionnement de la FA arc-fil
2. **Verrous technologiques**
3. Derniers développements
Outil de conversion CAO/programme robot
Consommables spécifiques
Machines « hybrides »
4. Quelques projets en cours
Chez Cranfield University
Chez MX3D
Au RAMLAB
A l'Institut de Soudure
A l'ECN
5. Marché potentiel / vision à moyen terme
6. Conclusions



2. Verrous technologiques

Les verrous technologiques à lever sont nombreux avant d'utiliser la FA arc-fil en production...

- **Logiciel** permettant de passer d'un fichier CAO à un programme de robot polyarticulé : en cours de développement
 - Epaisseurs des couches à maîtriser
 - Stratégies de fabrication à intégrer
 - Ajouter de la matière est beaucoup plus compliqué que d'en enlever
- **Monitoring** en cours de fabrication
 - Indispensable pour fabriquer des pièces de façon automatique et limiter les CND
 - Pour autant, il ne faut pas créer une « usine à gaz »
 - Pas encore de solution « clé en main »



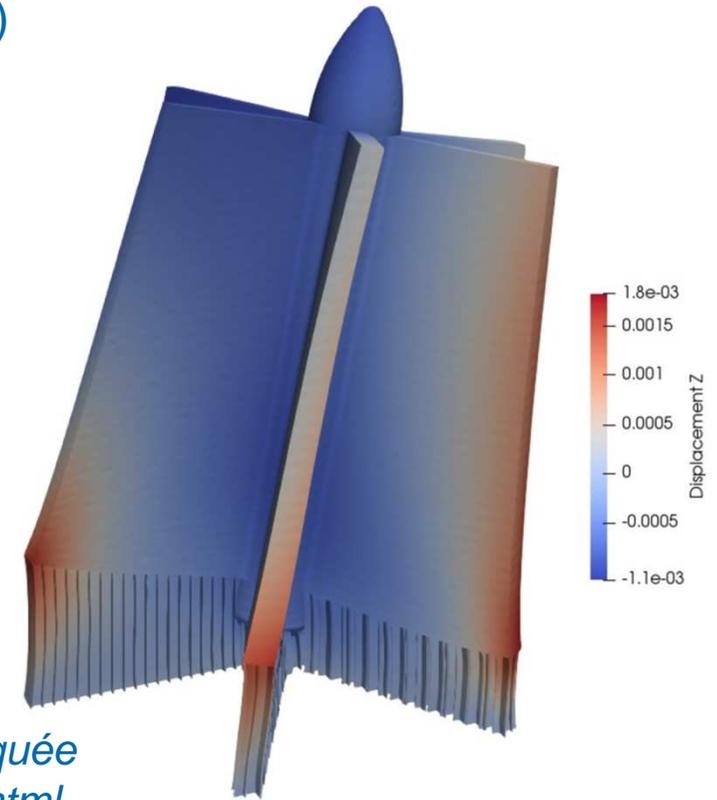
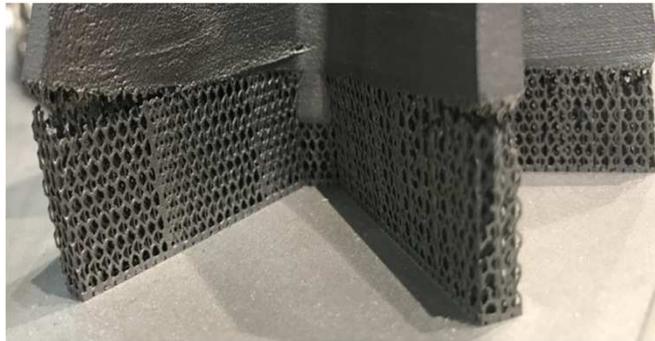
Absence de monitoring : accumulation de chaleur en FA arc-fil. Document IS



2. Verrous technologiques

- Prédire les **déformations** des pièces en cours de fabrication
 - Les logiciels de SNS^(*) sont incapables de gérer des centaines de passes
 - Cela s'applique aussi aux autres technologies de FA
 - On commence à voir des solutions très « macro » sur le marché (modèles simplifiés pour donner les grandes tendances)

() On fait référence ici à des logiciels qui gèrent les phénomènes thermiques, métallurgiques et mécaniques en 3D*

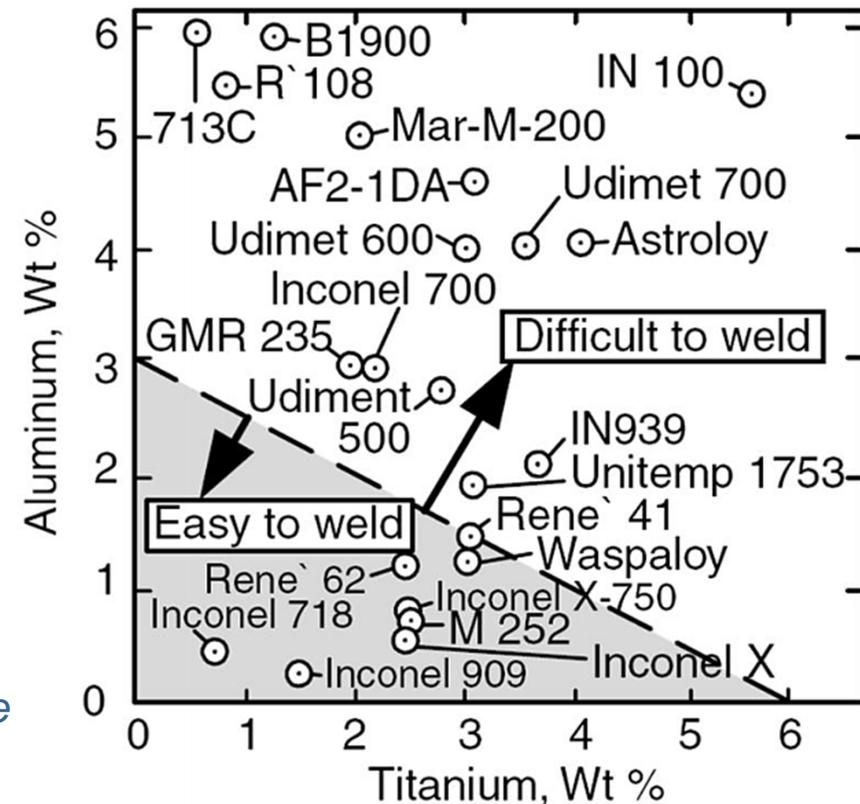


Simulation des déformations selon l'axe z d'une pièce fabriquée en SLM, de hauteur 12 cm. <http://www.geonx.com/index-3.html>

2. Verrous technologiques

- **CND** : la tomographie X est une solution en SLM, mais pas pour des pièces arc-fil de grandes dimensions
- **Post-traitement** : un traitement thermique de détensionnement est indispensable. Il faut donc disposer d'un four de taille adaptée.
- Fabrication de pièces en **superaliages**
 - Sauf cas particuliers, on ne peut pas fabriquer des pièces faites d'alliages non soudables
 - Cela s'applique aux autres technologies de FA, même si des avancées ont été faites en SLM.

Sensibilité à la fissuration au réchauffage de superalliages base Ni.





1. Introduction : la FA arc-fil
Les différentes technologies
Avantages et limites
Positionnement de la FA arc-fil
2. Verrous technologiques
3. **Derniers développements**
Outil de conversion CAO/programme robot
Consommables spécifiques
Machines « hybrides »
4. Quelques projets en cours
Chez Cranfield University
Chez MX3D
Au RAMLAB
A l'Institut de Soudure
A l'ECN
5. Marché potentiel / vision à moyen terme
6. Conclusions



3. Derniers développements

Outil de conversion modèle CAO/programme robot

Utilisation « détournée » d'un logiciel de CAM (Computer Assisted Machining) pour programmer un robot MAG. MX3D et le RAMLAB le mettent en œuvre.

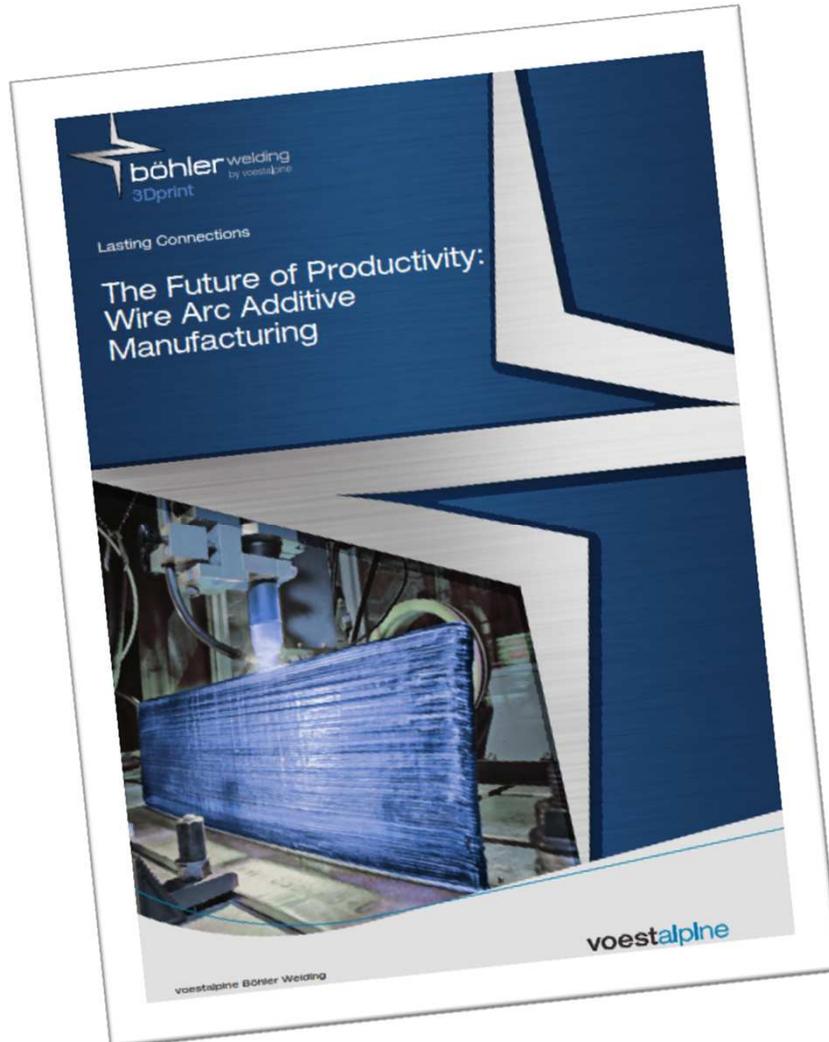


Utilisation du logiciel PartBuilder de Delcam (Autodesk) en fabrication additive avec le procédé CMT robotisé



3. Derniers développements

Consommables spécifiques : fils



La société Böhler propose dès à présent une gamme de 15 fils spéciaux base Fe, Fe-Cr, Ni et Ti dédiés à la FA arc-fil.

D'autres fabricants sont en train de développer de nouvelles formulations qui seront testées dans un projet de l'IS.

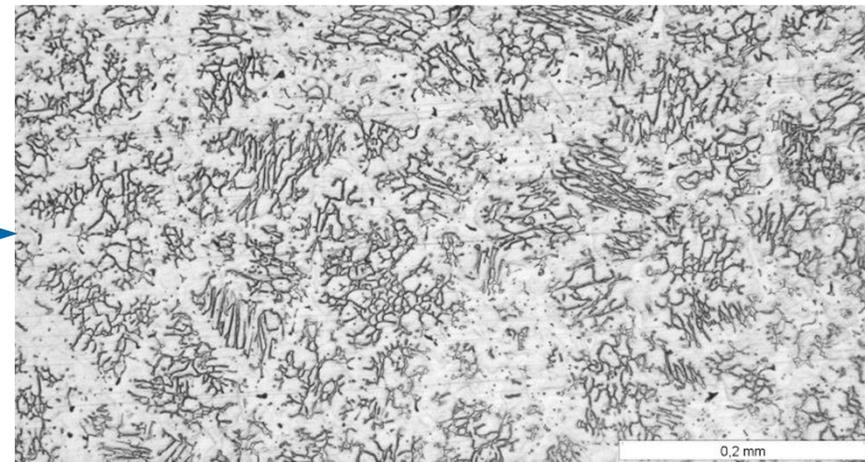
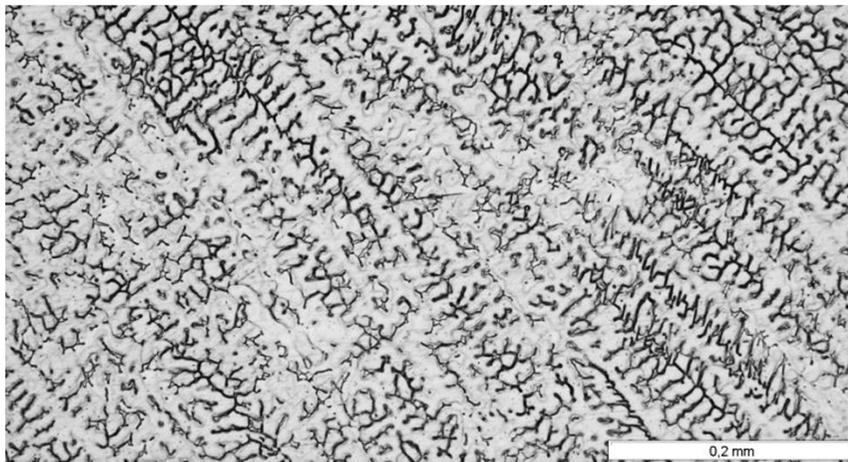
Product Name	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu
Böhler 3Dprint AM304L	0,02	0,5	1,7	20		10	
Böhler 3Dprint AM316L	0,02	0,5	1,7	18,5	2,6	12,3	
Böhler 3Dprint AM174PH	0,03	0,4	0,5	16,5		4,5	3,3
Böhler 3Dprint AM155PH	0,02	0,5	0,5	14,8		4,5	3,3
Böhler 3Dprint AM410NiMo	0,03	0,8	0,7	13	0,5	4,7	
Böhler 3Dprint AM430	0,02	0,5	0,5	18			



3. Derniers développements

Consommables spécifiques : gaz

- Tous les fabricants de gaz industriels s'intéressent à la FA, y compris arc-fil
- Les gaz peuvent par exemple :
 - Améliorer la vitesse de fabrication
 - Réduire la quantité d'oxydes
 - Favoriser des structures plus équiaxes et isotropes



Modification de la microstructure d'un acier inoxydable austénitique pour améliorer sa contrôlabilité par UT grâce à un gaz spécial. Document IS



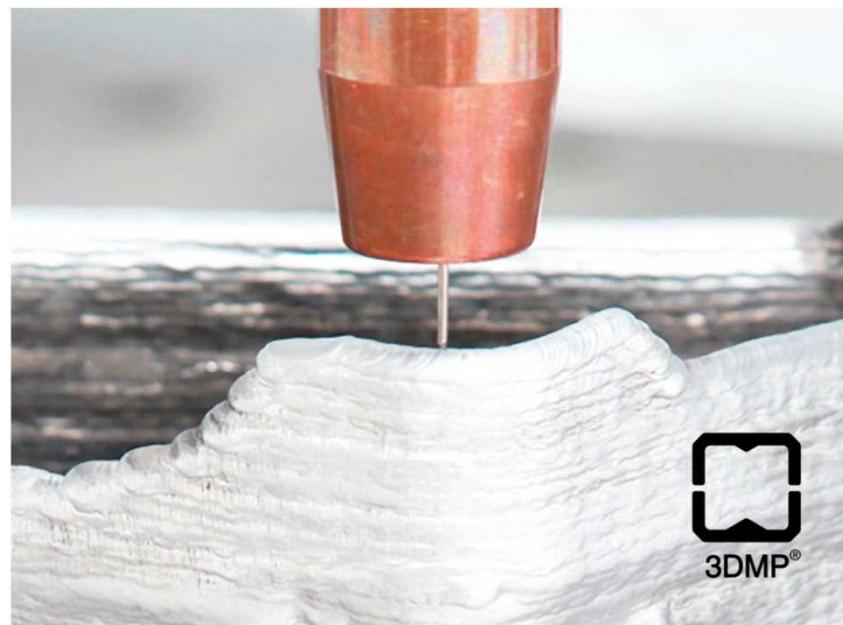
3. Derniers développements

Machines « hybrides »

- Il s'agit de combiner FA arc-fil et usinage dans une même machine pour :
 - Réaliser l'opération d'usinage directement en fin de FA
 - Usiner à sec certaines surfaces en cours de fabrication : **zones inaccessibles** en fin de FA ou **zones irrégulières**
- ATTENTION : concept envisageable avec des machines cartésiennes, mais peu réaliste avec des robots polyarticulés...

En FA arc-fil, on essaye de maîtriser un bain de métal liquide soumis à de multiples forces que l'on ne contrôle pas...

Les débuts et fins de cordon sont des zones singulières à gérer en FA. Document Gefertec





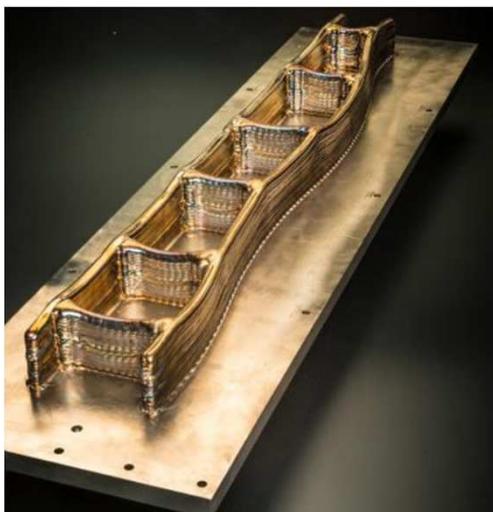
1. Introduction : la FA arc-fil
Les différentes technologies
Avantages et limites
Positionnement de la FA arc-fil
2. Verrous technologiques
3. Derniers développements
Outil de conversion CAO/programme robot
Consommables spécifiques
Machines « hybrides »
4. **Quelques projets en cours**
Chez Cranfield University
Chez MX3D
Au RAMLAB
A l'Institut de Soudure
A l'ECN
5. Marché potentiel / vision à moyen terme
6. Conclusions



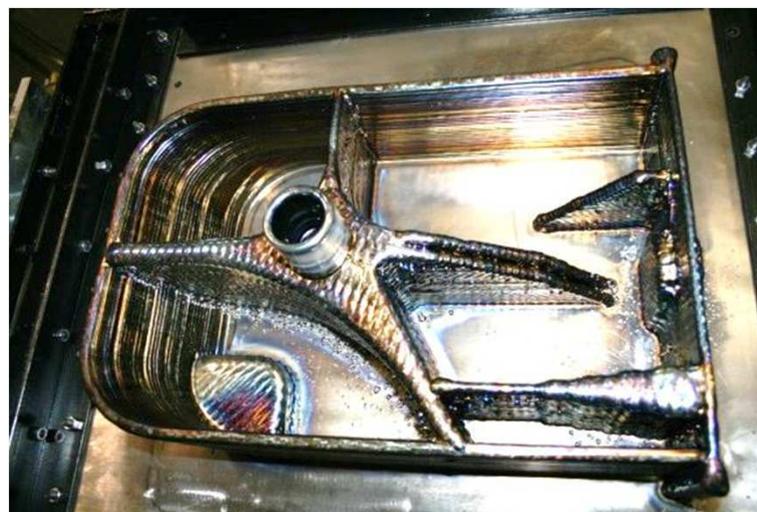
4. Projets en cours

Chez Cranfield University

Cette université est devenue un acteur majeur en FA arc-fil avec les procédés MIG-MAG, plasma et TIG et réalise de nombreux démonstrateurs



Pièces en alliage de titane (secteur aéronautique)

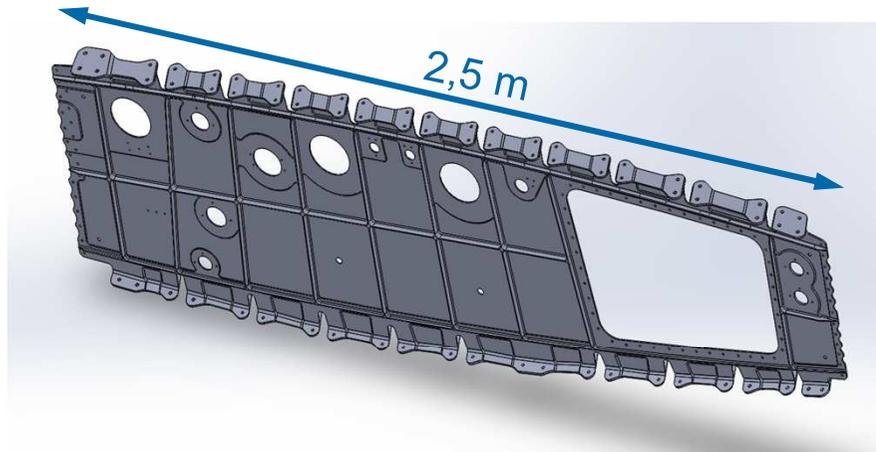


Pièce bimétallique (acier et alliage de Cu)

Documents Cranfield University



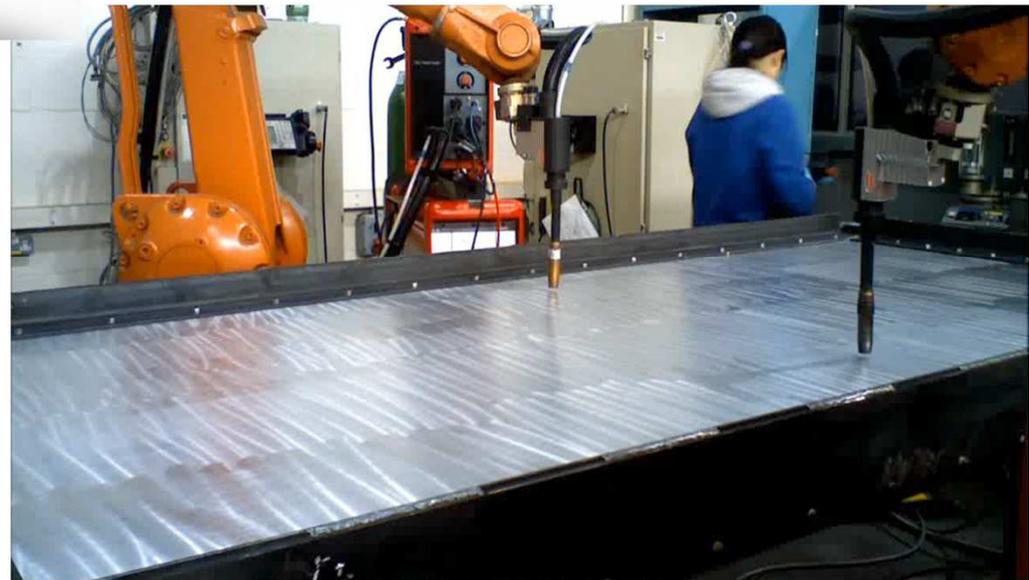
Chez Cranfield University



*Modèle CAO
d'une structure
avec nervures*

Documents Cranfield University

*Ajout de nervures sur
une plaque en aluminium*





4. Projets en cours

Chez MX3D

La construction d'une passerelle à Amsterdam est le projet principal chez MX3D. De nombreux progrès ont été faits depuis deux ans et la passerelle est maintenant finie.



Travaux menés en 2015

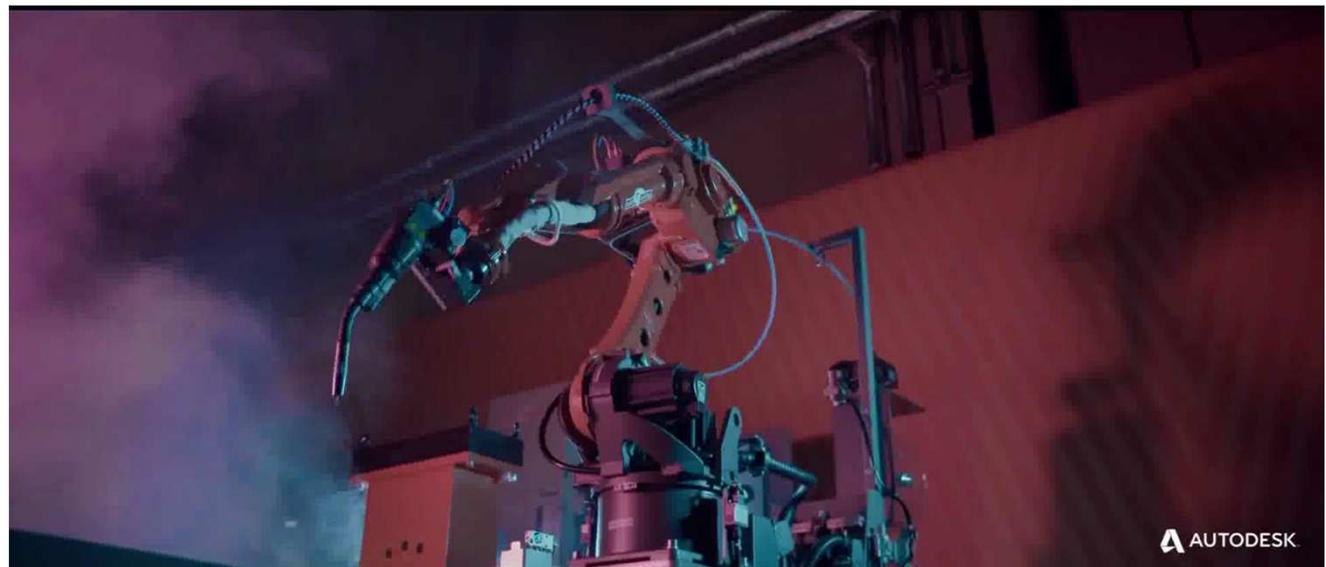
Travaux menés en 2017





Au RAMLAB

Le RAMLAB est un nouvel acteur en FA arc-fil. Dans le secteur maritime, l'idée est de pouvoir fabriquer des hélices de remplacement, qui sont habituellement des pièces de fonderie. Deux hélices ont été fabriquées et mises en service sur un remorqueur de navires.



<http://www.primante3d.com/rotterdam-27042017/>

<https://www.theengineer.co.uk/dutch-engineers-unveil-3d-printed-ship-propeller/>



4. Projets en cours

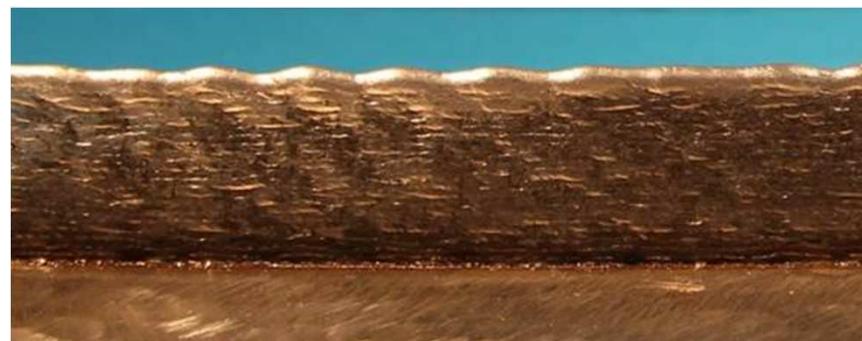
A l'Institut de Soudure



*Vidéos rapides : construction d'un mur avec apparition du humping après 3 couches.
Documents IS*

Etude du phénomène de « humping », qui est une instabilité du bain qui apparaissant en soudage à partir d'une vitesse critique.

- Le humping apparaît aussi en FA
- Le but est d'établir les paramètres critique pour ne pas avoir ce phénomène en cours de fabrication.





4. Projets en cours

A l'Institut de Soudure

Projet associatif FAMAFA (Fabrication Additive Métallique Arc-Fil)

- 11 industriels participent
- 5 démonstrateurs seront fabriqués

Objectifs :

- Disposer de « vraies » pièces à la fin du projet
- Avoir un bilan technico-économique pour chaque pièce

Autres projets IS en cours de montage :

- FA laser-fil
- CND des canaux de pièces obtenues par SLM.





4. Projets en cours

A l'ECN

STELIA Aerospace imprime en 3D un panneau de fuselage

PUBLIÉ LE 21 FÉVRIER 2018



STELIA Aerospace est un fabricant français de pièces structurales et d'équipements aéronautiques

Un panneau raidi a été fabriqué en ER2319, mais il n'offrira pas les propriétés mécaniques d'un alliage 2xxx corroyé même après traitement thermique.





- 1. Introduction : la FA arc-fil**
 - Les différentes technologies
 - Avantages et limites
 - Positionnement de la FA arc-fil
- 2. Verrous technologiques**
- 3. Derniers développements**
 - Outil de conversion CAO/programme robot
 - Consommables spécifiques
 - Machines « hybrides »
- 4. Quelques projets en cours**
 - Chez Cranfield University
 - Chez MX3D
 - Au RAMLAB
 - A l'Institut de Soudure
 - A l'ECN
- 5. Marché potentiel / vision à moyen terme**
- 6. Conclusions**



5. Marché potentiel / vision à moyen terme

On ne connaît pas encore le marché de la FA arc-fil, mais :

- Il concernera à priori plus l'ajout de fonctionnalités que la fabrication de pièces sur un plateau
- Il se développera en priorité pour des pièces en acier inoxydable et base Ni plutôt que des aciers C-Mn

Les secteurs industriels à priori concernés seront :

- L'industrie « lourde » (secteur minier, maritime, sidérurgique, pétrolier...)
- Peut être l'aéronautique, qui y voit un intérêt, mais dont les matériaux se prêtent moins à cette technologie

Pour que la FA arc-fil devienne une réalité industrielle, il faut qu'elle permette de :

- Produire des pièces moins cher *ET/OU*
 - Produire des pièces plus vite *ET/OU*
 - Se passer d'outillages spécifiques (matrices, moules)
- ...en garantissant un produit de qualité au moins équivalente.

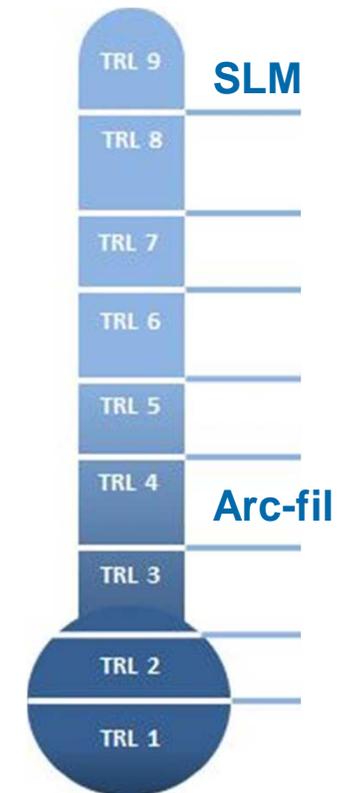


Exemple de rajout de fonctionnalité, D. Appleyard, hydroworld, 2012.



- 1. Introduction : la FA arc-fil**
 - Les différentes technologies
 - Avantages et limites
 - Positionnement de la FA arc-fil
- 2. Verrous technologiques**
- 3. Derniers développements**
 - Outil de conversion CAO/programme robot
 - Consommables spécifiques
 - Machines « hybrides »
- 4. Quelques projets en cours**
 - Chez Cranfield University
 - Chez MX3D
 - Au RAMLAB
 - A l'Institut de Soudure
 - A l'ECN
- 5. Marché potentiel / vision à moyen terme**
- 6. Conclusions**

- **La FA arc-fil est :**
 - En cours de développement (TRL 4)
 - Complémentaire au SLM
 - Une alternative au LMD
- **Ses atouts principaux :**
 - Faible coût d'investissement
 - Productivité
 - Retour d'expérience du soudage
 - De nombreux produits d'apports et de fournisseurs
- **Ses limites principales :**
 - Plusieurs verrous à lever pour l'industrialiser
 - Des interrogations concernant son intérêt technico-économique





Merci pour votre attention

Avez-vous des questions ?

Fabrice Scandella

Institut de Soudure

4 boulevard Henri Becquerel

57970 Yutz

e-mail : f.scandella@isgroupe.com