



Ingénierie Matière



**COLD SPRAY- ICAR CM2T**  
GUILLAUME EZO'O

**COLD SPRAY :  
Revêtements de surface,  
réparations fonctionnelles et  
fabrication additive**

COLLOQUE 10 ET 11 MAI 2023



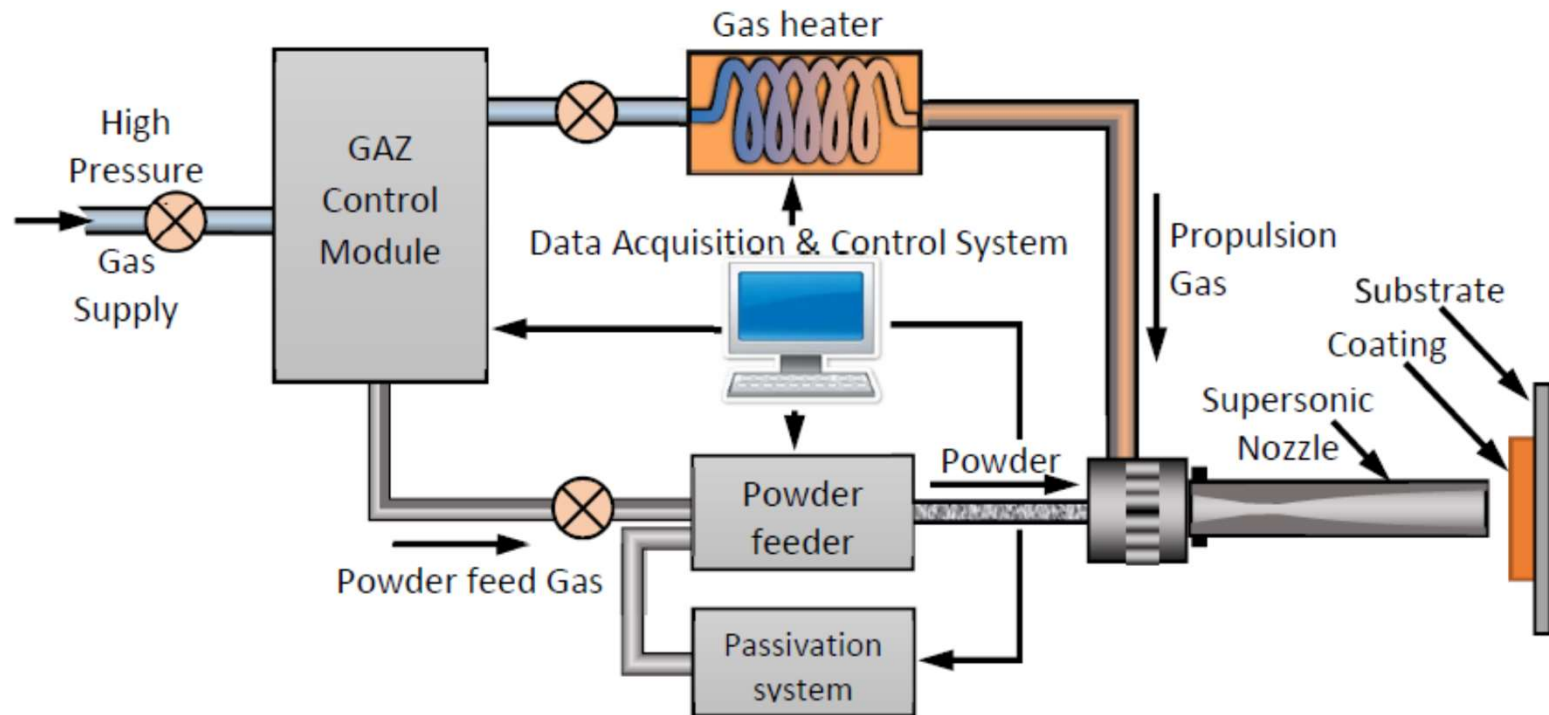
# COLD SPRAY ?

Projection de particules froides de petite taille (5-40  $\mu\text{m}$ ) à haute vitesse (300-1500 m/s) sur un substrat par l'intermédiaire d'un gaz supersonique (He, N<sub>2</sub>, Ar, Air).

Le dépôt résultant est formé de particules ayant impacté le substrat à l'état SOLIDE.

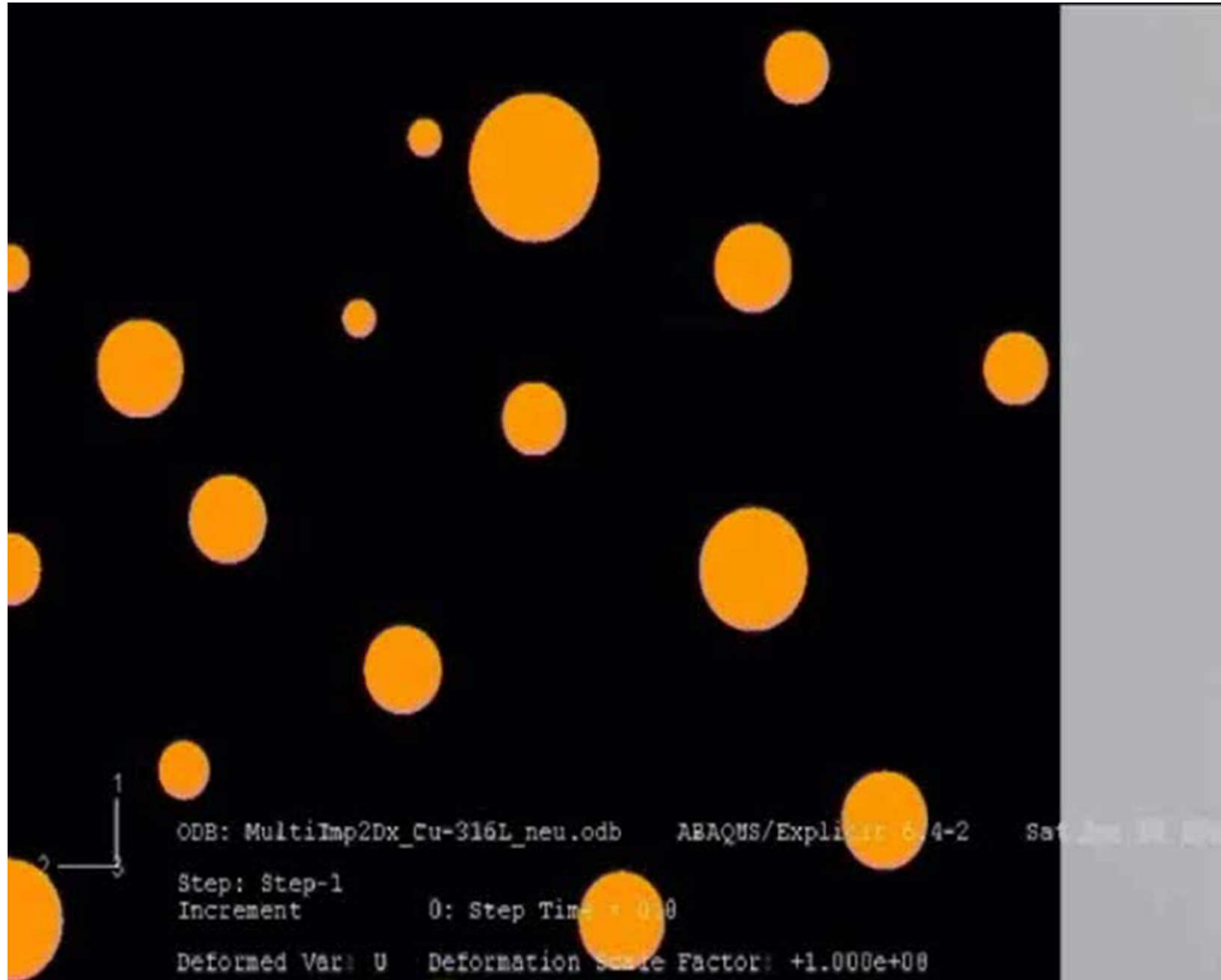


# COLD SPRAY ?



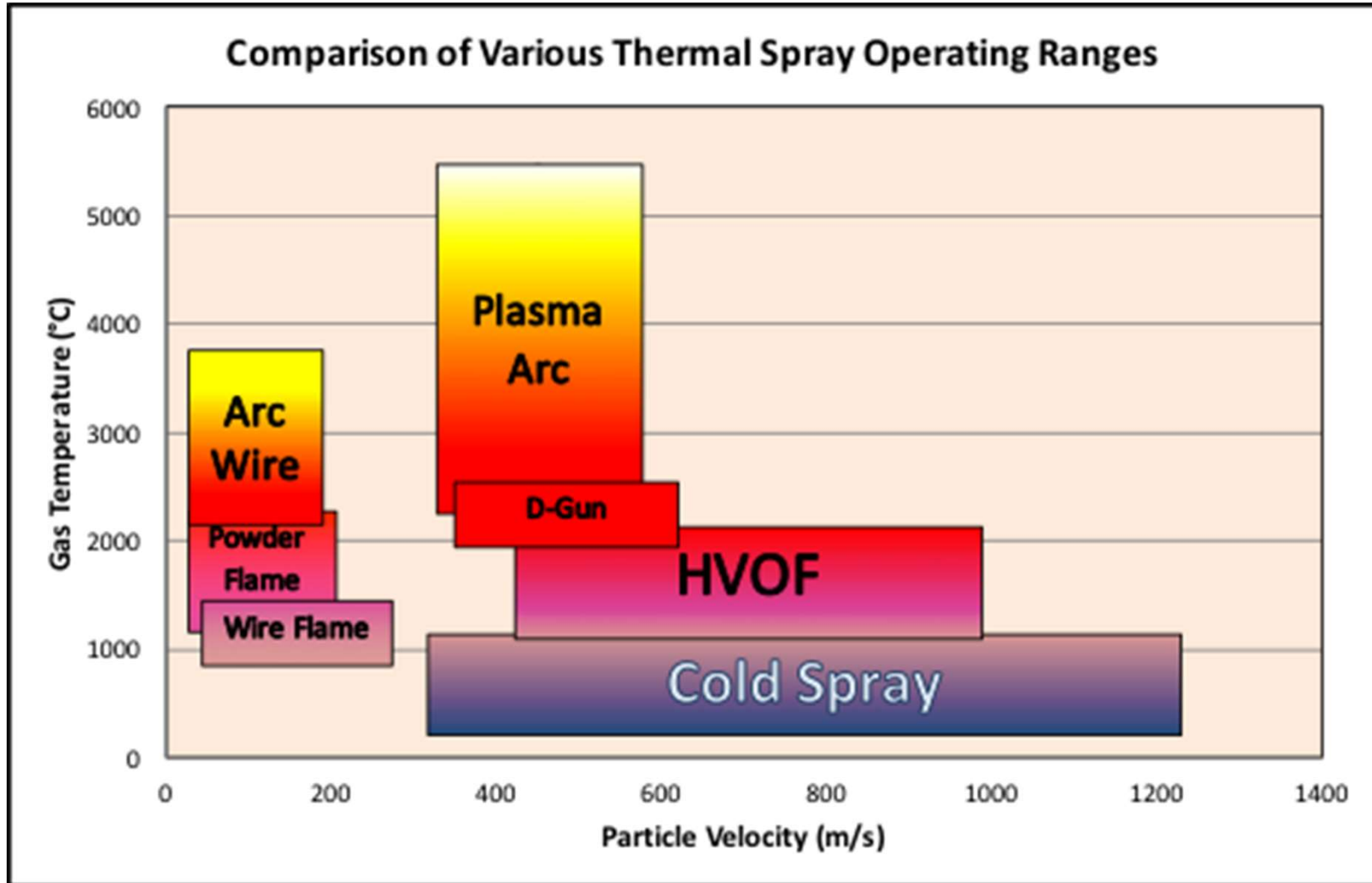


# COLD SPRAY : PRINCIPE





# POSITIONNEMENT DU COLD SPRAY





# LES AVANTAGES DU COLD SPRAY

**Faible échauffement** du substrat (80 à 150 °C) :  
possibilité de réaliser des revêtements sur des matériaux thermosensibles (tôles minces, polymères ou composites), pièces finies y compris en réparation.

**Largeur de jet** ajustable (selon géométrie de la buse).

**Large gamme d'épaisseurs de revêtement** accessibles pour certains matériaux (60 microns à + de 10mm), possibilité d'utiliser le cold spray en fabrication additive.



# LES AVANTAGES DU COLD SPRAY

**Pas de fusion:** propriétés des dépôts proches de celles des métaux massifs et pas d'oxydation (Al, Ti, Ta, Zr...)

**Rendements de projection très importants (> 80%)** pour certains matériaux (Cu, Ti, Zr, Inox, base nickel sans DP...)

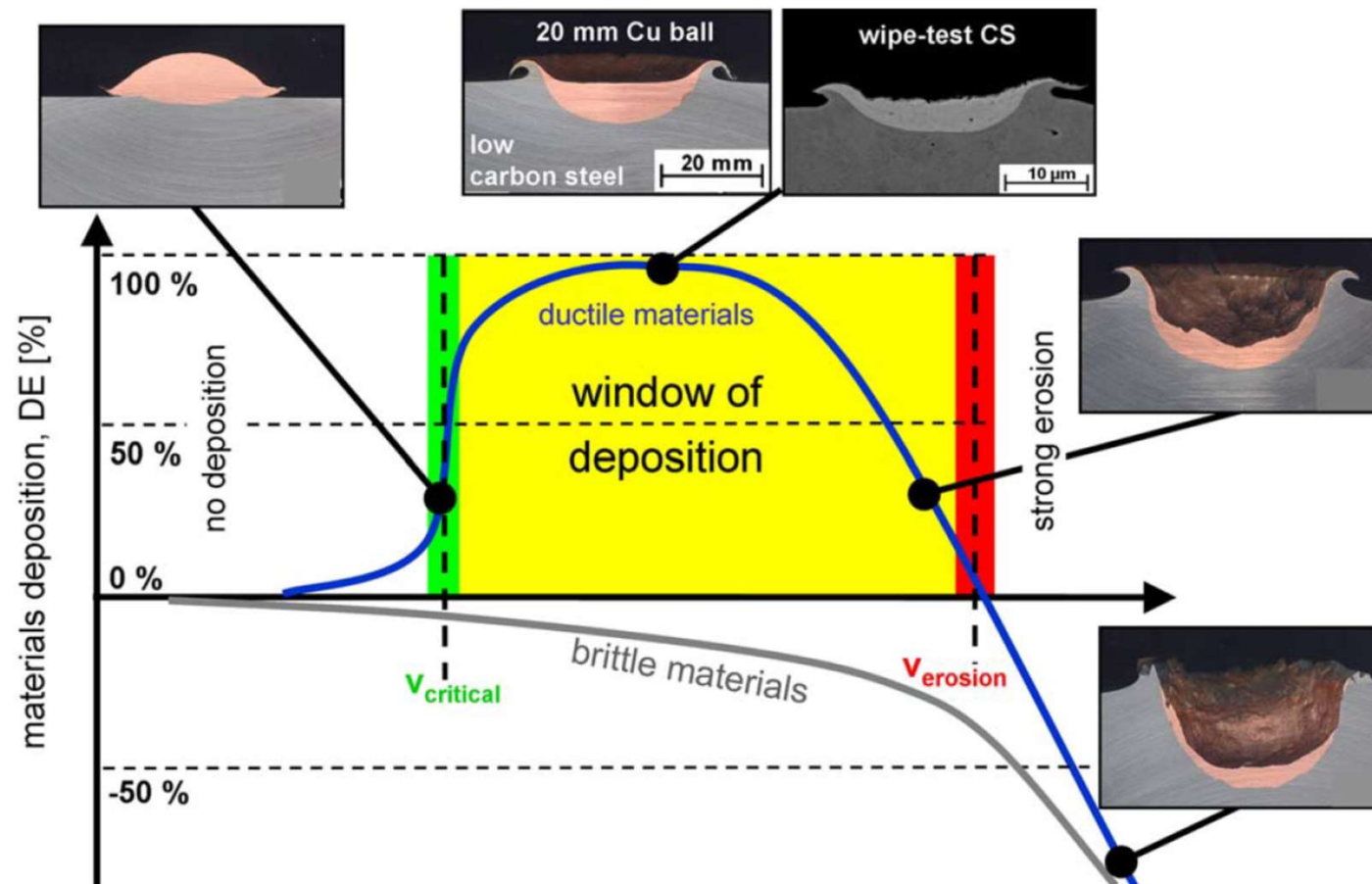


Dépôt de cuivre dense- épaisseur > 5 mm –rendement > 99%



# ACCÉLÉRATION DU GAZ

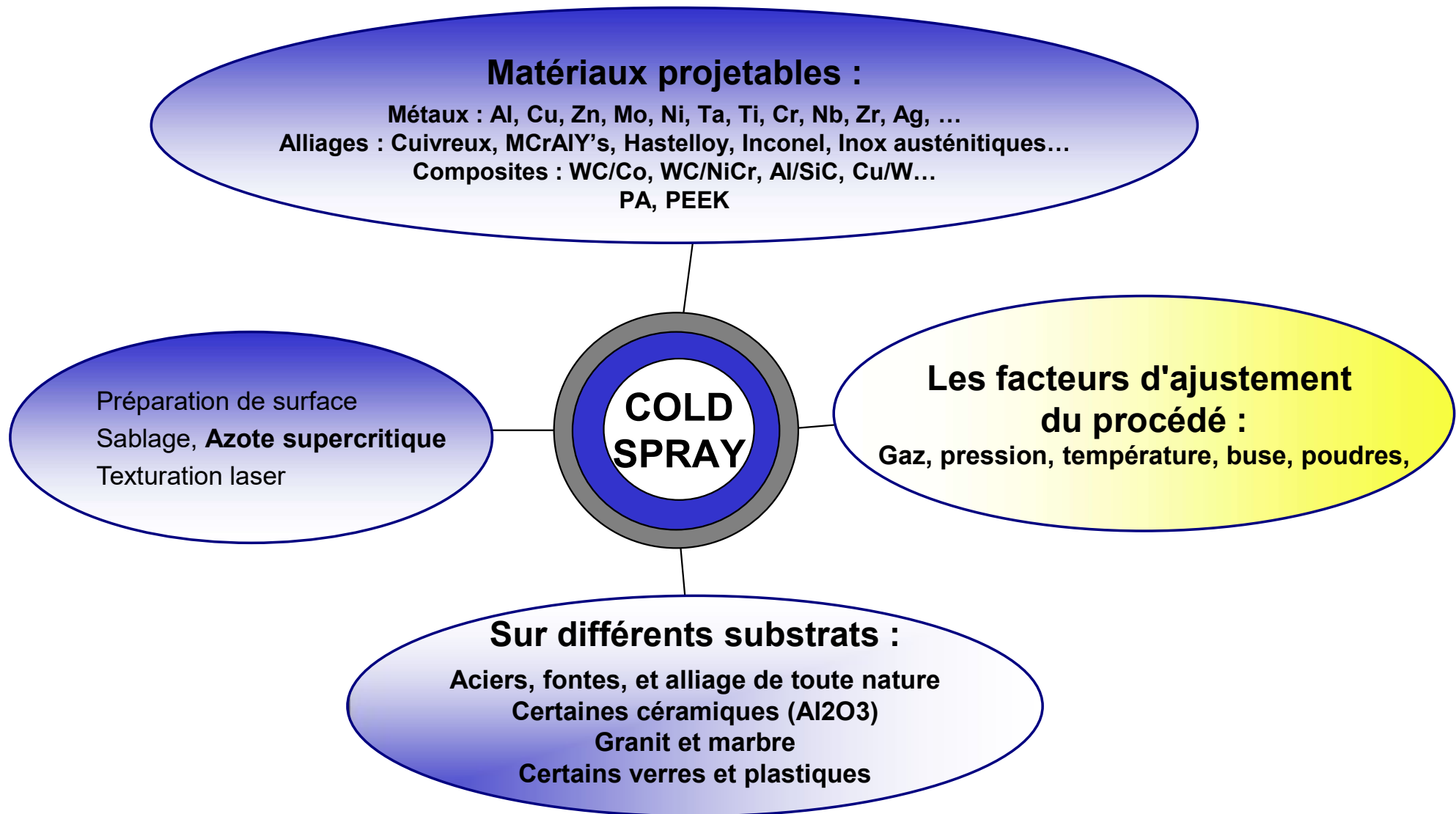
## Vitesse critique et fenêtre de dépôt







# LES POSSIBILITÉS DU COLD SPRAY





# L'INSTALLATION COLD SPRAY ACTUELLE

Nouveau système Impact 5/11 (50 bars/ 1100°C) monté sur portique robot KUKA (60Kg) autorisant des grands déplacements : possibilité de revêtir des pièces de grandes dimensions.



Source :SURFO3M- CRITT TJFU- ICAR CM2T





# SAVOIR FAIRE ICAR- CM2T EN COLD SPRAY

Ti et Ta6V dense et poreux

Bases nickel et cobalt (Voir thèse F.Raletz): Inconel 625 et 718 ,  
MCrAlY

Zr

Cu et bronzes

ZnAl (Brasures et anti corrosion, blindages EMI)

Base Al (séries 1000, 2000,4000, 6000, 7000)

Composites (Al+SiC, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, WC-FeNiCr, WC-Ti, Al+CNT...)

WC-Co, WC-NiCr micro et nano structurés

Inox ferritiques et austénitiques

Zn ,Sn, Ag

Ta, Zr, Nb

Kovar, Invar 36...



# SAVOIR FAIRE ICAR-CM2T EN COLD SPRAY

## Collaborations industrielles :

**-Conduction électriques et thermique –**

**-Automobile:** revêtement de cylindres moteur , anti corrosion

**-Aéronautique :** réparation de pièces en alliage d'aluminium et magnésium -

Réparation aubes de turbines – Blindage EMI – Management thermique

**-Anti-corrosion:** milieux aqueux et haute température (Turbos, incinération)

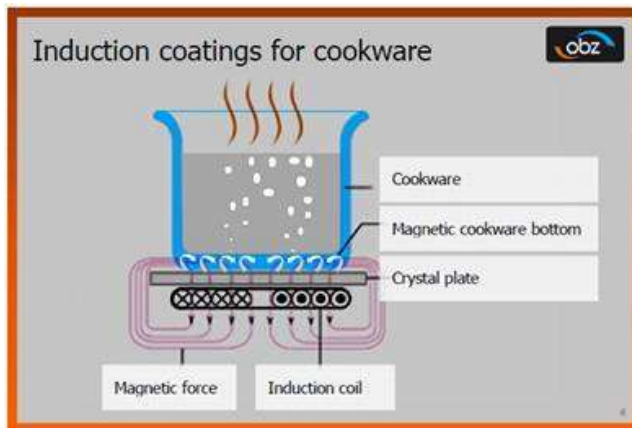
**- Chimie et pharmacie :** Projet FUI ZIRCOSPRAY- (Mersen)

**-Tribologique:** anti-usure et frottement (Lubrifiants solides)



# EXEMPLES DE FONCTIONNALISATION DE SURFACE : DOMAINE CULINAIRE

Dépôt d'un inox magnétique au dos d'un ustensile de cuisson en aluminium



Source: OBZ



# FONCTIONNALISATION DE SURFACE POUR DES APPLICATIONS ÉLECTRONIQUES

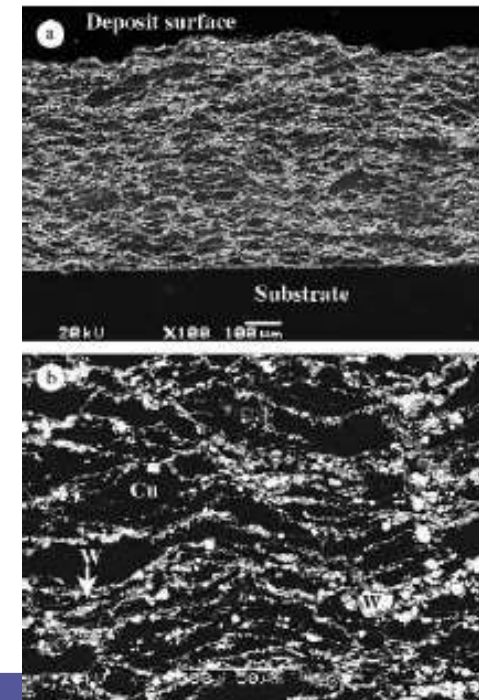
Optimisation des coefficients de dilatation entre un composant de puissance (Faible CTE. ex: Silicium) et un dissipateur thermique (Fort CTE. ex : base Aluminium )

Cu60W40 (initial Cu25W75)

Porosité : 0,7%

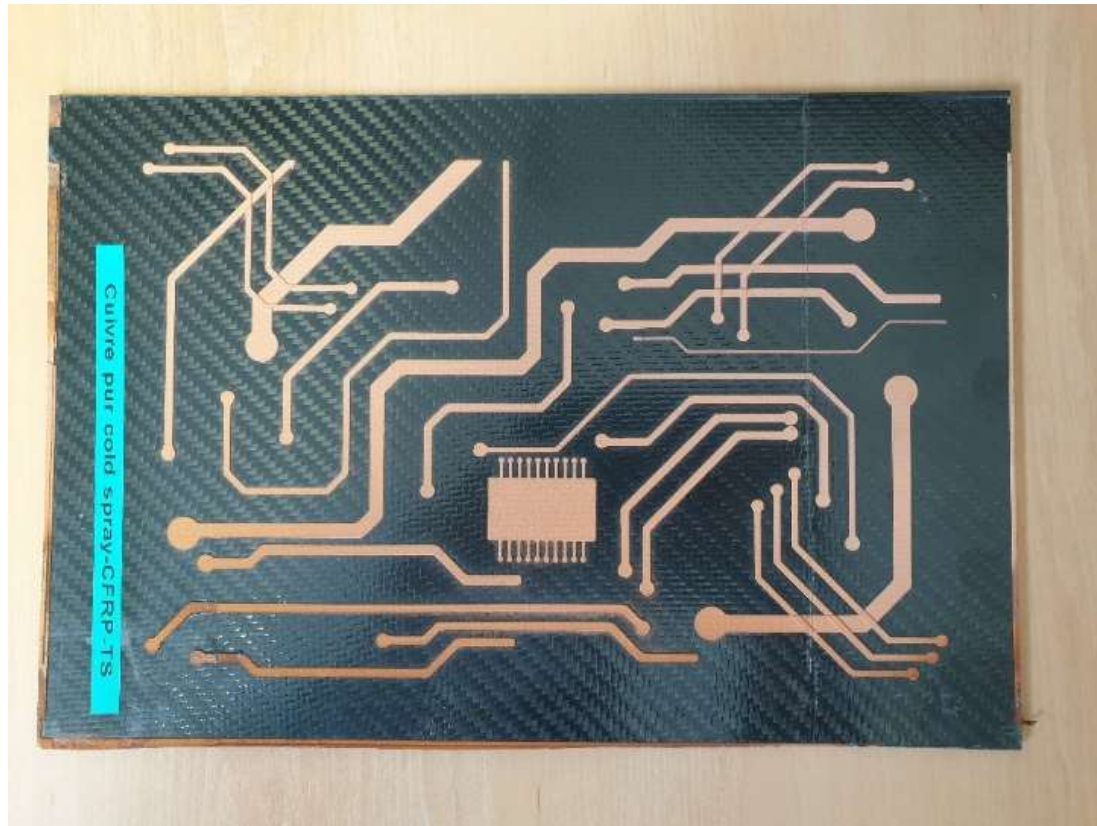
Coefficient de dilatation :  $6,5 \cdot 10^{-6}$

Conductivité thermique :  $200 \text{ W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$





# FONCTIONNALISATION DE SURFACE : CRÉATION DE SURFACES CONDUCTRICES SUR COMPOSITES



Circuit imprimé cuivre pur sur CFRP-TS



Blindage EMI cuivre pur sur ABS

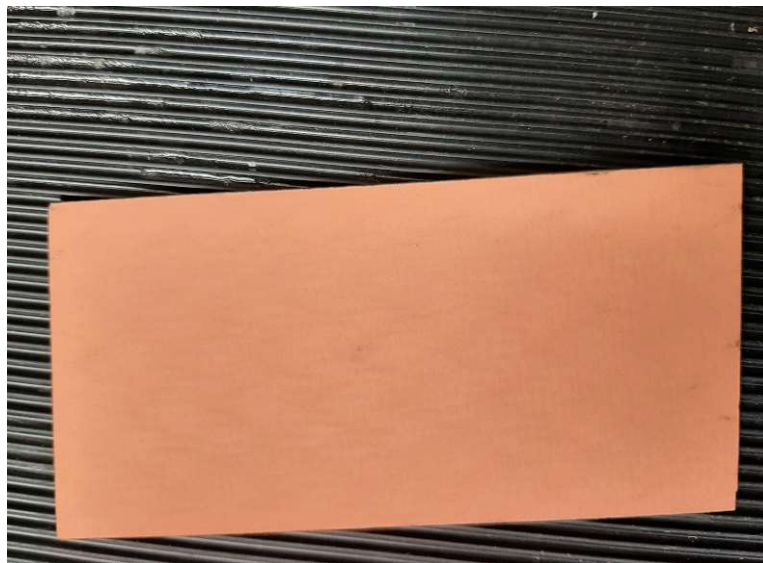
Source: ICAR-CM2T- Projet PRACORMAT- Critt TJFU-Critt MI- CERVAF .



# FONCTIONNALISATION DE SURFACE : CRÉATION DE SURFACES CONDUCTRICES SUR COMPOSITES

Projet Cleansky CO3- 2018 – 831978 : Projections :

- CFRP (Thermoset and thermoplastic)
- Polymères massifs (TS et TP)
- dépôts de 150-180 microns et 50-60 microns Al et Cu



Source: ICAR-CM2T





LUXEMBOURG  
INSTITUTE OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY



## PROJECT ROADMAPS

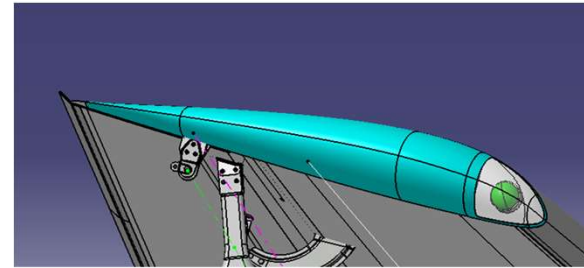
03/2019

03/2020

03/2021

1 x most promising materials

Integration of radius  
of curvature &  
surface orientation



Flat sample



- 1 x HT thermoplastic/carbon composite
- 1 x Thermoset/carbon composite
- 4 x Polymer composite

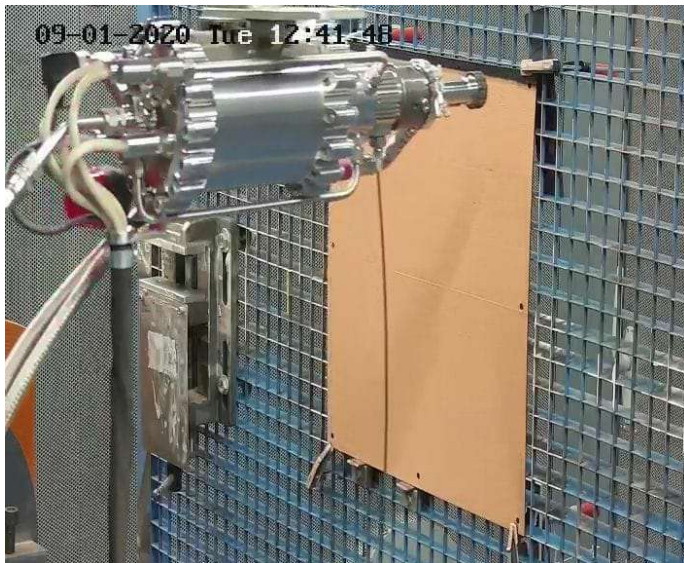
- 1 x HT thermoplastic/carbon composite
- 1 x thermoset/carbon composite
- 1 x most promising Polymer composite

Tasks		
Ref. No.	Title - Description	Due Date*
WP1	Spraying Feasibility: Deposition efficiency and microstructure analysis	T0 + 10
WP2	Optimization the process parameters for metallization of polymer and carbon fiber composite substrates	M10 + 9
WP3	Comparative tests with conventional technologies	M13 + 6
WP4	Manufacture the demonstrator – Metallization of Front landing gear fairing	M19 + 6





# EXEMPLES DE FONCTIONNALISATION DE SURFACE : METALLISATION DES COMPOSITES



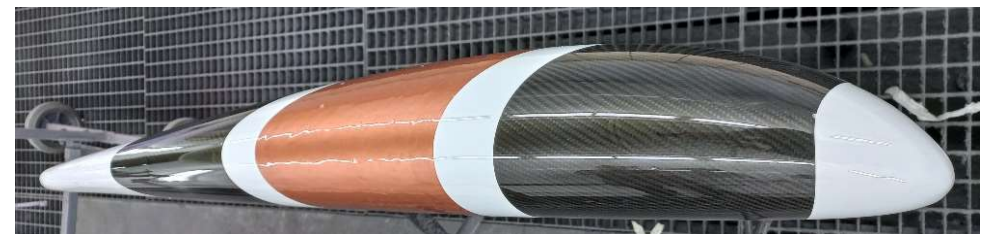
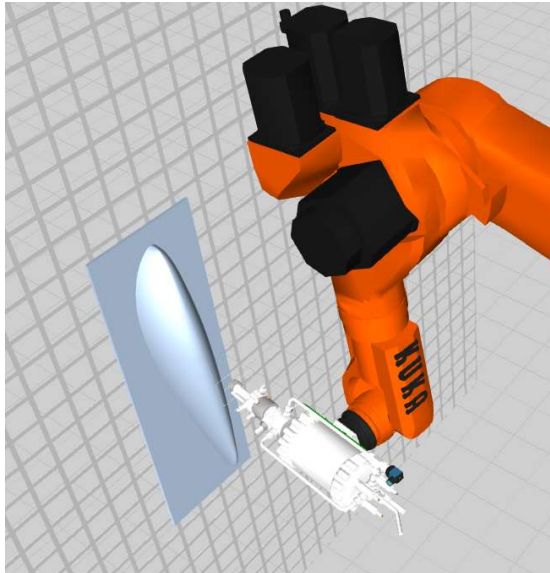
Dépôt antifouling de cuivre sur une plaque de 600X600 thermodurcissables –carbone/Epoxy - Projet cleansky CO3-

Source: ICAR CM2T





# EXEMPLES DE FONCTIONNALISATION DE SURFACE : MÉTALLISATION DES COMPOSITES



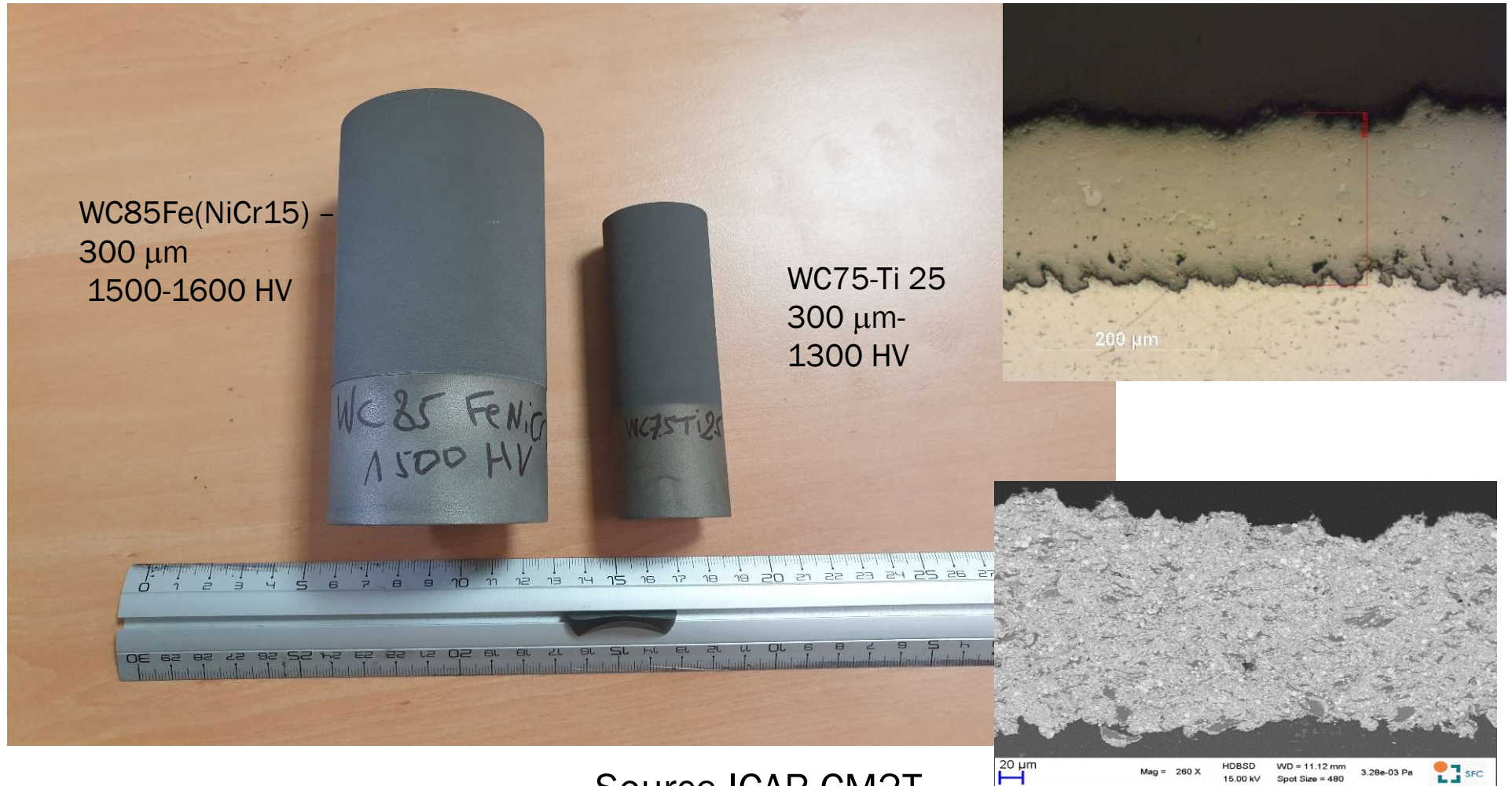
Source: projet cleansky CO3- 2018 – 831978





# COLD SPRAY - DÉPÔTS ANTI USURE

## Dépôts de carbures



Source ICAR-CM2T



# COLD SPRAY : RÉPARATION

Le cold spray est de plus en plus utilisé en réparation des pièces où l'on recherche :

- peu d'échauffement et de déformation de la pièce,
- à effectuer des réparation importantes (plusieurs kg),
- des propriétés mécaniques au niveau de la zone réparée comparables à celles du métal de base.



# COLD SPRAY – REPARATIONS

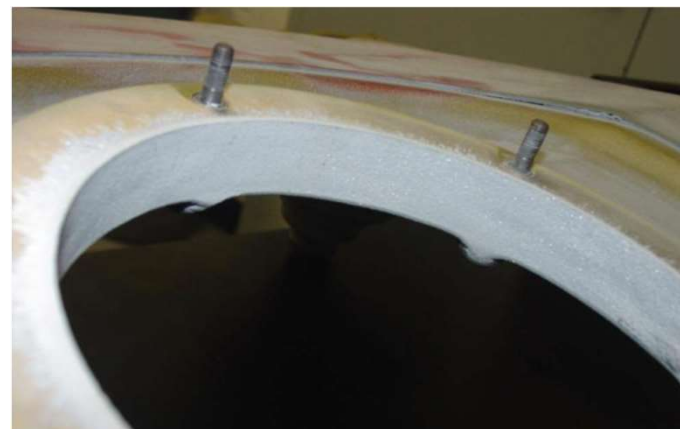
Aéronautique et militaire

a)



Réparation de carter de boîte d'hélicoptère  
a) avant b) après

b)



Source : US army research Laboratory



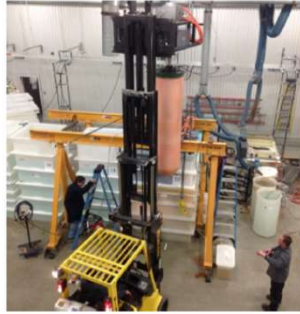
# REVÊTEMENT CUIVRE DE CYLINDRES DE STOCKAGE DE DÉCHETS NUCLÉAIRES

Used Fuel Container

## Copper Coating

### Electrodeposition for main body

- Reverse galvanic cell
- Nano-crystalline coating



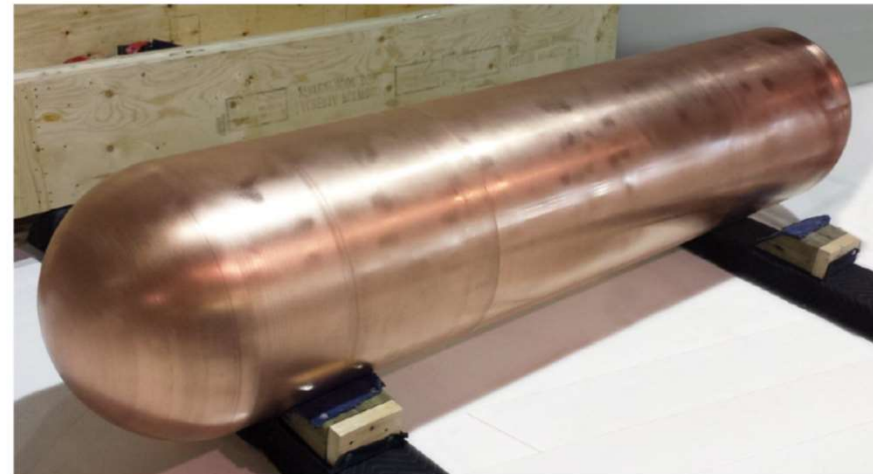
### Cold spray for Closure Weld Zone

- Solid state high-speed spray of copper particles



Used Fuel Container

## Final Product



Source: NWMO/NRC CA



# **COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE**

## **Intérêt :**

- productivité vs SLM (qq Kg/heure)
- propriétés mécaniques des dépôts

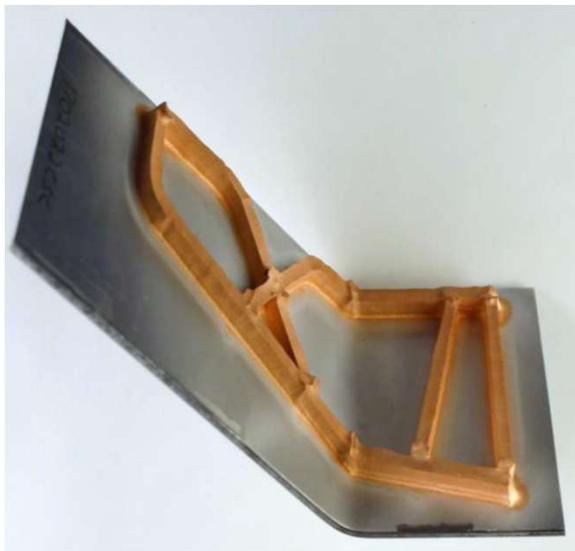
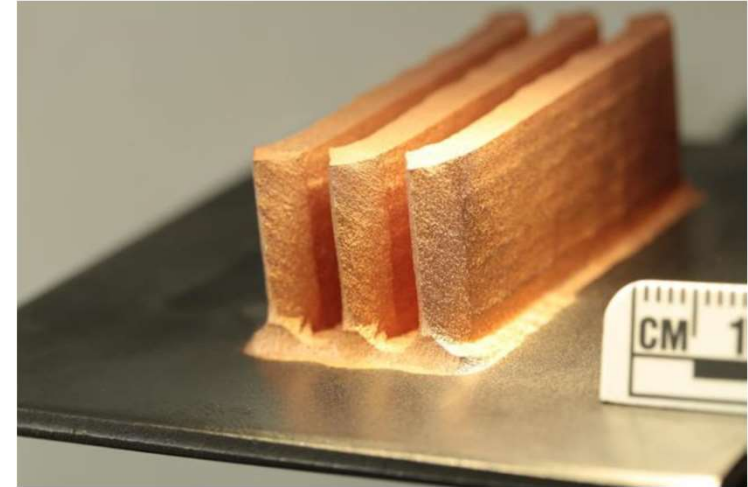
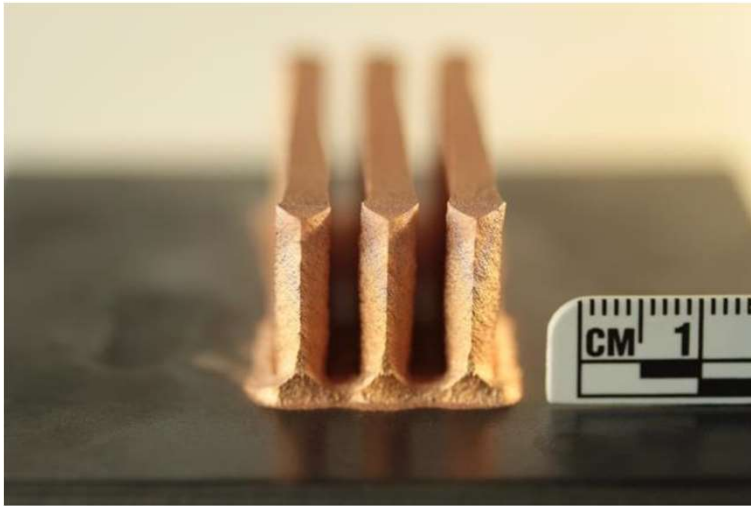
## **Limitations actuelles :**

- formes de révolution ou assez simples
- reprise nécessaire (not « net shape »)
- Propriétés pleine matière mal connues





# COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE



Source :NRC - CNRC



# COLD SPRAY ETAT DE L'ART ET PERSPECTIVES

- Dossier Hybridation 2: Hybridation Stratoconception®/cold spray – (Projet de ressourcement Région Grand EST: IS-CIRTES-ICAR-CM2T -TJFU)

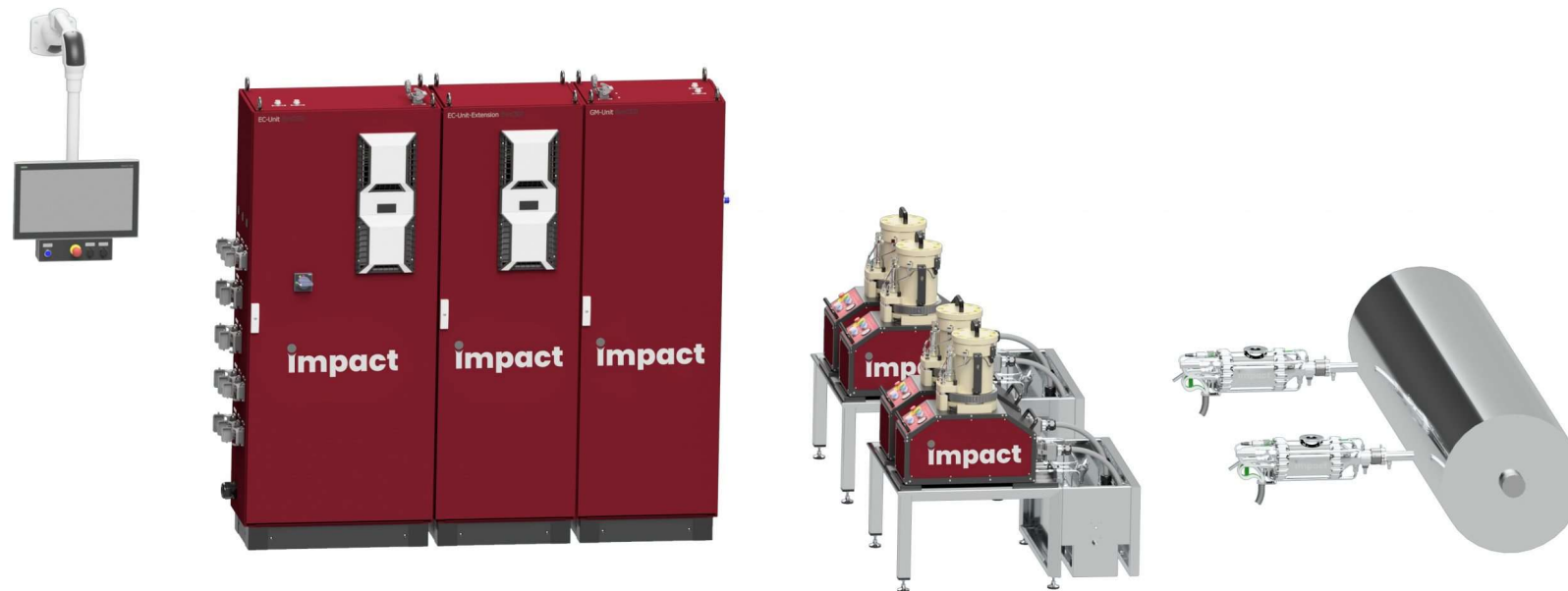




# FABRICATION ADDITIVE PAR COLD SPRAY

## Adaptation des installations cold spray à la FA :

- Evolution des matériels de projection vers plus de productivité :  
Cold spray Impact Innovation EVO CS II : 2 torches et 4 distributeurs de poudre



Source: Impact Innovations



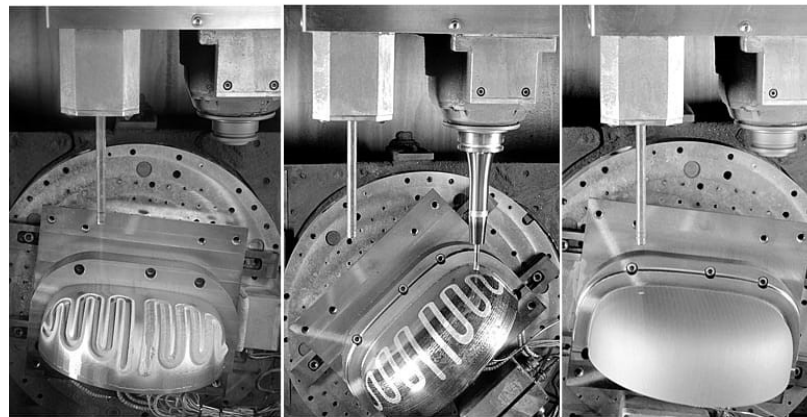
# COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE



Machines SPEED 3 D™



HERMLE™ MPA 42 hybride machine



HERMLE™ Conformal cooling



HERMLE™ bimetallic part

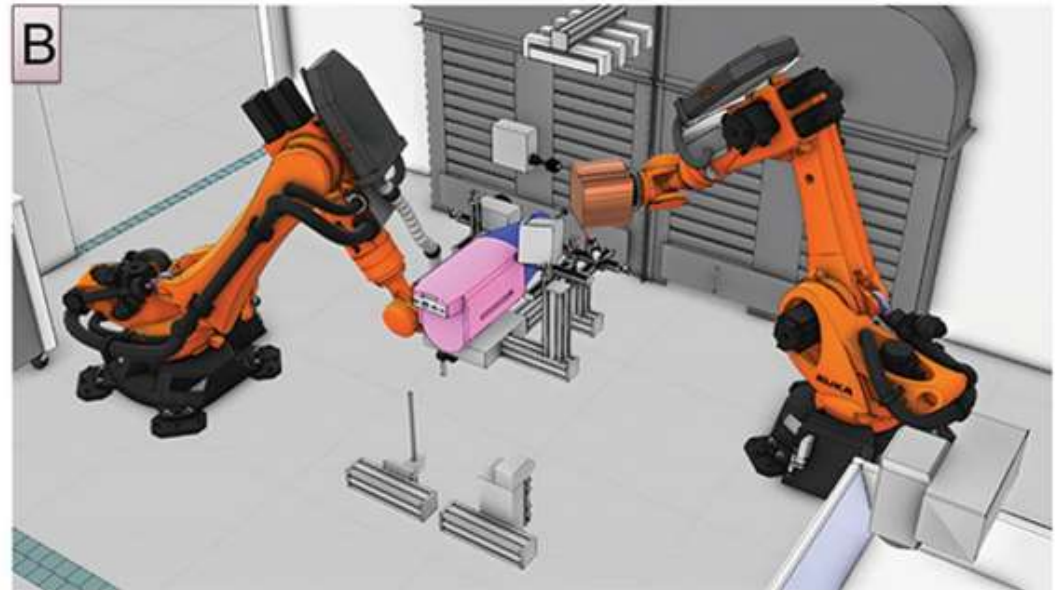


# COLD SPRAY ETAT DE L'ART ET PERSPECTIVES

## Les Machines sur mesure : POLYSCAN + NRC (Canada)



Un robot cold spray + Un robot dédié usinage

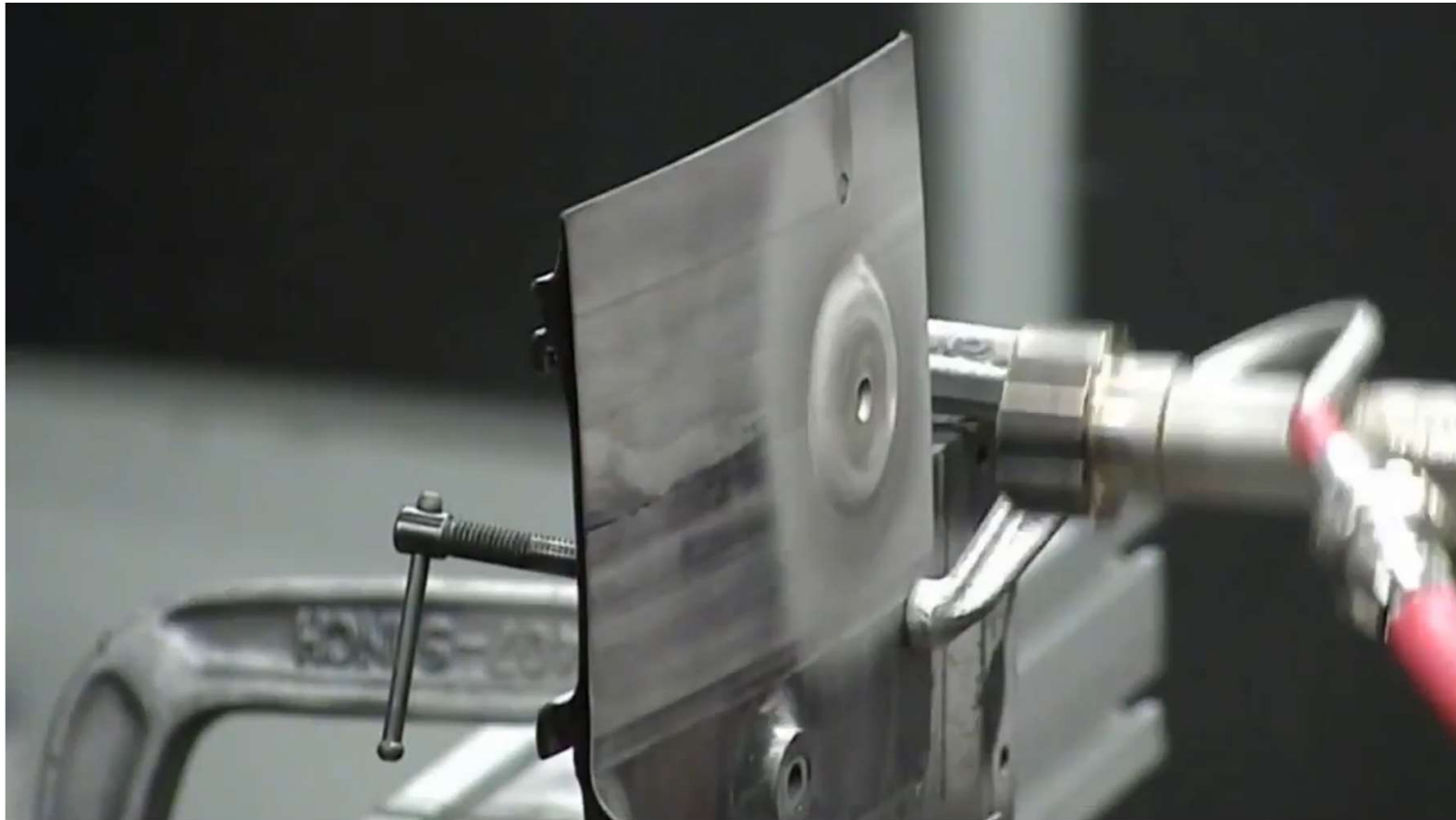


Un robot cold spray + Un robot dédié scanning dimensionnel laser

Source POLYSCAN + CNRC (Canada)



# COLD SPRAY ETAT DE L'ART ET PERSPECTIVES





# FABRICATION ADDITIVE PAR COLD SPRAY

## Caractérisation des objets

Seuls quelques matériaux ont été partiellement caractérisés :

- Propriétés mécaniques, propriétés physiques (Electriques, thermiques...) et anisotropie

A l'état brut et après TTH



# COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE

	CS Before HT	SLM	CS post HTA	CS post HT B	Bulk material* <small>TotalMateria</small>
UTS [MPa]	700	850	1250	1300	≥ 1240
El. [%]	0.5	11	8	15	≥ 12
$\sigma_Y$ [MPa]	-	580	1080	1000	≥ 1000

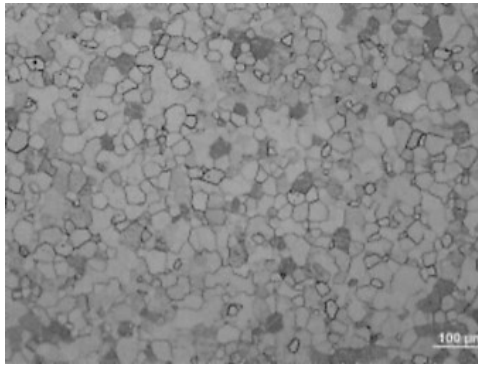
Propriétés mécaniques SLM vs Cold spray (CS)  
Inconel 718 avant et après traitement thermique

Source : Impact Innovations





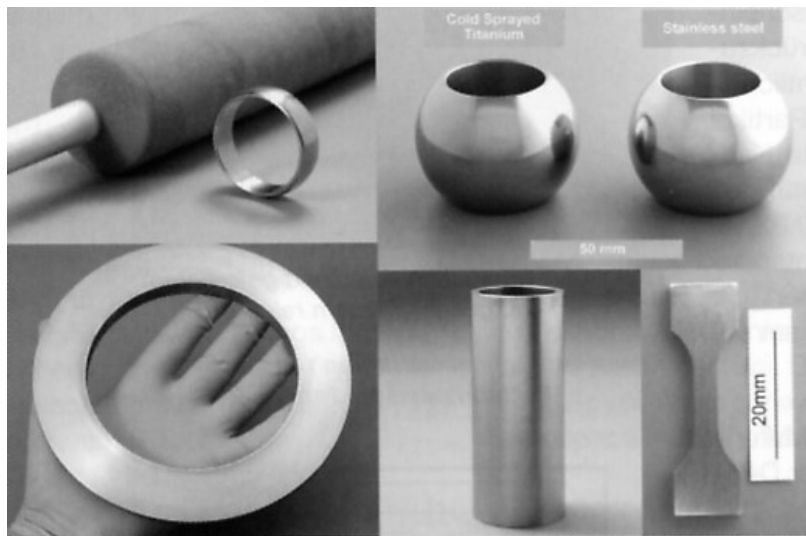
# COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE



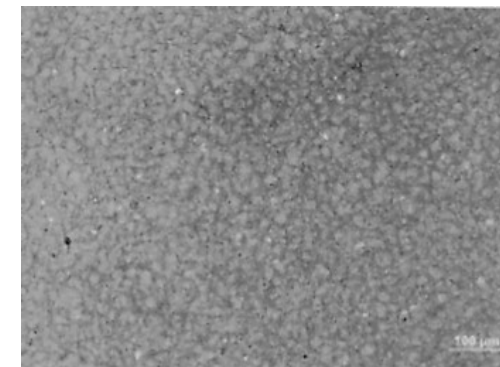
Micrograph of wrought  
Ti



Source : Impact Innovations



Source : CSIRO Australia



Micrograph of Cold  
Spray Ti block



# COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE



Préforme brute de projection-  
temps de fabrication = 2h30-  
Poids = 7 Kg- Matériau: Titane



Pièce finie

Source : Impact innovation



# COLD SPRAY – FABRICATION ADDITIVE



Préforme brute de  
projection- temps de  
fabrication = 8 heures  
Poids = 80 Kg- Matériau:  
INOX AISI 316 L et AISI  
430



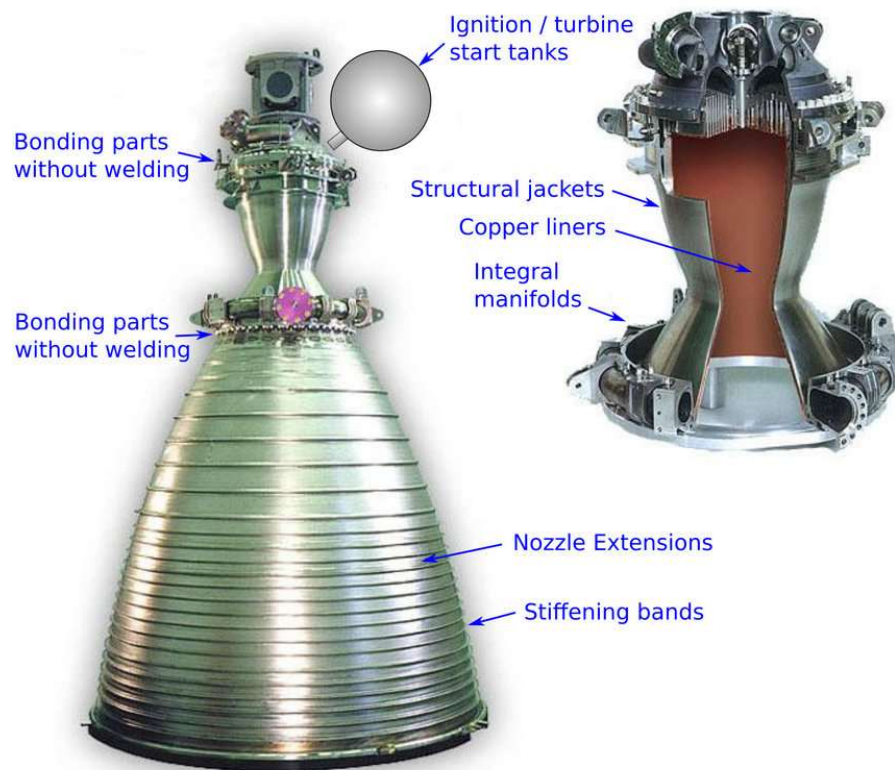
Pièce finie: 70 Kg

Source : Impact innovations



# COLD SPRAY ADDITIVE MANUFACTURING COMBUSTION CHAMBERS

## FA cold spray



Potential areas for cold spray additive  
manufacture in liquid rocket engines

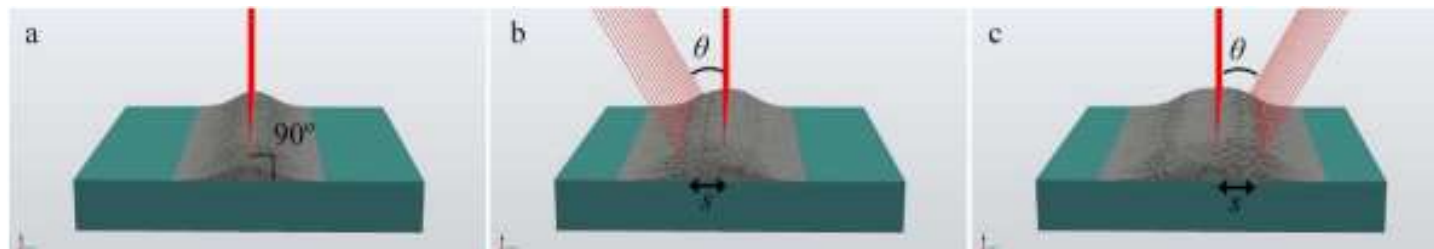
Source Impact innovations



# COLD SPRAY ETAT DE L'ART ET PERSPECTIVES

## Cold spray réparation et FA : gros potentiel mais

- Retard technologique / autres technique de FA (DED: WAAM) :
- Softs et de moyens de contrôle dimensionnels in situ spécifiques à développer ou en cours de développement (H4FAM)
- Absence de fusion: difficultés pour obtenir des pièces denses pour les alliages difficiles: Ta6V, Inconel 718 et programmation complexe (tessellation triangulaire)



Poudres spécifiques CSAM à développer (granulométries fines type 10-30 microns notamment pour Alu Haute Résistance



# COLD SPRAY ETAT DE L'ART ET PERSPECTIVES

## FA cold spray et réparation: gros potentiel mais

- Rendements parfois trop faibles : Alu séries 2000 et 7000 (besoins en TTH post atomisation pour l'améliorer )
- Maitrise des contraintes résiduelles dans certains dépôts : fissurations et décollements possibles
- Allongement faibles sur la plupart des alliages brut de dépôt: traitement thermique souhaitable
- Clogging buse possible pour certains alliages (Utilisation de buse polymère (PBI) lorsque température projection compatible)



**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

**VOS CONTACTS:**

**GUILLAUME EZO'O : EXPERT COLD SPRAY**

**TEL 0618057689- [GUILLAUME.EZOO@ICAR-CM2T.COM](mailto:GUILLAUME.EZOO@ICAR-CM2T.COM)**