



PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ COLD SPRAY

www.mallard-sa.fr

1

P. LEMEILLE p.lemeille@mallard-sa.com
02 32 84 12 80

PLAN

- Projection thermique par voie sèche Mallard
- Présentation du procédé Cold Spray
- Les différentes applications du Cold Spray
- L'expérience Cold Spray Mallard

PROJECTION THERMIQUE PAR VOIE SÈCHE MALLARD



- L'entreprise Mallard
- Les technologies de projection chez Mallard
- Quelques qualifications Mallard en projection
- Capacités

L'ENTREPRISE MALLARD



- Mallard a été créée en 1946

- Cœur de métier :

Réparation et travaux neufs sur pièce unitaire de forte valeur (grande masse, grande dimension, grande valeur)

- Niches et spécificités :

Projection thermique, Equilibrage, Rectification

L'ENTREPRISE MALLARD



○ L'équipe :

- Effectif : 35 personnes comprenant 7 ingénieurs dont 1 docteur en sciences des matériaux / projection thermique
- Moyenne d'âge : 40 ans
- Ancienneté moyenne : 20 ans

- Nos métiers
 - Usinage
 - Rectification
 - Chaudronnerie
 - Equilibrage
 - Machine Schenck grande capacité – 1° en France
 - Projection Thermique
 - Plasma
 - HVOF
 - Cold Spray
 - CND

- Moyens industriels uniques
- Compétences en réparations complexes dans des domaines multiples
- Compétences en travaux neufs pièces complexes
- ISO 9001 – EN 9100
- Nombreux agréments et qualifications clients
- Projection thermique
 - HVOF
 - Cold Spray (Développement, travaux neufs, Remise en état)
- CND – ressuage qualification aéronautique
- Compétences pour mener des développements, recherches et innovations
- Laboratoire de Métallurgie
- Réseau client diversifié dans des technologies de pointe très complémentaires
- Equipe opérationnelle à fort potentiel technique

LES TECHNOLOGIES DE PROJECTION CHEZ MALLARD

- Flamme fil (Oxygène – Acétylène)
- Flamme poudre (Oxygène – Acétylène)
- Refusion
- Arc électrique
- Plasma
- HVOF (High Velocity Oxy-Fuel)
- Cold Spray

QUELQUES QUALIFICATIONS MALLARD EN PROJECTION

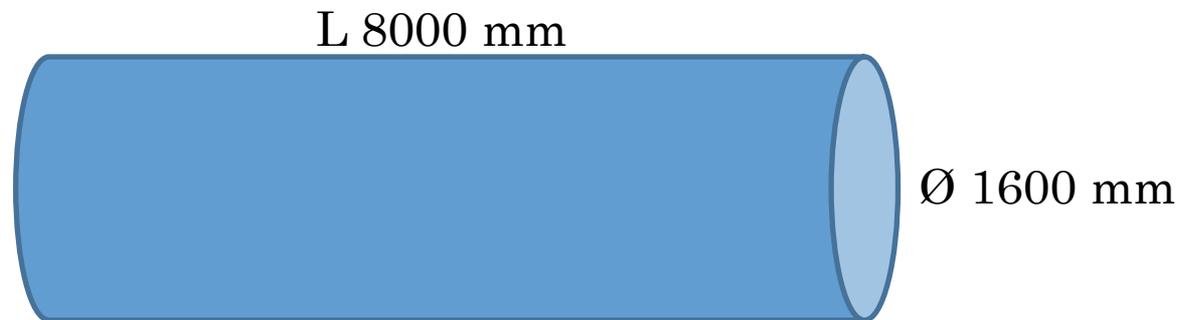


- Qualification Siemens / Dresser-Rand
Revêtements HVOF suivant spéc. 015-009-048
- Qualification General Electric Revêtements
Carbure de Chrome par HVOF
- Qualification COLLINS / UTC Aerospace Systems
Revêtements Cold Spray
- Qualification Schneider Electric
Revêtements Cold Spray suivant spéc. S1B2007700

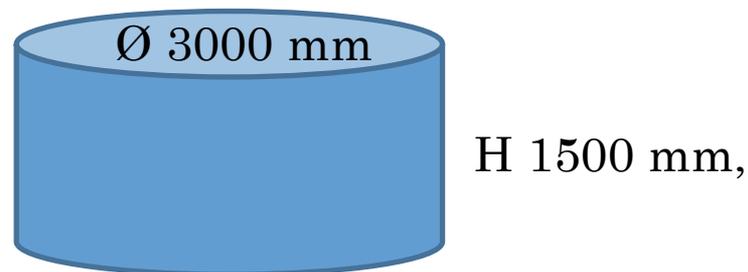
CAPACITÉS

- Métallisation

- Tour // :

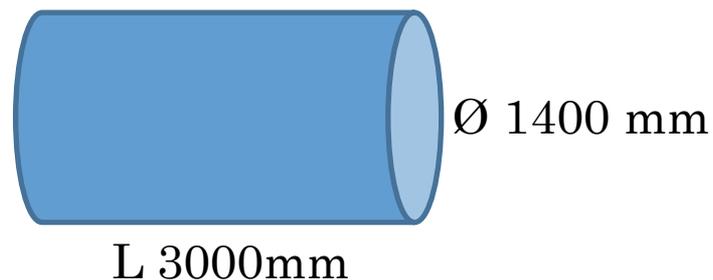


- Tour vertical :



- Cold Spray

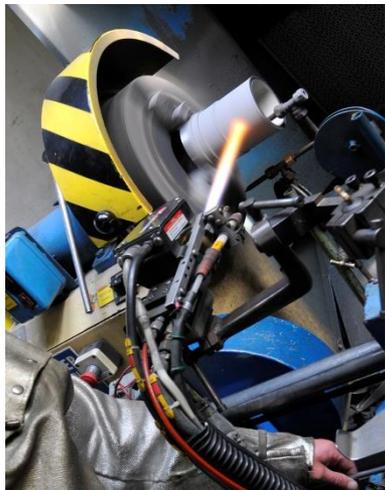
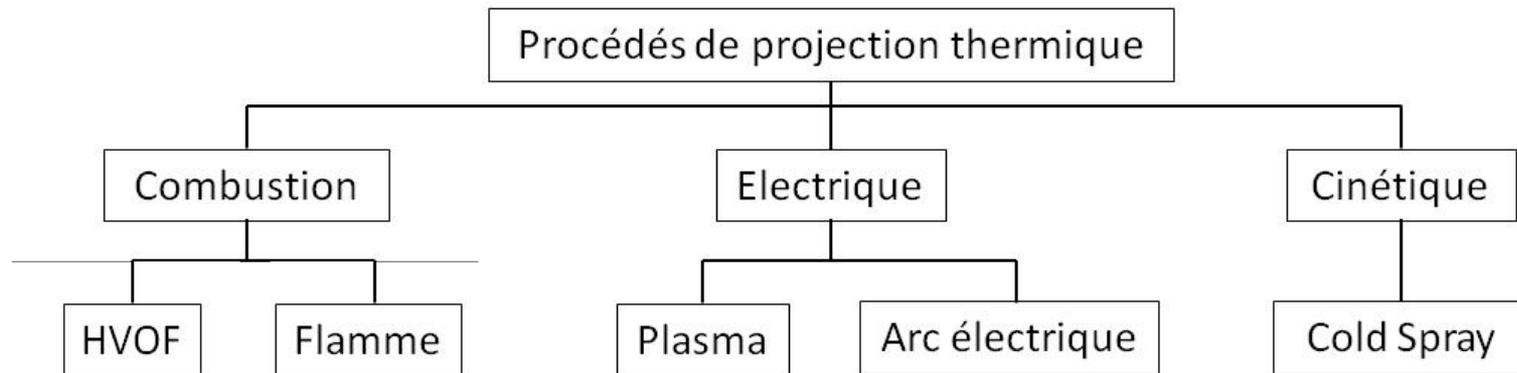
- Tour // :



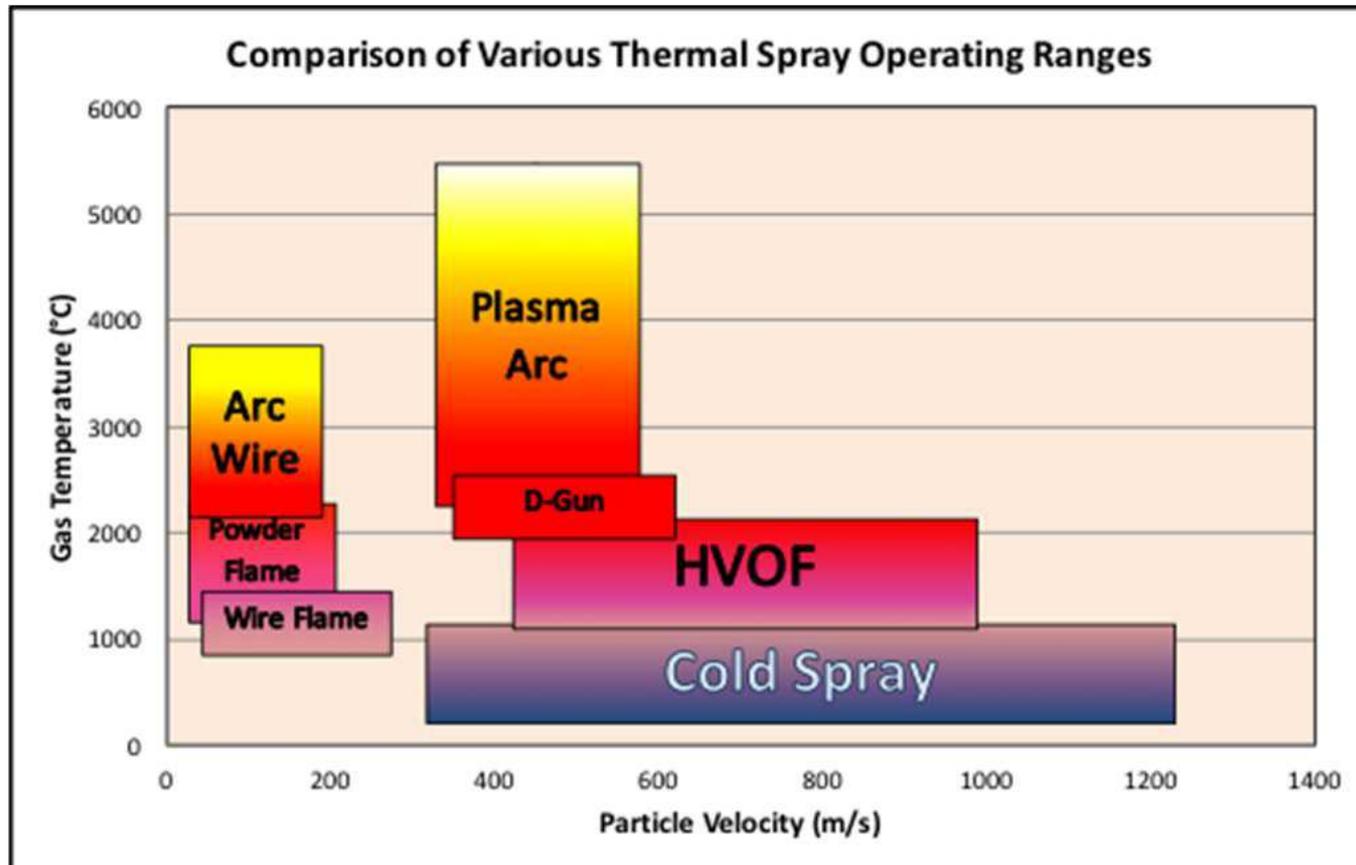
PRÉSENTATION DE LA TECHNOLOGIE COLD SPRAY

- ❑ Le Cold Spray parmi les technologies de projection
- ❑ Principe du Cold Spray
- ❑ Les paramètres de projection
- ❑ Avantages du Cold Spray
- ❑ Les différents types de Cold Spray
- ❑ Les matériaux projetables par Cold Spray
- ❑ Les substrats possibles
- ❑ Installation Cold Spray type
- ❑ Maitrise qualité

PLACE DU COLD SPRAY PARMI LES TECHNOLOGIES DE PROJECTION

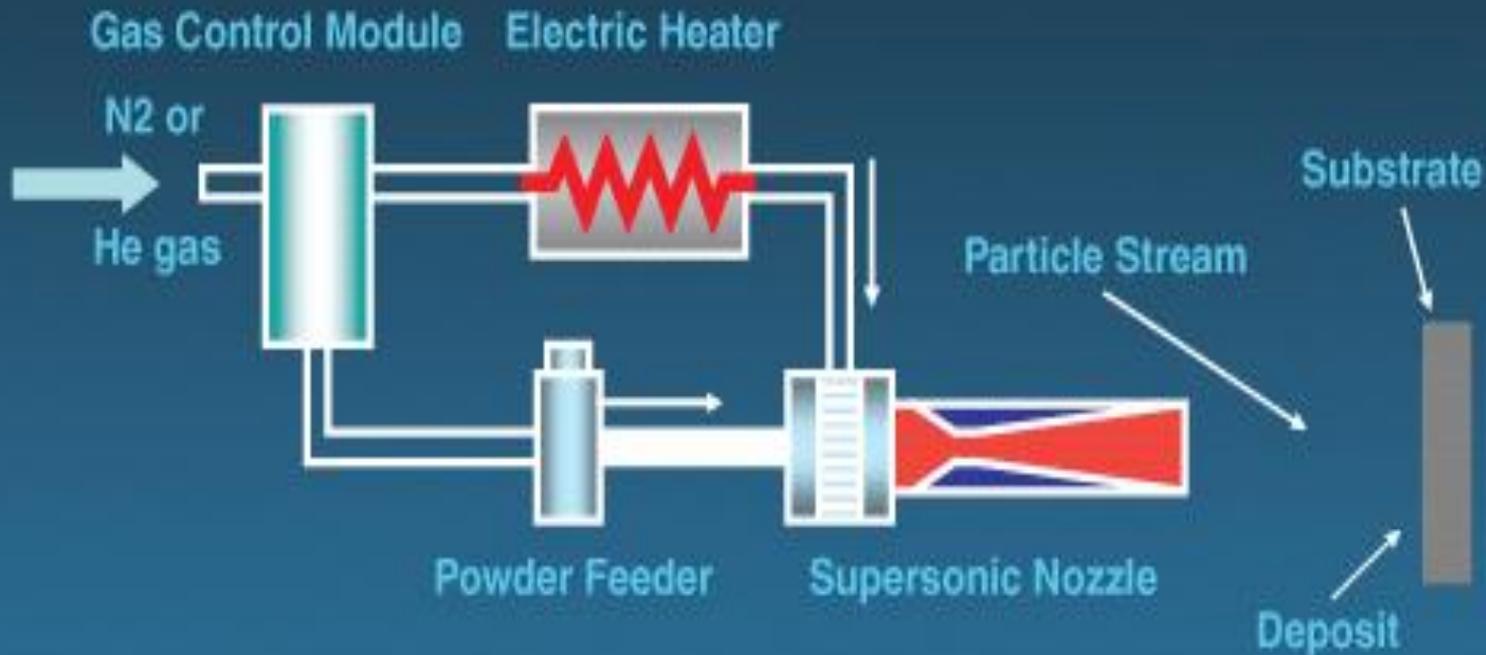


PLACE DU COLD SPRAY PARMI LES TECHNOLOGIES DE PROJECTION



PRINCIPE DU COLD SPRAY

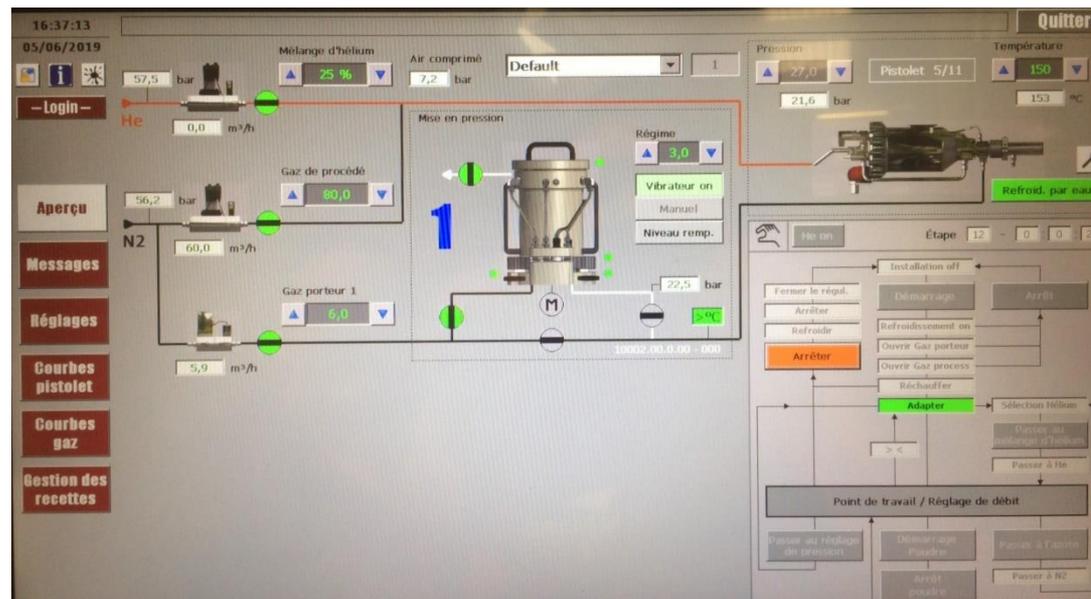
The Cold Spray Process



After the U.S. Army Research Laboratory (ARL), 2008

PARAMÈTRES DE PROJECTION

- Optimiser la vitesse des particules de poudres
 - Température du gaz (jusqu'à 1100°C)
 - Pression du gaz (jusqu'à 50 bar)
 - Nature du gaz (N2 ou He)



PARAMÈTRES DE PROJECTION

- Vitesse de projection (cinématique)
- Distance de projection
- Angle de projection
- Géométrie de la buse
- Propriétés de la poudre (composition, granulométrie, morphologie, prétraitement, ...)
- Propriétés du substrat (nature, dureté, ...)

AVANTAGES DU COLD SPRAY

- Pas de fusion de la matière

(pas de modification de la composition de la poudre, pas de changement de phase, pas d'oxydation)

- Pas d'impact thermique sur le substrat

- Faible taux de porosité

(très bonne conductivité thermique et électrique, compacité/étanchéité de la couche construite)

- Dureté élevée

(liée à l'écrouissage des particules)

AVANTAGES DU COLD SPRAY

- Peu de contraintes résiduelles

(fonction des couples substrat/dépôt, qui sont généralement en compression contrairement aux autres procédés de revêtement)

- Bonne adhérence

(meilleure que pour les autres procédés de projection thermique)

- Large gamme d'épaisseurs

(de 0,1 mm à plusieurs centimètres selon les matériaux)

- Rendement élevé

- Précision du jet

LES DIFFÉRENTS COLD SPRAY

- Les Cold Spray basse pression
 - Injection de la poudre dans la partie divergente de la buse (basse pression)
 - Pression allant jusqu'à 20 bars environ
 - Température maximale de 550°C du gaz
 - Possibilité d'utiliser de l'air
 - Matériaux très ductiles (Aluminium, Cuivre)
 - Possibilité d'utiliser un pistolet portable
 - Propriétés du dépôt médiocres

LES DIFFÉRENTS COLD SPRAY

- Les Cold Spray haute pression
 - Injection de la poudre dans la partie convergente de la buse (haute pression)
 - Pression maximale supérieure à 30 bars
 - Température maximale de 1100°C du gaz
 - Tous type de matériaux
 - Adapté à des problématiques industrielles
 - Possibilité d'utiliser un pistolet portable (600°C – 45 bars)
 - Propriétés du dépôt excellentes

LES MATÉRIAUX PROJETABLES PAR COLD SPRAY

- L'ensemble des matériaux métalliques
 - Aluminium et ses alliages
 - Cuivre et ses alliages
 - Nickel et ses alliages
 - Titane et ses alliages
 - Acier carbone et acier inoxydables (ferritiques, austénitiques, martensitiques, duplex...)
 - Métaux précieux (Or, Argent...)
 - Métaux rares (Tantale, Zirconium, Niobium, ...)

LES MATÉRIAUX PROJETABLES PAR COLD SPRAY

- Composites à matrice métallique (CMM)
 - Métal/polymère
 - PEEK, Polycarbonate, etc...

 - Métal/céramique
 - Carbure (B_4C , SiC , TiC , CrC , WC ...)
 - Oxydes (Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_4 , ZrO_2 ...)

Il est impossible de réaliser un dépôt de céramique
ou de carbure pur

LES SUBSTRATS POSSIBLES

- L'ensemble des matériaux dont la dureté est inférieure à 45 HRC environ
- Les matériaux synthétiques
 - Composites en fibre de verre
 - Composite epoxy / fibre de carbone
 - PEEK
 - PA46
- Le bois
- Les pierres

INSTALLATION COLD SPRAY TYPE

- Le Cold Spray est installé dans une cabine de projection dédiée équipée :
 - De parois anti bruit afin de limiter les nuisances sonores à l'extérieur de la cabine
 - D'un système d'aspiration permettant de récupérer les poussières de projection
 - D'un robot 6 ou 7 axes permettant de contrôler précisément la vitesse et la trajectoire du cold spray
 - D'un support de projection et d'un tour/vireur pour la mise en rotation des pièces
- Les poudres sont conservées dans des armoires chauffées ou dans une armoire sous azote

Projection Thermique = Procédés spéciaux

- Utilisation industrielle du procédé Cold Spray en 3 étapes :
 - La qualification de l'installation
(étalonnage et maintenance du matériel de la cabine)
 - La qualification opérationnelle
(qualification du personnel, le contrôle de la poudre et du gaz, la gestion des paramètres de projection et la maîtrise de la préparation de surface)
 - La qualification des performances
(Caractérisation mécanique, physico-chimique des revêtements)

La validation de ces 3 étapes permet ainsi de garantir le bon fonctionnement de l'installation Cold Spray et la qualité des dépôts réalisés.

LES PRINCIPALES APPLICATIONS DU COLD SPRAY

- ❑ Anticorrosion
- ❑ Conduction électrique
- ❑ Conduction thermique
- ❑ Réparation de pièces
- ❑ Fabrication additive

- Déposer un revêtement afin de protéger le substrat de la corrosion dans son environnement

- Revêtements :
 - Aluminium et alliages
 - Aciers inoxydables
 - Nickel et alliages
 - Tantale, Zirconium ...

CONDUCTION ELECTRIQUE

- Métallisation de substrats diélectriques (composites, polymères, ...) afin de les rendre conducteur.
- Métallisation de substrats conducteurs afin d'améliorer leur conduction.
- Principalement des revêtements en cuivre de quelques dixièmes d'épaisseur

CONDUCTION THERMIQUE

- Projection d'un revêtement afin d'améliorer la conduction de la chaleur ou les échanges thermiques.
- Principalement des revêtements en cuivre ou aluminium de 100 μ m à plusieurs mm.

○ Géométrie et dimensionnelle

- Remettre des pièces dans leur état dimensionnel et géométrique d'origine
- Le Cold Spray permet des réparations plus importantes (épaisseur) par rapport aux autres technologies de projection thermique
- Améliore la durée de vie des pièces en service

○ Structurelle

- Permet de regagner une partie des caractéristiques mécaniques de la zone endommagée (tenue au fluage, résistance à la fatigue, résistance mécanique...)
- Permet l'ajout de fonctionnalité (bride, fixation, tenon, raidisseur...)



FABRICATION ADDITIVE

- Elaboration de dépôts très épais
- Projection de la matière localisée et précise (peu de dispersion)
- Réalisation de pièce ou préforme « Near Net Shape »
- Possibilité d'assembler différents matériaux entre eux



NRC Canada



Impact Innovations

Assemblage Cold Spray de
Cu (avec micro-channels) + Ni

EXPÉRIENCES MALLARD

- ❑ Installation Cold Spray Mallard et ses accessoires
- ❑ Fournisseurs de poudre
- ❑ Laboratoire de métallographie
- ❑ Les projections Mallard
- ❑ Nos partenaires sur les projets R&D

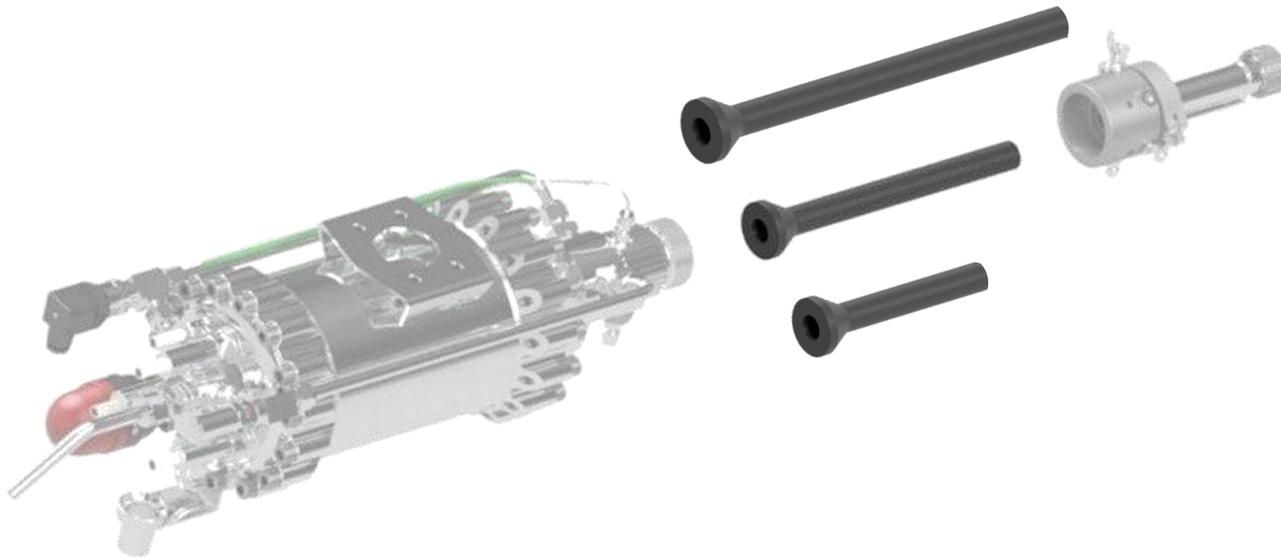
INSTALLATION COLD SPRAY MALLARD ET SES ACCESSOIRES

- Cold Spray 5/11 d'Impact Innovations installé en 2012
 - Système le plus performant (50 bars, 1100°C)



INSTALLATION COLD SPRAY MALLARD ET SES ACCESSOIRES

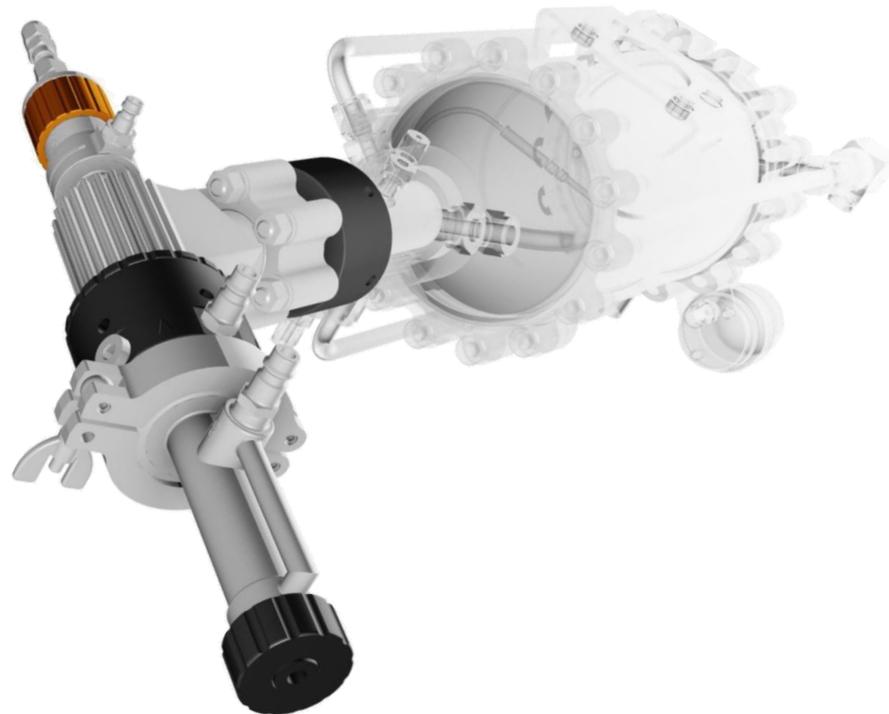
- Refroidissement par eau de la buse
 - Diminue fortement le colmatage des buses
- Différents types de buse
 - Fonction du matériau à projeter



INSTALLATION COLD SPRAY MALLARD ET SES ACCESSOIRES

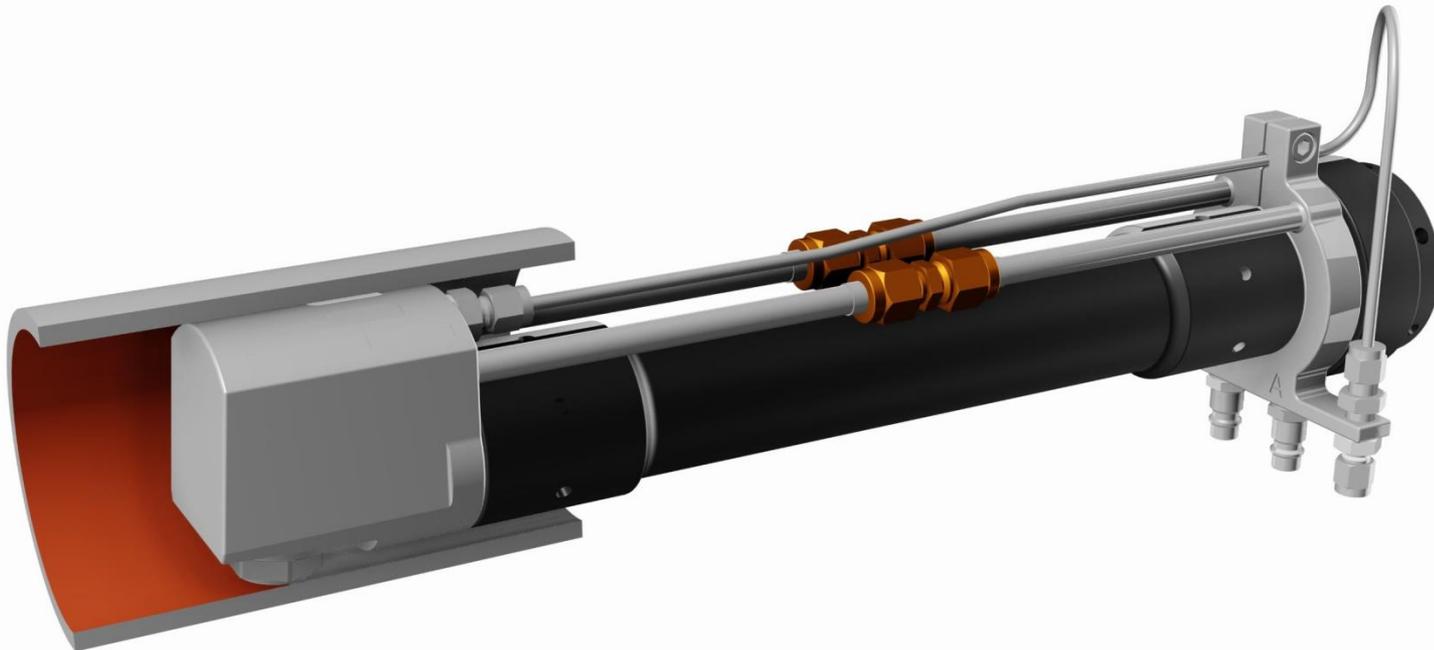
○ Injection centrale

- Positionnement précis de l'injection de poudre dans la zone haute pression
- Meilleur contrôle de la température des particules



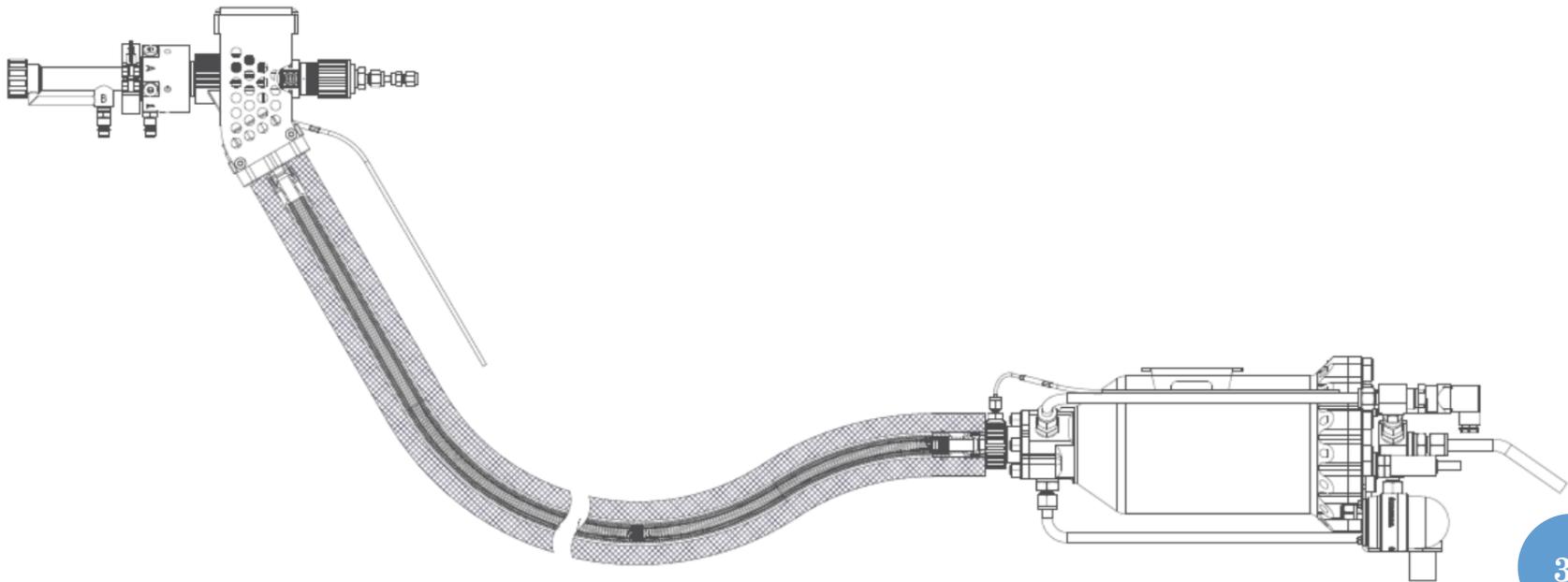
INSTALLATION COLD SPRAY MALLARD ET SES ACCESSOIRES

- Torche d'alésage
 - Projection dans des diamètres intérieurs (84 mm mini)
 - Longueur utile 300mm et + (rallonge)



INSTALLATION COLD SPRAY MALLARD ET SES ACCESSOIRES

- Cold spray portable HP (45 bars, 600°C)
 - Longueur de flexible de 2 à 5m



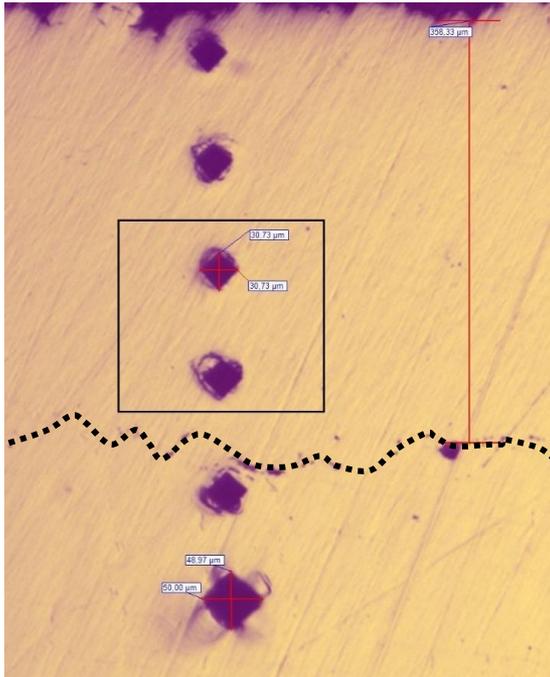
FOURNISSEURS DE POUDRE

- Sélection des poudres compatibles avec le Cold Spray chez les fournisseurs internationaux
 - couvre 95% des besoins clients

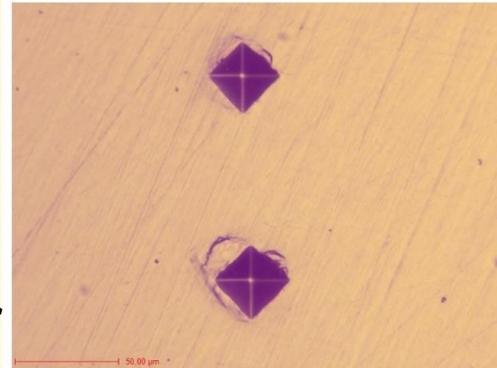
- Pour des applications spécifiques avec des matériaux rares ou « exotiques »
 - Atomisation de poudre à partir de matériaux massifs ou de recettes spécifiques



- Préparation métallographique
- Observation microscopique
 - Microstructure / Composition / Porosité ...
- Microdureté Vickers/Knoop
 - HV0.01 → HV2



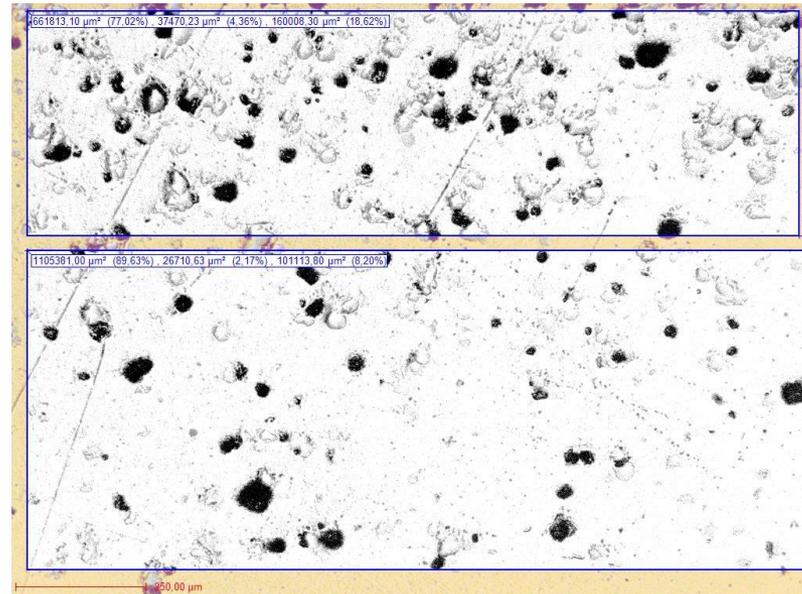
Filiation de dureté



Zoom sur les empreintes Vickers

Observation de l'évolution de la dureté sur l'épaisseur du dépôt et dans le substrat

Evaluation de la composition du revêtement par analyse d'image



MOYENS INDUSTRIELS UNIQUES

- **Equipements clefs et rares** (voire unique en France pour certains)
- Projection Cold Spray depuis 2012 (1^e en France) = expertise et expérience
- Projection HVOF
- Refusion
- Rechargement Arc Plasma Transféré
- Tour // CN de grande capacité
- Tour // de très grande capacité
- Rectifieuse cylindrique CN
- Rectifieuse cylindrique de très grande capacité (> 6000 mm, Ø 1600 mm, 20 T)
- Rectifieuse cylindrique inter (broche de 1500 mm, 15 T)
- Equilibreuse (12000 mm, 20 T, Ø 3400 mm)

