



**Dépôts sous vide  
Focus de 30 min  
sur les dépôts sous vide PVD/DLC**

**Webinar du 19 novembre 2020**



# PRESENTATION DES INTERVENANTS



**Amandine BELVITO**  
Chargée de communication  
Groupe THERMI-LYON



**Bernard SALVI**  
Directeur commercial et marketing  
Groupe THERMI-LYON

# PRESENTATION DES INTERVENANTS



**Vincent MERCIER**

Directeur des sites Thermi-Platin/Thermi-Bugey

# DEROULEMENT DU WEBINAR

- Présentation du Groupe par Bernard SALVI.
- Focus de 30 min sur les dépôts sous vide PVD/DLC par Vincent MERCIER.
- Possibilité de poser des questions à droite de l'écran dans l'onglet « questions » : nos experts consacreront 15 minutes à la fin du Webinar pour vous répondre.



# ORIGINE DU GROUPE THERMI-LYON

- Entreprise familiale créée en 1960 par M. Louis VILLARD et dirigée depuis plusieurs décennies par la famille MONIER.
- Site historique implanté à Lyon-Gerland d'où notre nom.
- Un des pionniers à l'origine du concept du traitement thermique à **façon** (auparavant les ateliers de traitement étaient intégrés chez les mécaniciens) : nous connaissons bien ce métier.

# STRATEGIE

- Proposer un panel complet de traitements thermiques et dépôts sous vide dans toutes les technologies pour une offre objective
- Une organisation adaptée pour chaque marché de nos clients (automobile/IATF 16949-aéronautique/NADCAP-médical/ISO 13485, outillage/réactivité)
- Indépendance financière
- Développement de nos propres technologies via notre service R et D (gamme **THERMI®**- et **PLATIN'®**-)



# → Le groupe THERMI-LYON (2019)



**180**

COLLABORATEURS

**+ 5 000**

CLIENTS

**100 %**

DES SITES  
CERTIFIÉS QUALITÉ

**+20 M€**

CONSACRÉS  
AUX INVESTISSEMENTS  
SUR LES 4<sup>ÈRES</sup> ANNEES

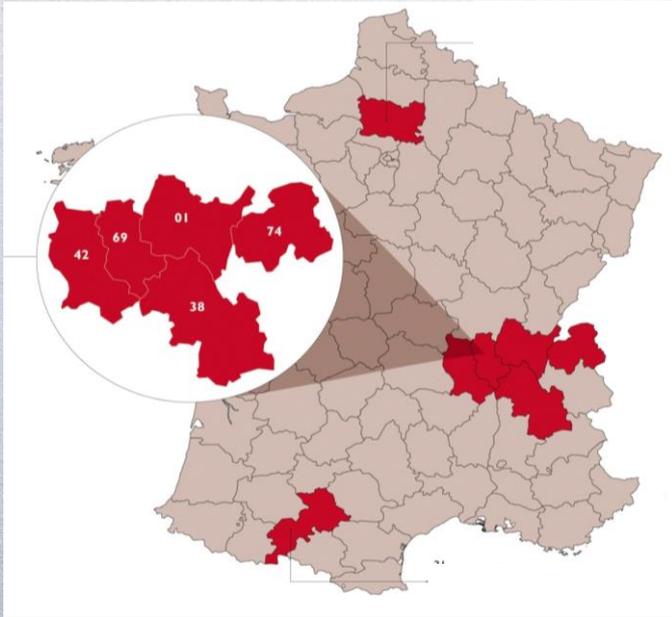
**25 M€**

DE CHIFFRE D'AFFAIRES

THERMI-LYON a su s'adapter aux évolutions de ses marchés en diversifiant ses champs d'application. Aujourd'hui, le groupe fait figure de référence dans le traitement thermique et des revêtements sous vide.

- 8 sites nationaux
- 1 site à l'international (Roumanie)

# IMPLANTATIONS: service de proximité



- ➔ 60-THERMI-PICARDIE
- ➔ 69--THERMI-LYON
- ➔ 42-THERMI-LOIRE
- ➔ 01-THERMI-BUGEY
- ➔ 38-INFRA-THERM
- ➔ 74-TREMPELEC
- ➔ 74-THERMI-PLATIN
- ➔ 31-THERMI-GARONNE
- ➔ Roumanie (Deva)THERMI-METALURGICA

# → Notre savoir faire



## COMBINER

selon l'objectif performance/coût recherché, les propriétés :

- **De surface** : par revêtement PVD, PACVD (PECVD), et DUPLEX.
  - **Superficielles** : par cémentation, nitruration ou trempe par induction.
  - **À cœur** : par trempe, revenu, hypertrempe, recuit, stabilisation.
- **Technologies**: Atmosphères contrôlées, Plasma, Vide, bains de sels, induction

Spécialiste en « surface engineering »

Nous créons de nouveaux matériaux de surface

REVÊTEMENTS	TRAITEMENTS SUPERFICIELS	TRAITEMENTS DANS LA MASSE
Dépôts durs :	Cémentation THERMI®-CARB	Trempe Stabilisation
- À base de Ti	Carbonitruration	Revenu Détentionnement
- À base de Cr	Nitruration	Recuit Globulisation
- À base de Ti + Al	Nitrocarburation THERMI®-NITROX	Hypertrempe Durcissement
- À base de Ti + Al + Cr	(post-oxydation)	Vieillessement
- À base de Ti + Si	Sulfonitrocarburation TRIONIC 100®	
Couche tribologique :	Durcissement des THERMI®-SP	
Base carbone (DLC-WCC)	aciers inoxydables	
THERMI®-DLC	Trempe superficielle	

“DUPLEX”

## LES MARCHÉS D'INTERVENTION DU GROUPE THERMI-LYON

- **Outillage**  
*Fiabilité et longévité, comme impératifs de fonctionnalité.*
- **Composants**  
*Valorisation de la pièce mécanique pour vous faire gagner en compétitivité.*
- **Sports et loisirs**  
*Des solutions globales afin d'améliorer la fiabilité et la sécurité des matériaux.*
- **Médical**  
*Développer des revêtements techniques propres et biocompatibles.*
- **Aéronautique**  
*Respecter les impératifs de "On time delivery" et de "On time quality".*
- **Automobile**  
*Gagner en productivité en optimisant la consommation énergétique des process.*

# SOMMAIRE :

## RAPPELS

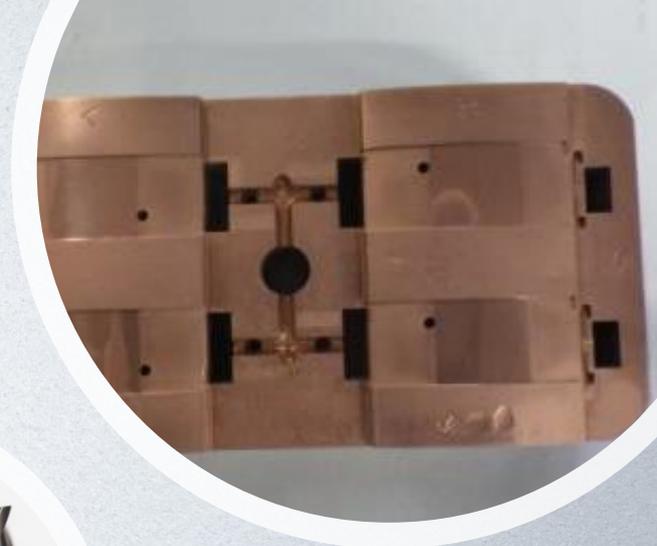
- Généralités
- Les technologies de dépôts sous vide
- Principes des dépôts PVD et DLC
- Mise en œuvre

## FOCUS SUR DIFFERENTES APPLICATIONS

- Outils coupants : dépôts pour usinage dur
- Mise en forme des métaux : les traitements DUPLEX
- Injection plastique : résistance à l'injection des matières chargées
- Applications médicales en implantologie dentaire

# CARACTERISTIQUES DES DEPÔTS SOUS VIDE PROPOSES PAR THERMI-PLATIN

- Ces dépôts améliorent les propriétés de surface des matériaux
- Couches minces de 1 à 6 µm déposées dans des enceintes sous vide
- Dureté élevée : 2000 à 4000 HV voire plus
- Structures complexes constituées au minimum d'une couche d'accroche et d'une couche fonctionnelle
- Famille de dépôts dont les différentes compositions chimiques permettent d'obtenir des propriétés physiques variées



# TECHNIQUES DE DEPOTS



→ Ces revêtements peuvent s'obtenir par plusieurs types de technologies de dépôts sous vide.

→ 3 sont utilisées chez Thermi-Platin :

- le **PVD (Dépôt Physique en Phase Vapeur) par évaporation par arc**
- le **PVD par pulvérisation Magnétron**
- le **PACVD (Dépôt Chimique en Phase Vapeur assisté par Plasma)**

Ces technologies permettent de réaliser 2 familles de dépôts :

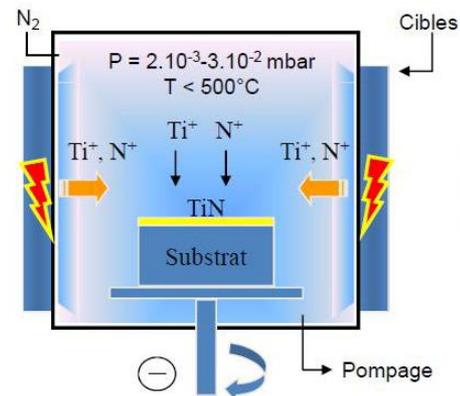
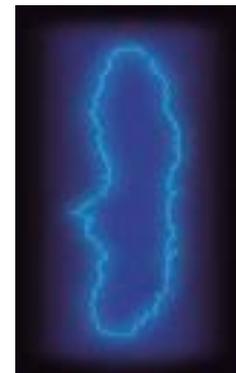
- les dépôts métalliques déposés par PVD arc ou Magnétron
- les dépôts DLC déposés par PVD magnétron + PACVD

# LES DEPOTS PVD

## (PVD : Physical Vapor Deposition)

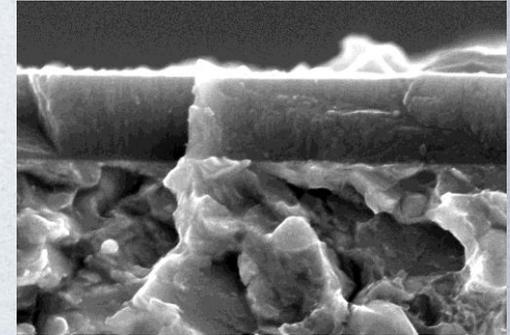
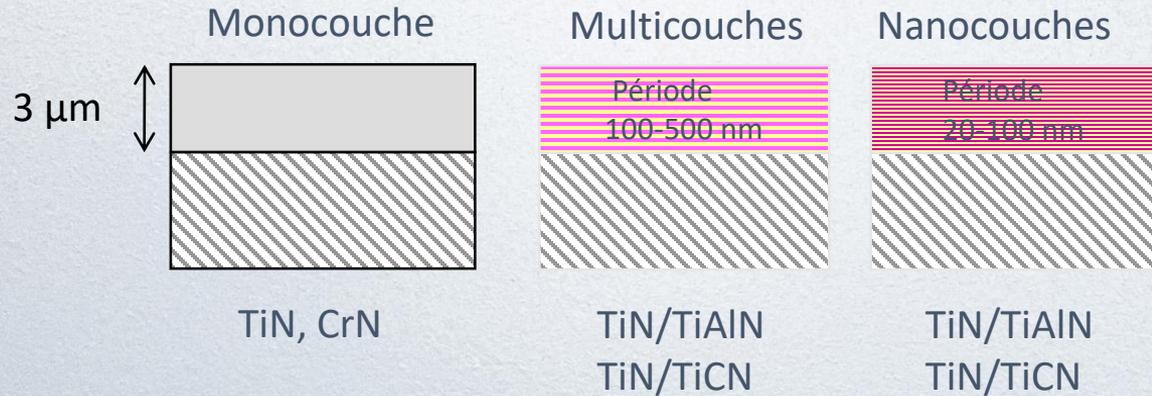
- L'objectif de cette technique est de combiner sous vide et en température des matériaux évaporés et des gaz pour obtenir des dépôts de compositions adaptées aux propriétés recherchées.
  - Les matériaux métalliques (Ti, Cr, AlTi...) sont évaporés via des cibles grâce à un arc électrique ou un magnétron.
  - Les gaz ( $C_2H_2$ ,  $N_2$ ) sont injectés dans l'enceinte.
  - Sous l'effet d'une tension, les particules sont ionisées (plasma) puis sous l'effet du champ électrique attirées par les pièces polarisées.
- ➔ Exemple de dépôts obtenus après recombinaison :
- Nitrures dans le cas de l'azote : TiN, AlTiN, AlCrN...
  - Composés carbonés : TiC, WCC
  - Combinaisons : TiCN, AlTiCN

Déplacement d'un arc électrique sur une cible métallique



# DIFFERENTES STRUCTURES POSSIBLES EN PVD

Les principales :

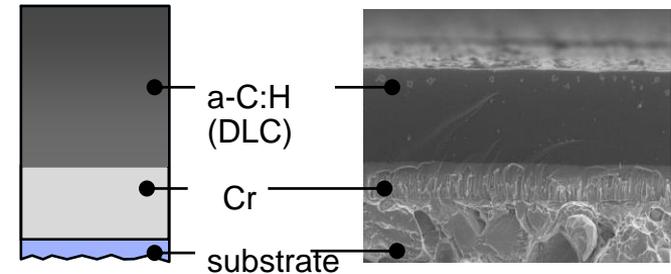


Les dépôts composés de plusieurs matériaux : AlTiN, AlCrN, AlTiSiN sont de structures multicouches. L'intérêt est de pouvoir utiliser des matériaux extrêmement durs tout en limitant les contraintes dans la couche.

# LES DEPOTS DLC (DLC : Diamond Like Carbon)

- Dépôt de Carbone Amorphe Hydrogéné (a-C:H)  
Revêtement tribologique à bas coefficient de frottement
- Ces dépôts sont obtenus par l'enchainement de 2 étapes utilisant des technologies complémentaires :
  - Le PVD magnétron pour réaliser la sous-couche d'accroche de très faible rugosité.
  - Le PACVD pour réaliser la couche fonctionnelle de DLC.
- Assez proche de la technologie PVD, le PACVD utilise uniquement un gaz carboné qui se décompose sous l'effet d'une tension. Les espèces créées se recombinent à la surface des pièces pour former le film de DLC.

Magnétron  
Sputtering en  
fonctionnement sur  
une cible



# COMPARATIF CARACTERISTIQUES PVD / DLC



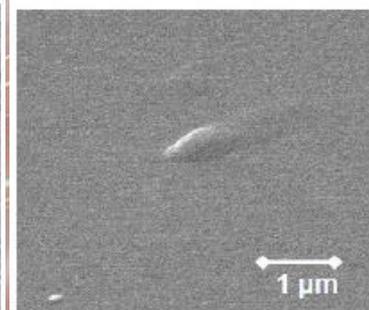
	TiN (PVD arc)	AlTiN (PVD arc)	CrN (PVD Magnétron)	DLC (a-C:H)
Microdureté	2500 HV	3800 HV	2000 HV	2200 HV
Coefficient de frottement	0.55	0.7	0.3	0.08
T°C de réalisation du dépôt	250 à 450°C	450°C	220°C	180 à 220°C
T°C maximum d'utilisation	550°C	800°C	650°C	350°C



PVD Arc Evaporation  
1000 X  
TiN



PVD Ion/Sputter Beam  
1000 X



PACVD  
~5000 X  
DLC

# MISE EN OEUVRE



Pièces positionnées sur un carrousel puis placées dans une enceinte sous vide ( $10E-5$  mbar)

## → Les paramètres à maîtriser :

- Pression
- Température
- Débits de gaz
- Intensité cibles
- Tension de Bias

# SYNOPTIQUE DU PROCESS DE DÉPÔT



## NETTOYAGE

- Lavage pièces positionnées
- Choix de l'équipement

## PREPARATION DES PIÈCES

- Dégazage, sablage, polissage, préparation d'arêtes dans le cas des outils coupants

## MONTAGE

- Pièces positionnées = pas de traitement en vrac
- Outillages adaptés à chaque typologie de pièces

## DEPOT

- Pompage jusqu'à  $10E-5$  mbar
- Phases de préparation au dépôt
- Chauffage des pièces
- Dépôt PVD à  $10E-2$  mbar

Un seul cycle qui peut comporter jusqu'à 50 étapes successives

## CONTRÔLE QUALITE

- Contrôle visuel
- Contrôle épaisseur sur pièces
- Contrôle adhérence

**LES ETAPES DE PREPARATION ET LES OUTILLAGES DE  
TRAITEMENT SONT SOUVENT LA CLE DU SUCCES EN DEPOT**

## Dépôts Métalliques

Type de dépôts : TiN, TiCN, AlTiN...

Technologie utilisée : PVD

Température de traitement : 250 à 450°C

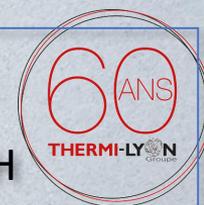
Caractéristiques principales :

- Haute dureté : 2000-4000HV
- Tenue à chaud : jusqu'à 1200°C
- Forte adhérence du revêtement sur la pièce
- Epaisseur de 1 à 6 µm

Application principale :

- Résistance à l'usure abrasive

## Dépôts DLC



Type de dépôts : dépôts type a-C:H

Technologie utilisée : PVD magnétron pour la sous-couche + PACVD pour le DLC.

Température de traitement : 180°C à 200°C

Caractéristiques principales :

- Dureté élevée : 2200HV
- Bas coefficient de frottement : 0,08
- Très faible rugosité
- Epaisseur de 1 à 5 µm

Applications principales :

- Amélioration du glissement
- Limitation des phénomènes de grippage collage

# FOCUS SUR LES DIFFERENTES APPLICATIONS

# OUTILS COUPANTS

- ➔ Objectif dépôt : allongement de la durée de vie des outils.
  
- ➔ Pièces revêtues : forets, fraises, alésoirs, tarauds, plaquettes, outils de forme – carbure ou acier rapide.
  
- ➔ En plus de la géométrie, du type d'outil et des conditions de coupe, le dépôt doit permettre l'optimisation des performances en répondant aux problématiques suivantes :
  - Usure abrasive
  - Oxydation à chaud
  - Phénomène de diffusion
  - Tenue en température
  - Collage/Adhérence (arête rapportée) : inox, Titane, Aluminium notamment
  - Chocs mécaniques



# GAMME OUTILS COUPANTS

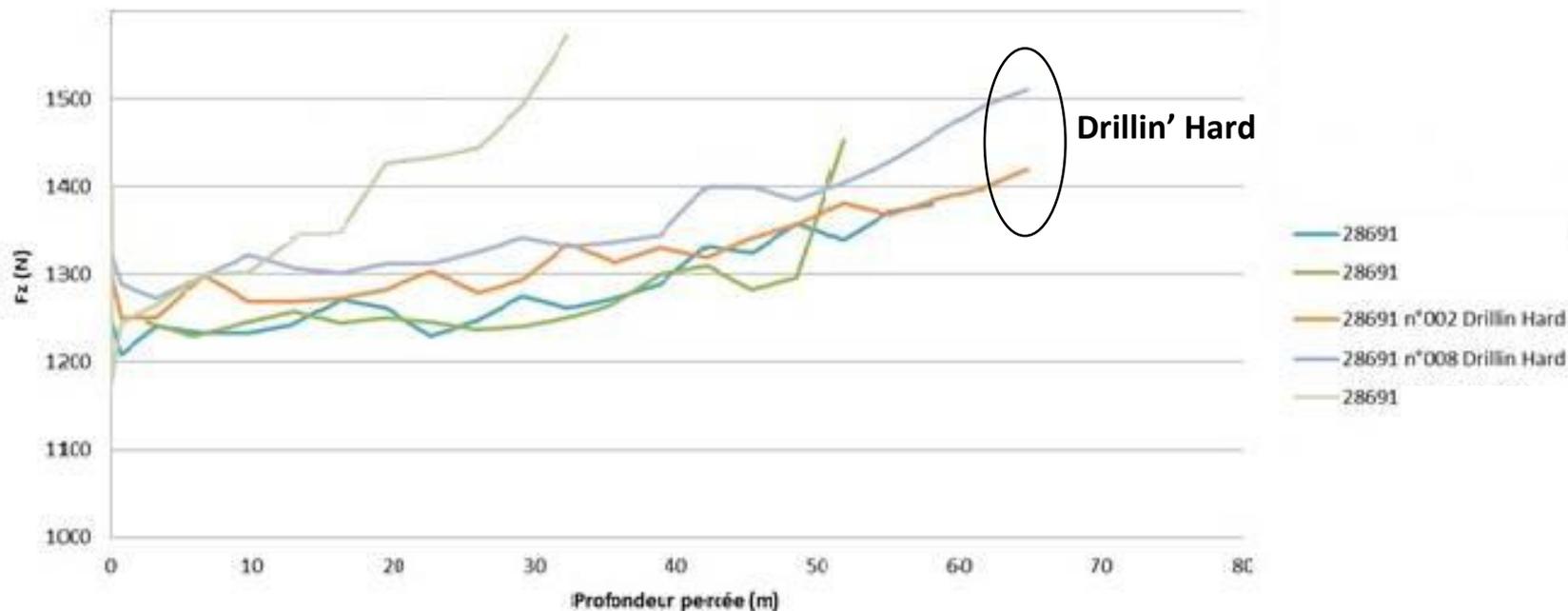
			Matières usinées							
	DEPOT	Domaine d'application	Aciers faiblement alliés	Aciers < 55HRC	Aciers > 55 HRC	Fonte	Inox	Aluminium	Titane	Inconel
Usinage classique	CUTTIN' UNIVERSAL	Bonne tenacité. Idéal pour outils HSS et plaquettes carbure.	X							
	CUTTIN' BLAHKCUT	opérations de perçage et fraisage. Convient pour les aciers faiblement alliés.		X						
	CUTTIN' PERFSTEEL	opérations de perçage et fraisage. Bonne tenacité. Convient pour les aciers < 55HRC.		X						
	CUTTIN' PERFINOX	Usinage Inox					X			
UGV	DRILLIN' HARD	Très haute tenue en température. Idéal pour le perçage grande vitesse ou sous faible lubrification.		X	X	X				
Usinage matières spéciales	CUTTIN' TITAN	Usinage Inox, Titane, nickel, Inconel					X		X	X
	CUTTIN' ALU	Usinage Aluminium						X		

# EXEMPLE DE L'USINAGE GRANDE VITESSE

- Problème rencontré lors de l'UGV :
  - forte élévation de température → oxydation du dépôt → chute de dureté
- Pièce traitée : foret carbure monobloc diamètre 8 mm
- Profondeur percée : 32 mm
- Dépôt proposé pour l'opération de perçage : Drillin' Hard
- Dureté : 3300 HV
- Epaisseur déposée : 3  $\mu\text{m}$
- Dépôt multicouches contenant du Silicium qui permet une stabilité des caractéristiques du dépôt à des températures  $> 1200^{\circ}\text{C}$ .
- Post polissage des forets après dépôt pour diminuer la rugosité et limiter l'échauffement en favorisant l'évacuation des copeaux.



## Evolution de l'effort axial et de la profondeur percée (cumul) en fonction du revêtement



(conditions : perçage  $\varnothing 8$ , 4 fois le diamètre, lubrification huile soluble par le centre outil 30 bar, acier 40CrMnMo8)

# OUTILLAGE DE MISE EN FORME

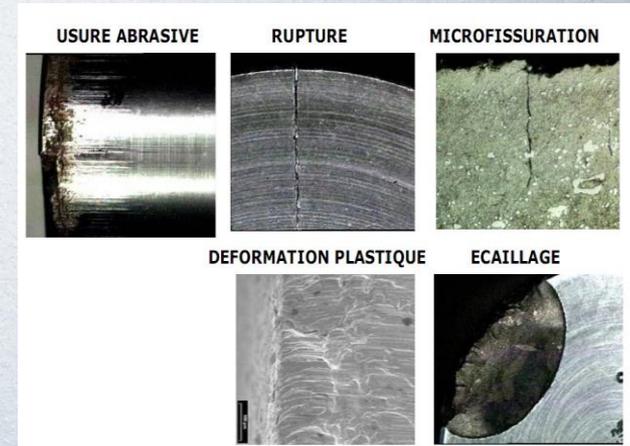
➔ Objectif dépôt : allongement de la durée de vie des outils

➔ Pièces revêtues : matrices, poinçons

➔ Problématiques :

- Usure abrasive
- Collage
- Grippage
- Tenue en température

➔ fatigue thermique dans le cas de l'emboutissage à chaud.



## GAMME MISE EN FORME

	DEPOT	Domaine d'application	Matériaux mis en forme			
			ACIER	INOX	ALU	Cuivre écroui
<b>EMBOUTISSAGE</b>	STAMPIN' DEEPPFORM	Version améliorée du classique CrN. Dureté plus élevée.	<b>X</b>	<b>X</b>		
	STAMPIN' SLIDE	Particulièrement adapté à l'emboutissage de l'inox. Evite le grippage.		<b>X</b>		
	STAMPIN' FORM*	Emboutissage de tôles épaisses > 2mm. La version duplex permet d'optimiser les performances de ce dépôt.	<b>X</b>			
	STAMPIN' MULTIFORM*	Revêtement haute performance polyvalent.	<b>X</b>	<b>X</b>		
	MAGSLIDE DLC	Emboutissage de tôles fines en aluminium		<b>X</b>	<b>X</b>	
	STAMPIN' ALU	Emboutissage de tôles épaisses en aluminium			<b>X</b>	
<b>DECOUPE</b>	STAMPIN' HARDSLIDE	Le revêtement pour toutes les opérations de découpe / poinçonnage	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

\* Utilisable en emboutissage à chaud

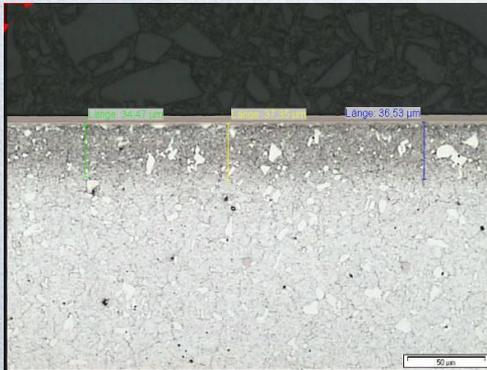
# LES TRAITEMENTS DUPLEX

Combinaison d'une nitruration et d'un dépôt PVD ou DLC

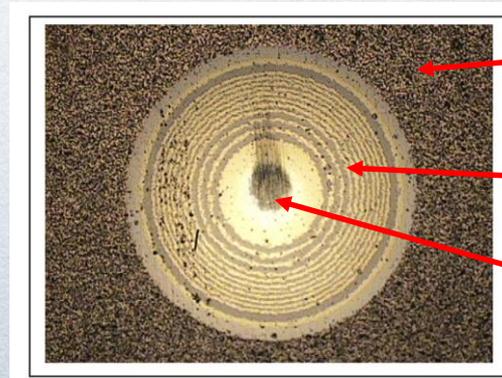
Permet un gradient de dureté entre la surface de la pièce et le dépôt:

- adhérence améliorée

Exemple d'un dépôt DUPLEX FORM in-situ réalisé sur un poinçon d'emboutissage :



Couche de nitruration : 40 µm



Epaisseur de dépôt : 6 µm  
(usure par Calotest)

Surface du dépôt

Structure multicouche

Substrat (Acier)

Acier : X156CrMoV12

# RESULTAT OBTENU (TEST DE RAYURE) : DUPLEX FORM



**Critical Load: 1**

Load: 27.86 [N] Position: 1.372 [mm]  
Magnification : 200 x

**Comments:**  
AITICN  
PD1809-157  
3.6 µm



**Critical Load: 2**

Load: 35.45 [N] Position: 1.726 [mm]  
Magnification : 200 x

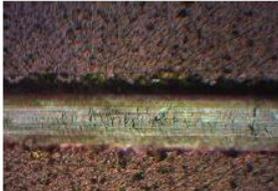
**Comments:**  
N/A



**Critical Load: 3**

Load: 44.48 [N] Position: 2.207 [mm]  
Magnification : 200 x

**Comments:**  
N/A



Pièce non nitrurée (épaisseur du dépôt : 4 µm) :

**Ecaillage du dépôt à 44 N**

**Critical Load: 1**

Load: 29.33 [N] Position: 1.406 [mm]  
Magnification : 200 x

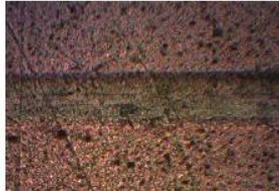
**Comments:**  
DUPLEX AITICN  
PD1808-79  
7.8 µm



**Critical Load: 2**

Load: 51.17 [N] Position: 2.520 [mm]  
Magnification : 200 x

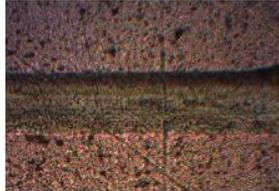
**Comments:**  
N/A



**Critical Load: 3**

Load: 66.87 [N] Position: 3.347 [mm]  
Magnification : 200 x

**Comments:**  
N/A



Pièce nitrurée (épaisseur du dépôt : 6 µm) :

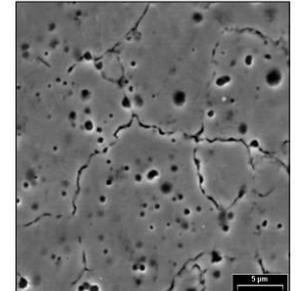
**Pas d'écaillage constaté à 67 N**

➤ Sur la version DUPLEX : pas d'écaillage du dépôt / meilleure résistance à l'usure abrasive

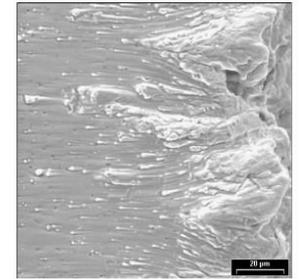
# INJECTION PLASTIQUE

- ➔ Objectif dépôt : allongement de la durée de vie des outils
- ➔ Pièces revêtues : empreintes et périphériques de moules
- ➔ Problématiques :
  - Usure abrasive
  - Adhérence
  - Corrosion par gaz chlorés
  - Grippage / frottement
  - Combinaison

Dégradation par corrosion



Abrasion et déformation plastique



# GAMME INJECTION PLASTIQUE

DEPOT	Domaine d'application	Propriétés recherchées					
		Démoulage	Résistance à la corrosion par gaz	Polyvalence	Glissement	Résistance à l'abrasion matières faiblement chargées (<30%)	Résistance à l'abrasion matières fortement chargées (>30%)
MOLDIN' WEAROX	Supérieur au classique CrN pour répondre aux problématiques d'oxydation par gaz chlorés.	X	X				
MOLDIN' FORM	Revêtement polyvalent qui améliore la résistance à l'usure abrasive lors de l'injection de matières chargées jusqu'à 30%			X		X	
MAGSLIDE DLC	Limite les phénomènes de grippage sur tous les périphériques moules en mouvement	X (selon matière)			X		
MOLDIN' HIGHLOAD	Revêtement haute performance. Améliore la résistance à l'usure abrasive lors de l'injection de matières fortement chargées.						X

# EXEMPLE DE L'INJECTION DE MATIÈRES FORTEMENT CHARGÉES



Problème rencontré lors de l'injection de matières fortement chargées : forte abrasion liée à la fibre de verre

Pièce traitée : Empreinte en X38CrMoV5 - Matière injectée : PA 50% chargé fibre de verre



Etat initial



Préparation spécifique avant traitement



Empreinte revêtue

**Dépôt proposé : MOLDIN' HIGHLOAD** développé en collaboration avec le client

**Dureté : 3500 HV**

**Epaisseur : 4  $\mu$ m**

**Dépôt Duplex multicouche** constitué d'une succession de couches de très haute dureté.

**RESULTAT** : plus d'un million de pièces injectées. Durée de vie du moule multipliée par 4.

# MÉDICAL



- ➔ Objectif dépôt : technique ou aspect visuel
- ➔ Pièces revêtues : pièces implantées ou outillages (ancillaires...)
- ➔ Problématiques :
  - Différenciation des outils
  - Résistance à l'usure abrasive
  - Grippage



# DÉPÔTS ET DISPOSITIFS MÉDICAUX



## Les dépôts

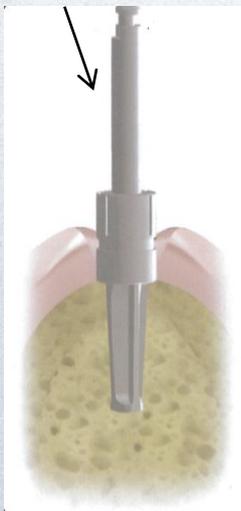
**Gamme PLATiN® MEDI : TiN, ZrN, AlTiN, WCC, DLC**

- Biocompatibilité des revêtements
- Certifications médicales : ISO 13485
- Atelier et organisation dédiés



# LES DÉPÔTS EN IMPLANTOLOGIE DENTAIRE

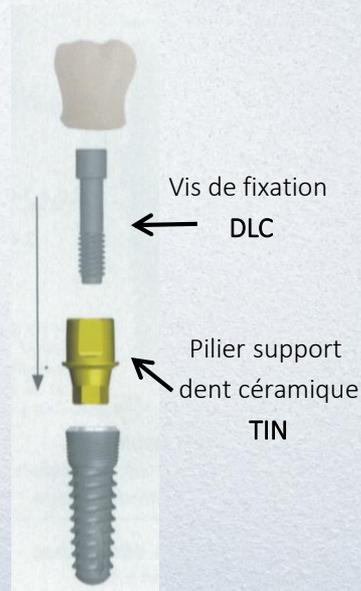
Alésoir / foret  
WCC / DLC



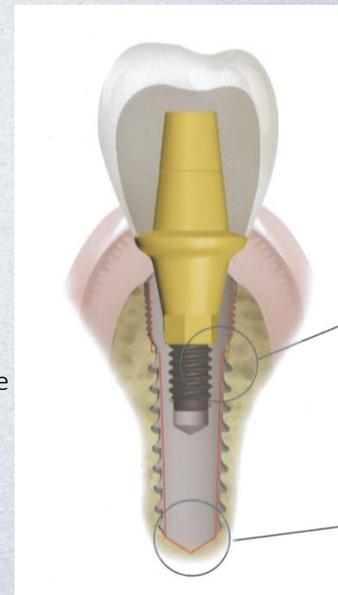
Perçage os mâchoire



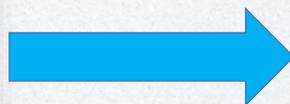
Pose implant



Pose Prothèse

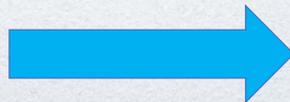


# L'IMPLANTOLOGIE DENTAIRE CHEZ THERMI-LYON



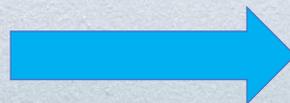
## Forets dentaires

Dépôts noirs (DLC/WCC/AlTiN) + gravage → permet d'évaluer la profondeur de perçage.



## Piliers dentaires

Dépôts TiN pour conserver les propriétés du substrat tout en améliorant le rendu visuel de la prothèse.



## Vis dentaires

Dépôts DLC pour augmenter la couple de serrage sans risque de casser la vis → permet d'éviter le desserrage des implants.

# QUELQUES ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE:



- Dépôts réalisés sur des matériaux conducteurs uniquement :
  - ➔ Acier, Titane, Carbure, Aluminium (DLC uniquement)
- Prise en compte de la température de revenu après trempe pour les aciers
- Dureté du substrat
- Pièces positionnées = toujours une zone non revêtue
- Rugosité du substrat notamment pour les dépôts DLC

# CONCLUSION



- Des solutions multiples en fonction du domaine d'activité et des problématiques rencontrées.
- Approche globale en partenariat avec le client.
- Le dépôt est une étape de processus de fabrication. La maîtrise des étapes de préparation en amont et en aval est fondamentale.
- Le savoir-faire reste prépondérant.



Merci à tous pour votre participation !

**Pour nous contacter :**  
**[marketing@thermi-lyon.com](mailto:marketing@thermi-lyon.com)**

**RETROUVEZ-NOUS  
AU CŒUR DE NOTRE USINE DE LYON  
LE MARDI 1<sup>er</sup> DECEMBRE  
Plateau TV  
Entretiens exclusifs  
Témoignages**



**LIVE  
EXCEPTIONNEL**

**SPÉCIAL 60 ANS**

**01/12 EN DIRECT  
À 16 H 00**





[www.groupe-thermi-lyon.com](http://www.groupe-thermi-lyon.com)