

Alternatives Durables au chrome hexavalent : Le projet ACHEVALD en action

i *Materia Nova, Grégory Guilbert • CRITT Matériaux Innovation, Ophélie Riou
3D Platinum, Hervé Bonnefoy • UMONS, Véronique Vitry*

UN CONSORTIUM TRANSFRONTALIER ET QUATRE TECHNOLOGIES POUR ACCÉLÉRER LA SUBSTITUTION DU CHROMAGE DUR ET ACCOMPAGNER LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE DES TRAITEMENTS DE SURFACE INDUSTRIELS

Le projet ACHEVALD (Alternative au CHromE tri et hexaVALent pour Divers secteurs) est une initiative transfrontalière ambitieuse, **cofinancée** par le programme Interreg France-Wallonie-Vlaanderen. Lancé le 1er avril 2024 pour une durée de quatre ans, il vise à accompagner les industriels dans la transition vers des solutions de revêtement de surface plus respectueuses de l'environnement, en remplacement du chromage dur traditionnel.

UN ENJEU ENVIRONNEMENTAL ET SANITAIRE MAJEUR

Le chromage dur traditionnel utilise du chrome hexavalent (Cr VI), une substance classée cancérigène, mutagène et reprotoxique (CMR). Depuis plusieurs années, les législations européennes et internationales restreignent progressivement son utilisation, notamment à travers le règlement REACH. Face à ces contraintes réglementaires croissantes, les industriels sont contraints de trouver des alternatives viables.

OBJECTIFS DU PROJET

ACHEVALD s'adresse aux secteurs industriels tels que les secteurs de la métallurgie, l'automobile, l'aéronautique, la construction navale et le nucléaire, où les com-

posants doivent résister à des contraintes sévères. Le projet propose quatre technologies alternatives au chromage dur, réparties en deux catégories :

- **Procédés en voie humide** : dépôts chimiques et électrolytiques à base de nickel, intégrant des particules dures ou auto-lubrifiantes pour améliorer les propriétés mécaniques et anticorrosion sans recourir à des traitements thermiques énergivores.
- **Procédés en voie sèche** : techniques de projection thermique par plasma et de rechargement laser, permettant de déposer des revêtements résistants à l'usure et à la corrosion.

PARTENAIRES DU PROJET

Le consortium ACHEVALD rassemble plusieurs acteurs clés :

- **UMONS** : développement de dépôts chimiques de nickel-bore sans métaux lourds et caractérisation tribologique, mécanique et chimique.
- **Materia Nova** : réalisation de dépôts électrolytiques composites et analyses de corrosion par tests au brouillard salin et mesures électrochimiques.
- **PLATINIUM 3D** : expertise en rechargement laser et analyse des besoins industriels.
- **CRITT Matériaux Innovation** : amélioration des dépôts existants par PTA et caractérisation des revêtements.
- **DCX Chrome** : fourniture de poudres de chrome pour les tests de procédés en voie sèche.

Les activités de l'UMONS portent sur l'industrialisation et le transfert technologique de **dépôts chimiques de nickel-bore exempts de métaux lourds** développés au sein du laboratoire. A l'heure actuelle, la technologie développée permet de revêtir des pièces de petite taille (quelques cm) avec succès. Les dépôts obtenus présentent une dureté de l'ordre de 850 hv

au moins et une résistante à la corrosion bien supérieure à celle des revêtements de chrome dur (utilisés seuls). Certaines petites pièces sont déjà au stade des essais industriels. L'upscale et le vieillissement des bains sont les deux prochains challenges à relever sur le chemin de l'industrialisation de cette technologie.

Les activités de Materia Nova portent sur le développement de **dépôts composites Nickel-Tungstène (Ni-W)** incorporant des **particules de nitrure de titane (TiN)**, en vue de remplacer le chromage dur par une solution plus durable et performante.

La **co-électrodéposition** de ces particules pose plusieurs défis techniques. En particulier, la **stabilité de l'électrolyte** est critique : sans contrôle adéquat, les particules de TiN tendent à **s'agglomérer** et à **sédimer**, compromettant l'homogénéité du dépôt. Pour garantir une **dispersion stable**, l'ajout de **surfactants spécifiques** a été nécessaire, permettant de limiter les phénomènes d'agglomération et d'assurer une **répartition uniforme** des particules dans le dépôt.

L'**optimisation des conditions opératoires** a également été un axe de travail majeur :

- **Densité de courant** : Une fenêtre opératoire optimale a été identifiée pour favoriser l'incorporation des particules sans générer de morphologies de dépôt défavorables (pitting, rugosité excessive). Une densité de courant trop élevée entraîne des dépôts hétérogènes avec une « exfoliation » des particules, tandis qu'une densité trop faible limite la vitesse de dépôt.
- **Agitation** : Le contrôle de l'agitation du bain électrolytique s'est révélé déterminant pour éviter la sédimentation des particules et favoriser leur transport vers la cathode. Des régimes d'agitation mo-

dérés à élevés ont été testés, permettant d'améliorer le taux d'incorporation sans endommager la structure du dépôt.

A ce stade du projet et grâce à ces optimisations, les dépôts de nickel tungstène composite développés présentent les propriétés suivantes :

- **Dureté** : supérieure à **750 HV** (Vickers)
- **Résistance à la corrosion** : potentiel de corrosion légèrement plus noble et courant de corrosion identique au NiW

Pour le projet ACHEVALD, PLATINIUM 3D dispose d'une machine DED (Direct Energy Deposition) permettant de fonctionnaliser les surfaces des outillages et des pièces par des dépôts obtenus par la fusion directe de poudre par laser. Dans ce cadre, PLATINIUM 3D a réalisé une série d'essais afin de maîtriser ce rechargement de chrome. Cette démarche s'effectue à partir du déploiement d'un plan d'expériences en faisant varier les paramètres du procédé tels que la puissance, l'avance et le débit de poudre. Les premiers cordons de soudure à base de chrome sont très encourageants. Une caractérisation de ces cordons est en cours de réalisation par le CRITT MI. Ces résultats serviront de base pour optimiser ce procédé afin d'augmenter la dureté et diminuer la présence de fissures.

Le CRITT Matériaux Innovation est le chef de file projet ACHEVALD, ses activités portent sur le développement de nouveaux revêtements de chrome pur par Plasma à Arc Transféré (PTA) avec de bonnes propriétés mécaniques.



Il met au point des dépôts de chrome sur différents substrat (acier faible carbone, acier inox, acier allié, base nickel) afin de se rapprocher au mieux des besoins industriels notamment en forge/fonderie. En parallèle, le CRITT Matériaux Innovation met l'accent sur l'amélioration des dépôts de chrome existants pour essayer d'augmenter leurs propriétés en modifiant : les caractéristiques de la poudre (morphologie, granulométrie, coulabilité, et pureté), les paramètres process (puissance, vitesse d'avance et débit de poudre), les post traitements : recuit des dépôts à haute température, refroidissement lent des dépôts (maintient dans la vermiculite). Le CRITT MI partage ses connaissances/ compétences sur les dépôts de chrome avec PLATINIUM 3D qui étudie également ces dépôts. Il contribue également à la caractérisation chimique des dépôts à l'aide des technologies MEB/EDX et DRX, à la caractérisation mécanique et tribologique (micro-duromètre, tribo à chaud) et à la caractérisation structurale (Microscope numérique).

FORMATION ET ACCOMPAGNEMENT

Au-delà du développement technologique, ACHEVALD propose un accompagnement complet aux entreprises :

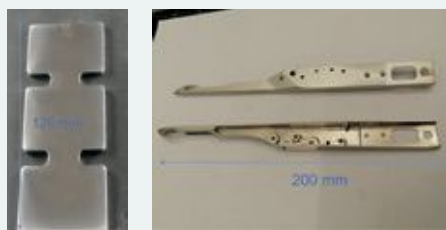
- **Formations théoriques et pratiques** sur les quatre solutions alternatives, les moyens de caractérisation et les études d'Analyse du Cycle de Vie (ACV).
- **Sessions de formation annuelles** ouvertes aux industriels et aux étudiants, favorisant le transfert de connaissances

et la sensibilisation aux enjeux environnementaux.

- **Application des dépôts sur pièces réelles**, avec une évaluation industrielle des performances permettant de comparer les résultats aux standards existants, afin de valider concrètement l'intérêt des technologies proposées. Materia Nova possède en effet une ligne pilote de dépôts électrochimiques pour valider les formulations et gammes de traitements de surface à échelle industrielle.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Certaines des technologies développées sont déjà en phase de pré-industrialisation. Le consortium travaille actuellement sur l'optimisation des procédés pour une production à grande échelle.



Pièces industrielles revêtues des dépôts de NiW et NiB

Plus d'infos sur le projet : <https://www.achevald-interreg.eu/>

