

Acronyme : **CORTEA N2-SC**

Décapage physique neutre et sans émissions de revêtement par jet d'azote supercritique THP. Etude de cas de peinture époxy

26 juin 2012 – 30 juin 2015

Rapport de synthèse

Projet réalisé par le CRITT-TJFU – N° du contrat : 1281C0041

Coordonnées de l'organisme : Département Recherche et Innovation
2, avenue de la grande Terre – 55000 Bar-Le-Duc

Auteur : Dr Abdel Tazibt

Coordination technique : Aude-Claire HOUDON – **Direction \Service** : DPED/SEET
ADEME Angers



En partenariat avec :



SYNTHESE

REMERCIEMENTS

CITATION DE CE RAPPORT

A. Tazibt. 2015. Décapage physique neutre et sans émissions de revêtement par jet d'azote supercritique THP – Synthèse. ADEME. Nombre de pages : 11 p.

En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Sommaire

<u>1. RAPPEL DU CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET</u>	<u>6</u>
<u>2. MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL DE RECHERCHE</u>	<u>6</u>
<u>3. LES RÉALISATIONS :</u>	<u>7</u>
3.1. ETUDE THERMODYNAMIQUE DU JET	7
3.2. CONCEPTION ET FABRICATION DE L'INTERFACE DE FILTRATION	7
3.3. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES (PLAQUES) TESTS	7
3.4. TESTS D'OPTIMISATION DU DÉCAPAGE	7
3.4.1. BANC D'ESSAI.....	7
3.4.2. ESSAIS D'OPTIMISATION DE LA DISTANCE DE TIR OPTIMALE	8
3.4.3. ESSAIS DE DÉTERMINATION DE LA VITESSE D'AVANCE OPTIMALE	8
3.4.4. EFFET THERMOMÉCANIQUE DU JET SUR LE SUBSTRAT.....	8
3.4.5. TESTS DE CARACTÉRISATION DES ÉMISSIONS DE PARTICULES PAR DÉCAPAGE	8
3.4.6. CARACTÉRISATION DES PARTICULES ÉMISES LORS DU DÉCAPAGE DE PEINTURE	8
3.5. COMPTE RENDU CONTRÔLE QUALITÉ NORMALISÉ DES PLAQUES TESTS DÉCAPÉES PAR JET D'AZOTE.....	10
3.6. CONCLUSIONS / PERSPECTIVES.....	10
<u>4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	<u>11</u>

Résumé

Le projet CORTEA N2-SC a pour objectif d'étudier les caractéristiques des émissions dans l'air de particules de peinture enlevées lors du décapage de revêtement de peinture sur supports métalliques par la technique de jet d'azote supercritique, une technique physique et sans déchets additionnels utilisant un gaz d'azote neutre et abondant qui se recycle naturellement dans l'air après décapage et filtration adéquate.

La technique proposée est en rupture avec l'existant, elle ambitionne de se substituer aux systèmes chimiques de décapage de peinture tels que les solvants. Elle se situe dans le contexte de l'interdiction des solvants chlorés tel que le Dichlorométhane (DCM).

Son principe consiste à projeter à des vitesses supersoniques sur le revêtement polymère un jet d'azote très froid (-120 à -150°C). Sous l'effet du froid et de la contrainte mécanique de l'impact, le polymère se contracte rapidement et se fissure, le jet d'azote s'infiltré à travers les fissures, s'appuie sur le support et entraîne le revêtement ainsi déstabilisé, nettoie et protège le substrat contre la corrosion.

Les caractérisations des émissions montrent que la concentration et la granulométrie (micro et nano) des particules émises dépendent des paramètres de décapage notamment la vitesse de balayage et l'épaisseur du revêtement. Les émissions sont réduites et majoritairement (près de 100 %) constituées de particules grossières millimétriques facile à capter par gravité en utilisant un simple système de récupération à la source et de filtration, ce qui rend aisé le recyclage naturel de l'azote dans l'air. Cette performance environnementale de réduction multilatérale des déchets, en termes d'émissions dans l'air, dans l'eau et dans les sols, se conjugue également avec la performance en termes de consommation. Pour une performance de décapage de 17 m²/h, la consommation d'énergie électrique est de 22,5 kWh et une consommation d'azote liquide de 0,72 m³ (liq) /h. Pour des usages industriels établis sur la base des résultats de l'étude expérimentale, le coût d'exploitation, hors amortissement de l'installation (22 EUR /h en 2x8 sur 10 ans), est évalué à 2,52 EUR /m² (base 0,06 EUR /litre d'azote liq) ouvrant ainsi des perspectives évidentes de déploiement industriel de la technologie azote supercritique.

Mots clés : décapage, nettoyage, voie sèche, jet d'azote cryogénique, haute pression, peinture, sans déchets additionnels, faibles émissions

Abstract

The N2-SC CORTEA project aims to study the characteristics of emissions to air paint particles removed during paint coating removal on metallic blades by supercritical nitrogen jet technique, a physical technique and without additional waste, using a neutral nitrogen gas that naturally recycled into the air after capture and proper filtration.

The proposed technique is a novel one that aims to replace the paint stripping chemical systems such as solvents. It is in the context of the prohibition of chlorinated solvents such as dichloromethane (DCM).

Its principle consists in spraying at supersonic speeds on the polymer coating a very cold stream of nitrogen (-120 to -150 °C). Under the effect of the cold and the mechanical stress of the impact, the polymer shrinks and cracks quickly, nitrogen jet seeps through cracks, relies on the blade and the coating thus leads destabilized, the jet cleans and protects the substrate against corrosion.

The characterizations show that the emission concentration and the particle size (micro and nano) particles emitted depend on the cleaning parameters including the traverse speed and the coating thickness as well. Emissions are reduced in and mainly (nearly 100%) consisting of coarse particles (nearly 1-3 mm) easy to capture at source with using a simple gravity recovery and filtration system. This makes easy the natural nitrogen recycling in the air. This environmental performance in terms of emission and waste reduction is also added to gains obtained in a cleaning power estimated to be near 17 m² / h, and an electrical energy consumption of 22,5 kWh for consumption of liquid nitrogen 0,72 m³ (liq) / h. For industrial consumption made on the basis of the results of the experimental study, the operating cost, excluding depreciation of the installation (22 EUR / h 2x8 hours a day /10 years) is valued at 2,52 EUR / m² (0,06 base EUR / liter of nitrogen liq) opening obvious perspectives for industrial deployment of supercritical nitrogen technology.

Key-words: dry cleaning, cryogenic nitrogen jet, high pressure, paint, no additional waste, weak emission

1. Rappel du contexte et objectifs du projet

Le décapage est une opération incontournable du processus de fabrication et de rénovation des produits. Pourtant il constitue la phase la plus polluante de ce processus. En ce sens, le décapage génère de grands volumes de rejets, pour la plus part nocifs pour la santé et l'environnement. En dépit de cette pollution caractéristique, les procédés chimiques, notamment les décapants /dégraissants à base de solvants chlorés (Dichlorométhane (DCM), Trichloréthylène, Perchloroéthylène, ...) sont très utilisés. Corrosifs et volatiles, ces solvants CMR de classe 3 sont fortement cancérogènes et provoquent des maladies professionnelles. Ils sont soumis à la réglementation relative aux Agents Chimiques Dangereux et les pouvoirs publics imposent la recherche d'un produit de substitution. De nombreux décès d'opérateurs ont été constatés en France et en Europe à tel point que la Commission européenne décide d'interdire l'usage du DCM dès juin 2012.

Le projet CORTEA N2-SC a pour objectif d'étudier, en conditions de laboratoire, l'impact environnemental en termes d'émissions dans l'air de particules de peinture générées lors du décapage de revêtements type peinture par la technique physique de jet d'azote supercritique. Un objectif secondaire consiste à évaluer l'incidence des paramètres de décapage sur les caractéristiques physiques de ces émissions (taille, concentration...).

Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons conçu et réalisé un banc d'essai et préparé des variantes d'échantillons de plaques métalliques représentatives des applications industrielles revêtues d'une couche de peinture selon un protocole connu. Ensuite, ces échantillons ont été décapés par différentes configurations de jet d'azote supercritique en faisant varier la puissance du jet appliquée sur le revêtement. Pour chaque configuration du jet, nous avons collecté les particules de peinture par le biais d'une interface de récupération et de filtration intégrant un module de mesure de la concentration et de granulométrie des particules en aval par prélèvement isocinétique.

L'étude réunit trois partenaires : Le CRITT TJFU, en tant que coordinateur et acteur scientifique et technique pour la partie thermodynamique du jet, expérimentations et mesures des émissions en collaboration avec le LRGP, la société FERRY pour la conception et la réalisation de l'unité de récupération et de filtration des particules, la société IFI PEINTURE pour la préparation des échantillons revêtus selon un protocole normalisé.

2. Méthodologie du travail de recherche

Tout d'abord, le comportement thermodynamique du jet d'azote supercritique a été étudié par simulation numérique par le CRITT TJFU, ce qui a permis de choisir une configuration de jet élémentaire statique (non rotatif) dont la stabilité du jet dans l'état supercritique est maximale. Cette configuration est essentielle pour la fiabilité des résultats d'optimisation des paramètres de décapage et de caractérisation des émissions de particules dans l'air. L'outil jet a été fourni par FERRY en même temps que l'interface de sédimentation et de filtration à compartiments. Les essais d'optimisation des paramètres de décapage ont été réalisés par le CRITT TJFU en utilisant son installation jet d'azote supercritique. Les éprouvettes de plaque revêtues par différentes couches de peintures sur différentes épaisseurs selon un protocole normalisé, ont été fournies par IFI PEINTURE. Après avoir pu déterminer les paramètres optimaux de décapage (distance de tir, vitesse d'avance...), le CRITT TJFU a organisé plusieurs campagnes de décapage en présence des partenaires et du LRGP qui a apporté son module de chambre d'échantillonnage pour la caractérisation des émissions des particules de peinture issues du processus de décapage. Trois conditions de vitesses critiques et représentatives d'un décapage industriel ont alors été adoptées : 1 m/min, 50 m/min et 80 m/min. Les mesures des concentrations et des granulométries des particules émises ont été réalisées en continu pendant le décapage des éprouvettes. Enfin, 5 plaques démonstrateurs ont été décapées en utilisant les paramètres optimaux, puis un contrôle qualité normalisé des surfaces décapées par le jet d'azote a été effectué et présenté à la fin du mémoire. Le but étant de montrer aux industriels les capacités de la technique physique de décapage par jet d'azote supercritique sur un cas majoritaire de revêtement de peinture industrielle.

3. Les réalisations :

3.1. Etude thermodynamique du jet

Le jet d'azote utilisé pour décaper le revêtement doit être dans un état supercritique. Il doit avoir des propriétés physiques particulières dont la densité et la température sont les deux paramètres critiques lors de la détente avant impact. L'étude consistait à dimensionner la chambre de détente de manière à ce que l'état supercritique du jet soit garanti. Le volume utile de détente supercritique était fixé à 450 mm³ pour un volume total de la chambre de détente de 585 mm³. Des tests sur le modèle incompressible ont été effectués pour valider la géométrie de la chambre. Une fois la géométrie validée par ce modèle, nous sommes passés au modèle compressible pour vérifier si le dispositif permettait la conservation des propriétés supercritiques de l'azote et sa capacité de décapage. Les résultats révèlent que nous avons bien un jet supercritique en sortie. L'azote conserve ses propriétés supercritiques sur une distance de 46,5mm mais sans le dispositif d'ailettes prévues pour la mise en rotation du jet. En fait l'ajout d'ailettes induit des turbulences dans la chambre qui ont pour effet d'augmenter la température de l'azote au-delà de -100°C, ce réchauffement ne permet pas d'obtenir l'état supercritique nécessaire au décapage.

3.2. Conception et fabrication de l'interface de filtration

L'interface de filtration est conçue et fabriquée par la société FERRY. Elle est dimensionnée selon la quantité d'azote libérée pendant l'opération et la vitesse de fluide < 20 m/s pour ne pas détériorer les sondes du module de mesure des particules émises lors du décapage.

3.3. Préparation des éprouvettes (plaques) tests

L'objectif est la constitution de plaques peintes représentatives des situations réelles courantes dans le monde industriel. Des peintures courantes de type **époxy** ont été étudiées. Le matériau support, substrat, des peintures est un **acier bas carbone E24** très représentatif des applications industrielles. Pour information, on appelle système de peinture l'ensemble des couches protectrices appliquées sur un substrat. Quelques systèmes (conditions de peinture) ont été identifiés et retenus pour leur intérêt dans le procédé de décapage. Ces systèmes présentent des différences importantes : mise en œuvre, constitution chimique, nombre de couches, épaisseurs de peinture, dureté, résistance aux intempéries. Nous avons isolés des systèmes suffisamment différents pour obtenir une étude de décapage représentative des situations rencontrées dans l'industrie.

3.4. Tests d'optimisation du décapage

L'objectif de cette phase est de caractériser le décapage en vue de déterminer les paramètres optimaux du jet d'azote permettant de mesurer les émissions (concentrations, granulométrie) de particules issues du décapage. D'un point de vue technologique, le décapage / dégraissage par projection de jet d'azote supercritique est un traitement physique neutre et sans émission qui combine les actions de la cryogénie et de la force mécanique d'impact, l'effet thermomécanique du jet induit une contraction mécanique du revêtement du fait d'un refroidissement rapide du matériau. La contraction est suivie du décollement du revêtement sous l'effet de l'énergie cinétique du jet.

3.4.1. Banc d'essai

Le banc d'essais est composé :

- d'une pompe nitrogénique haute pression NITROCISION
- d'un Robot Poly-articulé 6 axes permettant de réaliser le déplacement de l'outil
- d'une tête de décapage, éprouvettes de plaques revêtues de peinture,
- de thermocouples et sondes de pression pour le contrôle de l'état supercritique du jet

3.4.2. Essais d'optimisation de la distance de tir optimale

Les premiers essais effectués sur un échantillon du système 6.5 permettent de définir la distance de tir optimale pour obtenir la largeur de décapage maximale. Pour cela, le jet d'azote supercritique à Très Haute Pression va venir impacter la surface du matériau avec une distance de tir variable allant de 10 mm à 250 mm. La surface décapée est une bande de largeur égale à l'empreinte du jet sur la surface impactée. La largeur de cette bande varie en fonction de la distance de tir du jet. En effet, la largeur de la bande augmente avec la distance de tir pour atteindre son extrémum, puis diminue lorsque la distance de tir atteint une valeur critique dite maximale. Un relevé de la largeur décapée en fonction de la distance de tir, pour une vitesse fixe, a été effectué. La largeur décapée est maximal pour une distance de tir comprise entre 160 mm pour une largeur de décapage de 3,15 mm.

3.4.3. Essais de détermination de la vitesse d'avance optimale

Les résultats obtenus confirment un phénomène bien notable qui est : plus la vitesse d'avance augmente plus la largeur décapée diminue de manière linéaire.

3.4.4. Effet thermomécanique du jet sur le substrat

Les résultats des essais de décapage par jet d'azote ont montré qu'un décapage total de revêtement a pu être obtenu. Dans ce cas, le jet d'azote peut interagir non seulement avec la peinture (revêtement) mais avec le matériau de base (substrat) aussi. Dans cette étude, Les analyses des surfaces décapées ont montré que les substrats des plaques traitées n'ont subi aucun endommagement. Cependant, ce type d'analyses ne permet pas de montrer si un durcissement superficiel par écrouissage de la surface a été produit. Dans notre cas, la contrainte est causée par l'effet thermomécanique du jet d'azote à la surface du matériau. Les substrats en acier E24 des différentes plaques traitées n'appartiennent pas à la catégorie des matériaux pouvant subir un durcissement de surface par transformation martensitique. Cependant l'écrouissage du substrat n'est possible que si la contrainte induite (force du jet à l'impact par unité de surface) par le jet d'azote est supérieure à la limite élastique $Re_{0,2}$ du matériau (acier E24) qui est de 3200 bar. Les mesures de la force engendrée par le jet d'azote à l'impact, ont fait l'objet d'études par le CRITT TJFU. Les résultats de ces mesures ont révélé que la pression induite par le jet d'azote à l'impact est très faible (environ 330 bar). Par conséquent, l'écrouissage du substrat (acier E24) lors des essais de décapage est très peu probable. De plus, l'effort du jet à l'impact diminue lorsque la vitesse d'avance du jet d'azote augmente (20-80 m/min). Or les vitesses d'avance des essais de décapage sont relativement rapides (≥ 50 m/min). Des mesures de dureté (ou de micro-dureté) sur les surfaces des matériaux de base après décapage peuvent révéler si un durcissement superficiel a été induit ou pas. Cependant ces mesures de dureté risquent de ne pas être représentatives pour deux raisons : i) une rugosité importante de la surface des substrats et ii) une présence d'une éventuelle couche écrouie due au mode de préparation de surface (grenailage) appliqué aux surfaces des matériaux de base.

3.4.5. Tests de caractérisation des émissions de particules par décapage

Les campagnes d'essais précédentes ont permis la sélection des paramètres optimaux en termes de distance de tir et de vitesse d'avance d'outil. Ces paramètres optimaux vont être appliqués pour la suite des essais de caractérisation des particules émises pendant le décapage.

- A la distance de tir de 15 mm, les vitesses rapides de 80 m/min permettent également de décapier la totalité du revêtement des plaques à traiter.
- Dans l'interface de sédimentation et de filtration, on a pu voir de nombreuses particules (débris) allant de quelques dixièmes de mm à 3 mm se déposer par gravité au fond des compartiments selon leur taille.

3.4.6. Caractérisation des particules émises lors du décapage de peinture

a. Description du banc d'échantillonnage et de caractérisation

Les particules en suspension non collectées précédemment par sédimentation, dans l'interface transparente (4) de la figure 21b, entrent par la suite dans la chambre (module) d'échantillonnage (5) de la figure 21b, dimensionnée par le LRGP, de 200 mm de diamètre et équipée de 4 cannes de prélèvement de 8 mm de diamètre. Dans le cadre de cette campagne de mesures seules trois des cannes ont été utilisées :

- La première canne de prélèvement est reliée au granulomètre APS 3321 TSI (voir description technique ci-dessous) dont le débit d'échantillonnage est régulé à 5 L/min.
- La seconde est connectée à un granulomètre SMPS TSI modèle 3080 (voir description technique ci-dessous) dont le débit d'échantillonnage est de 0,6 L/min.
- La troisième canne est reliée à une ligne de prélèvement gravimétrique équipée d'un filtre très haute efficacité, d'un compteur volumétrique et d'une pompe à vide dont le débit d'aspiration est proche de 15 L/min. La pesée du filtre avant et après échantillonnage ainsi que le relevé du volume échantillonné permet de remonter à une concentration massique de particules exprimée en mg/m³.

Il est important de noter que ces cannes de prélèvement sont équipées, à leur extrémité de buses de diamètre variable de façon à respecter l'isocinétisme. (Un prélèvement isocinétique, c'est-à-dire un prélèvement pour lequel les vitesses dans la canne de prélèvement et dans la chambre d'échantillonnage sont identiques, est nécessaire de façon à s'assurer que l'échantillonnage est représentatif de l'aérosol à caractériser. En effet, une vitesse plus importante dans la canne de prélèvement (comparativement à la vitesse dans la chambre d'échantillonnage) entraînera un sur-échantillonnage des particules les plus fines. A contrario, une vitesse moins importante dans la canne de prélèvement sera à l'origine d'un sous-échantillonnage des particules les plus fines.)

Le diamètre des buses, de 3 et 8 mm pour les cannes dédiées au granulomètre SMPS et au granulomètre APS a été dimensionné pour un débit dans la chambre d'échantillonnage de 3m³/min.

b. Analyseur mobilité aérodynamique des particules APS 3321 TSI

L'APS 3321 TSI (Aerodynamic Particle Sizer) détermine le temps de vol des particules pour les classer en temps réel en fonction de leur diamètre aérodynamique. Le diamètre aérodynamique correspond au diamètre d'une sphère de densité égale à l'unité possédant la même vitesse de sédimentation dans l'air que la particule considérée. Ce paramètre est important pour la caractérisation d'un aérosol puisqu'il permet de déterminer le devenir d'une particule en suspension dans l'air et par conséquent, notamment, son dépôt dans l'appareil respiratoire humain. Il est néanmoins important de noter que deux particules de même diamètre aérodynamique ne possèdent pas forcément les mêmes diamètres « physique », forme, masse volumique, composition ...

c. Analyseur mobilité électrique des particules SMPS 3080 TSI

Le granulomètre SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) couple une technique de sélection des particules suivant leur mobilité électrique à l'aide d'un DMA (Differential Mobility Analyser) et un CNC (Compteur à Noyaux de Condensation) placé en aval.

d. Résultats et discussion

Cette seconde campagne de mesures a été dédiée à l'estimation des concentrations et des distributions granulométriques des particules émises suite au décapage à l'azote supercritique des plaques peintes. Ces essais ont été réalisés pour trois vitesses de décapage, respectivement de 1, 50 et 80 m/min. Préalablement à la discussion des résultats, il est important de préciser certains points :

- Les mesures réalisées à l'aide des deux différents granulomètres ne sont pas directement comparables puis les granulomètres SMPS 3080 TSI et APS 3321 TSI mesurent respectivement un diamètre équivalent en mobilité électrique et un diamètre aérodynamique.
- Les largeurs des classes granulométriques mesurées par chacun des deux appareils étant différentes, les concentrations par classe, exprimées en particules par centimètre cube, ne peuvent être comparées.
- Les concentrations obtenues ne sont valides que dans la configuration de la ligne

d'échantillonnage préalablement décrite. En d'autres termes, les concentrations seraient sans doute différentes si l'échantillonnage avait été effectué en un autre point du dispositif et/ou si les longueurs de canalisation utilisées avaient été différentes.

Les mesures à l'APS mettent en évidence de très faibles émissions de particules microniques comparativement à la concentration présente dans l'ambiance du hall d'essais.

Les émissions de nanoparticules mesurées au SMPS sont quant à elles centrées sur des tailles de l'ordre de 20 nm et des concentrations d'environ 50 000 particules par centimètre cube mais variables en fonction du type de plaque et de la vitesse de décapage. Quant aux essais gravimétriques, les faibles concentrations en particules et la durée limitée des expériences ne permettent pas d'obtenir une masse collectée suffisante sur les filtres très haute efficacité et donc de s'affranchir des incertitudes de pesée permettant l'obtention d'une concentration massique significative.

3.5. Compte rendu Contrôle qualité normalisé des plaques tests décapées par jet d'azote

Le contrôle de la qualité de décapage des surfaces peintes avec différents systèmes, est réalisé en comparaison avec la norme ISO8501-1-2007 qui traite les Degrés de rouille et degrés de préparation des subjectiles d'acier non recouverts et des subjectiles d'acier après décapage sur toute la surface des revêtements précédents. L'évaluation est visuelle comparativement aux clichés de référence. Comme le décapage est réalisé sur des plaques peintes, les clichés de comparaison sont ceux obtenus à partir du degré de rouille C selon la Note 2 : Pour les subjectiles préalablement peints et préparés en vue d'appliquer une nouvelle couche de peinture, seules les photographies des degrés de rouille désignés par les lettres D ou C (par ex.: D Sa 2½ ou C Sa 2½) peuvent servir à l'évaluation visuelle. Le choix (par exemple entre D Sa 2½ et C Sa 2½) dépend du degré de chancre de rouille.

3.6. Conclusions / Perspectives

La technique physique de jet d'azote supercritique ne génère pas de déchets additionnels et ne modifie pas, dans les conditions de vitesses industrielles de décapage de peinture (20 à 80 m/min), les propriétés mécaniques des supports métalliques. De plus, l'application d'un jet d'azote cryogénique très basse température (-120 à -150 °C) bloque l'activité électronique de la surface métallique décapée, ce qui protège le matériau de la corrosion après traitement. Nous pouvons ainsi dire que cette technique décape à sec et protège le substrat contre la corrosion, le futur dépôt peut donc être appliqué sans opérations supplémentaires de protection.

Il a été montré dans ce projet que le décapage à sec génère des particules fines (micro et nano) en quantités très négligeables. La quasi-totalité, près de 100 %, des émissions produites est formée de résidus millimétriques grossiers (1-3 mm) faciles à récupérer par gravité. L'infime concentration de particules nanométrique (53 ppm) qui n'est pas captée par le dispositif expérimental doit être arrêtée par une filtration appropriée avant recyclage de l'azote dans l'air.

L'autre résultat crucial obtenu est la capacité de la technologie azote cryogénique sous pression à nettoyer des supports métalliques selon des qualités de surfaces conformes aux normes ISO 8501-1-2007 en vigueur. De même, il a été montré que cette technique protège également la surface contre la corrosion, donc production de surfaces prêtes à être revêtues après traitement sans opération supplémentaire de protection tel que c'est habituellement le cas pour les systèmes chimiques (passivation, rinçage, séchage) et le sablage (passivation, rinçage).

Cette performance environnementale de réduction des déchets, en termes d'émissions dans l'air, se conjugue avec la performance en termes de consommation. Pour un décapage de 17 m²/h, la consommation d'énergie électrique est de 22,5 kWh et une consommation d'azote liquide de 0,72 m³ (liq) /h. Pour des usages industriels établis sur la base des résultats de l'étude expérimentale, le coût d'exploitation, hors amortissement de l'installation (22 EUR /h en 2x8 sur 10 ans), est évalué à 2,52 EUR /m² (base 0,06 EUR /litre d'azote liq) ouvrant ainsi des perspectives évidentes de déploiement industriel de la technologie azote supercritique.

Des plaques démonstrateurs ont été produites puis décapées et caractérisées en qualité selon la Norme en vigueur (ISO 8501-1-2007). Ces démonstrateurs seront complétés par les données de la consommation et de la performance de décapage. Ces démonstrateurs et éléments technico-économiques seront montrés aux industriels et aux institutionnels lors des journées techniques et des actions de transfert que le CRITT TJFU mènent traditionnellement dans le cadre de ces missions de service public de démonstrations de procédés jet fluide en général et de l'azote cryogénique sous pression en particulier.

Enfin, grâce au soutien de l'ADEME, nous avons pu faire avancer l'état de l'art dans le domaine de la caractérisation environnementale de la technique propre de jet d'azote supercritique, appliquée au décapage physique, performant, sec, sans émissions et sans déchets additionnels. Un accompagnement futur par un organisme spécialisé en caractérisation des écotechnologies nous permettra d'établir le label allégation écotechnologie, ce qui accélérera le déploiement industriel de la technique azote supercritique en France dans les domaines du décapage de peinture en particulier et des polymères en général.

4. Références bibliographiques

- [réf. 1] INRS, page web « Réglementation et classifications des agents CMR ; Dispositions spécifiques réglementaires et classifications existantes » : <http://www.inrs.fr/accueil/risques/chimiques/cancerogenes-mutagenes/reglementation-cmr.html>
- [réf. 2] INRS, page web « Prévenir les risques liés aux agents chimiques CMR ; Suppression, substitution ou réduction des expositions » : <http://www.inrs.fr/accueil/risques/chimiques/cancerogenes-mutagenes/prevention-cmr.html>
- [réf. 3] INRS, Fiche d'aide au repérage de produit cancérigène « Peintres en bâtiment » : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=FAR%208>
- [réf. 4] Décision n°455/2009/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 mai 2009, ANNEXE III portant modification de l'ANNEXE I de la Directive 76/769 CEE concernant le Dichlorométhane dans les décapants.
- [réf. 5] ADEME, page web : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?catid=14642>
- [réf. 6] : ADEME, publication « Bonnes pratiques énergétiques dans l'industrie », Med Clean N°48, *Extrait de l'ouvrage de l'ADEME* .:
- [réf. 7] INRS, Fiche d'Aide à la Substitution FAS 3 « Produit à substituer : DICHLOROMETHANE /Cancérogène suspecté par l'Union européenne », mise à jour le 01/07/2011, Publication INRS, CNAMTS.
- [réf. 8] INRS, rapport « La substitution des solvants par le carbonate de propylène » : <http://www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-la-substitution-des-solvants-par-le-carbonate-de-propylene-b-070.html>
- [réf. 9] INRS, note documentaire « Évaluation et prévention des risques optiques induits par le nettoyage laser des bâtiments » : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202212>
- [réf. 10] INRS, brochure « Equipements à jets d'eau sous haute et très haute pression » : ED 784, <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20784>
- [réf. 11] A. Tazibt et al., CRITT TJFU, LEMTA, LEM3, mémoire ANR JAZOLTHOP, projet ANR PRECODD Ecotechnologies - 2006-2010. « Procédé propre et performant de préparation de surface par jet d'azote liquide sous très haute pression » : <http://www.inrs.fr/accueil/risques/chimiques/cancerogenes-mutagenes/prevention-cmr.html>
- [réf. 12] CETIM, action 4p « Produire Proprement de Pièces Propres » : <http://www.action4p.net/enjeux-li-s-la-probl-matique-du-lavage-et-du-d-graissage-0>

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr