

Nettoyage de surface par laser

Frédérique Machi, chef de projets soudage métallique, traitements de surface, Irepa Laser.

Respecter l'intégrité d'une surface lors de son nettoyage est un objectif que peut atteindre la technologie laser. Différents traitements existent selon la nature des matériaux, les éléments à éliminer en surface et le niveau de propreté requis. Explications.

Le laser est aujourd'hui un des outils les plus performants pour le nettoyage d'une surface. L'impact environnemental des procédés de fabrication est devenu une donnée incontournable où le laser prend une place privilégiée. En effet, c'est un outil propre sans contact qui permet de respecter l'intégrité de la surface sur laquelle il y a salissure, en gérant et en appliquant l'énergie laser là où c'est nécessaire et avec une grande précision. Cette caractéristique est d'autant plus vraie que la technologie laser progresse à grands pas et que ces évolutions auront un impact indéniable sur la qualité des produits, leurs coûts et l'industrialisation des procédés.

Le plus difficile reste sans aucun doute de caractériser une surface « sale » d'une surface « propre », d'identifier le ou les éléments en jeu dans la salissure. L'élimination des « macro » salissures comme la rouille, l'encre, la peinture, la pollution des pierres est facilement identifiable visuellement, mais l'élimination de films fins, comme une couche de passivation, de la graisse ou des résidus laissés par le process de fabrication reste délicat à caractériser. Ces caractérisations préliminaires sont pourtant fondamentales pour pouvoir choisir la technologie laser la plus adéquate.

On rencontre aussi un certain nombre d'applications où le niveau de propreté garantit ou non le résultat de l'opération suivante : collage, soudage, dépôt... dans ce cas, seules des caractérisations post traitement permettent de qualifier la qualité du nettoyage. Même si des différences existent, nous utili-

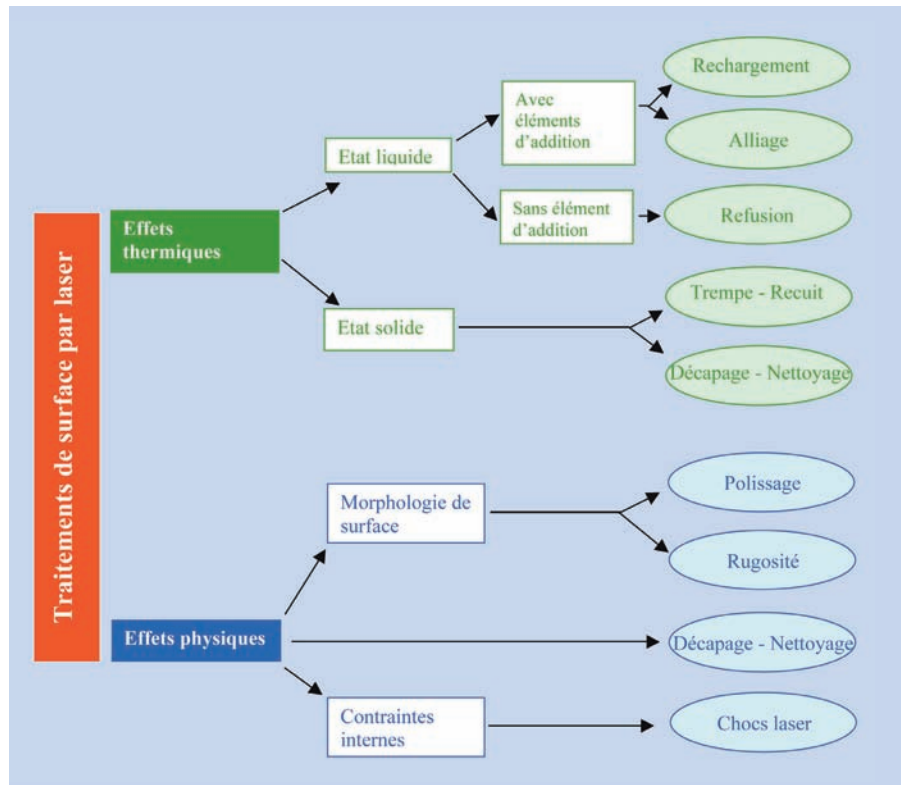


FIGURE 1 : Présentation synthétique des différents traitements de surface laser.

serons dans cet article le terme générique de « nettoyage » pour qualifier également les applications de décapage.

Différents traitements de surface par laser

Sans entrer dans le détail de la production et des caractéristiques d'un faisceau laser, il est important de présenter les différentes actions du faisceau laser sur le matériau.

On remarquera dans la présentation synthétique (figure 1) les nombreuses possibilités

qu'offre le laser dans le domaine des traitements de surface. On constatera que les traitements sont multiples et que le « décapage-nettoyage » peut être conduit soit par un effet thermique, soit par un effet physique.

Nettoyage par détente de plasma

Le nettoyage par détente plasma est sans nul doute l'application la plus connue. Elle s'appuie sur le principe suivant : un faisceau focalisé est dirigé sur la salissure. Par absorption du faisceau laser. Un plasma est créé en surface, sa détente provoque une onde de choc qui se réfléchit à l'interface salissure/substrat. On observe alors un fractionnement et une expulsion des salissures sans endommagement du substrat. Avec le même effet, le faisceau peut aussi traiter la salissure par dessous en s'attaquant directement au substrat (figure 2).

Le laser permet de réaliser autant de couches d'usinage que nécessaire.

Les avantages de cette technique résident dans le respect du substrat, son utilisation qui peut être manuelle ou automatique, l'absence de résidus autres que les fragments de salissure, la mobilité des sources laser utilisées.

Cependant, il faut tenir compte des inconvénients suivants : il n'est pas possible d'éliminer de fortes épaisseurs, il faut avoir un substrat ou une pollution absorbante au faisceau laser, on ne peut pas éliminer de salissures incrustées ou partiellement incrustées. On enregistre également une modification du pigment pour certaine nature de pierre. Dans certaines conditions, on relève une très légère fusion du substrat.

Nettoyage par brûlure ou décomposition

Certains éléments de surface peuvent être éliminés par un apport thermique superficiel délivré par le faisceau. Le principe est décrit sur la figure 3.

Les avantages d'un tel traitement sont la rapidité grâce à l'utilisation de tête scanner permettant un balayage du faisceau sur la face à nettoyer et la reproductibilité du procédé par son automatisation. Les limites de cette technique sont de deux ordres : la nécessité d'une interaction salissure/faisceau et bien sûr l'échauffement du substrat lié à la brûlure de la salissure.

Cependant, en modulant l'énergie du faisceau laser, un simple chauffage peut, dans certains cas, suffire pour générer le décollement de la couche indésirable.

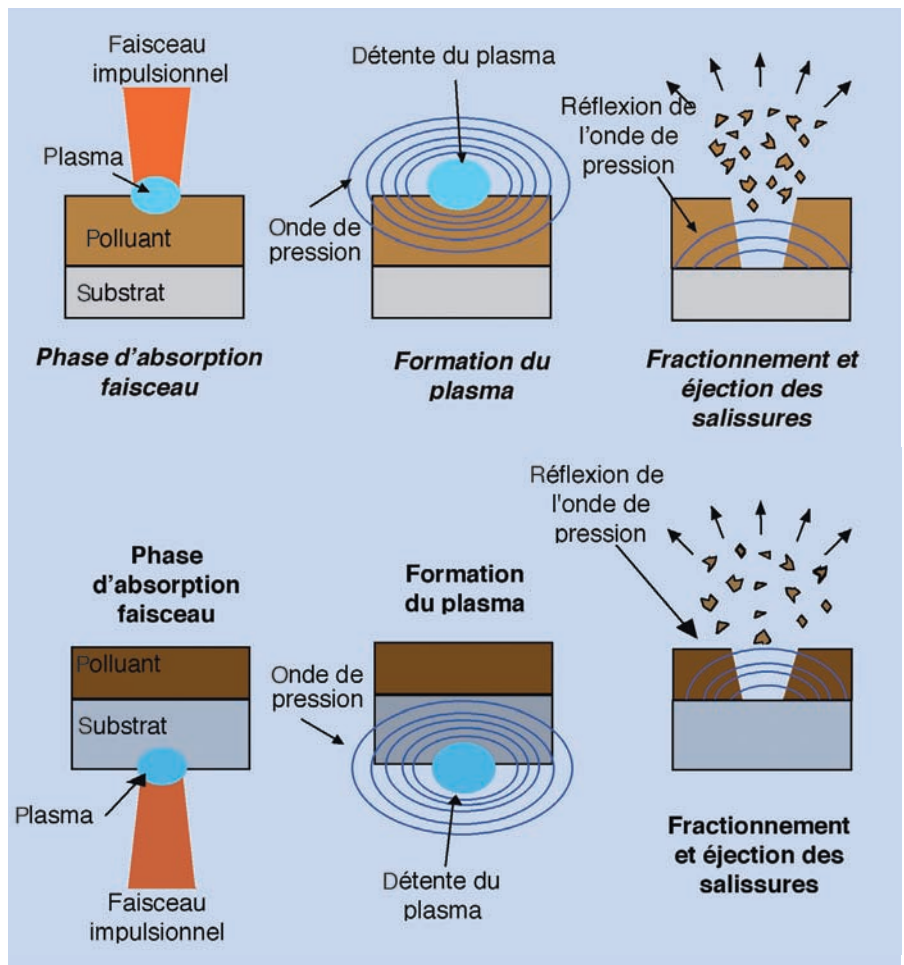


FIGURE 2 : Principe du nettoyage par détente d'onde plasma.

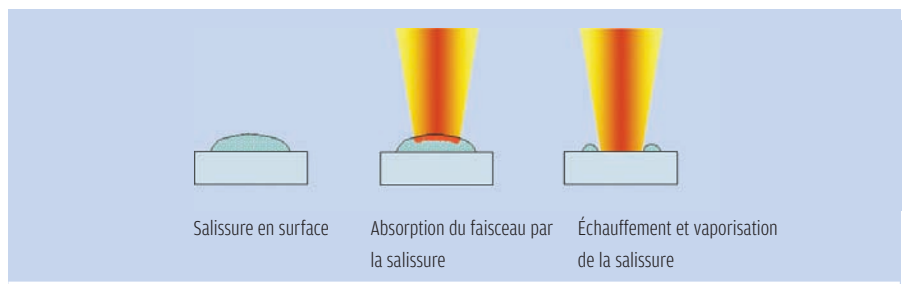


FIGURE 3 : Principe du nettoyage par brûlure.

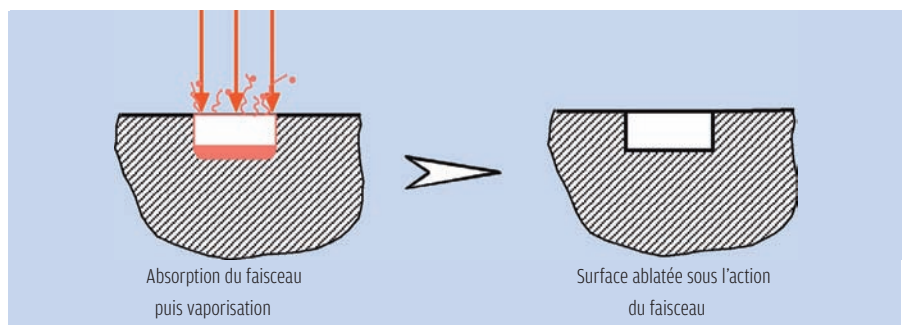


FIGURE 4 : Principe du nettoyage par micro usinage.

Nettoyage par ablation, micro-usinage

Dans ce cas, il s'agit de vaporiser la couche contaminée sous l'action d'un faisceau laser impulsif. L'action du faisceau laser est alors très proche de la gravure ou du micro-usinage (figure 4). Sur des matériaux composites, il est possible en jouant sur la différence d'absorption et/ou le niveau d'énergie d'éliminer un des composants sans altérer l'autre.

Cette technique permet la mise à nu du matériau, l'élimination des salissures incrustées, la gestion de la profondeur traitée, le traitement sélectif si un des constituants est transparent à la longueur d'onde du faisceau laser. Les développements importants des sources laser dans ce domaine promettent un bel avenir à ce type de traitement, cependant la vitesse de traitement reste faible (diamètre du faisceau de quelques dizaines de micromètre). On relève également un échauffement localisé du substrat.

Cas d'applications industrielles

Le développement du nettoyage laser a débuté dans les années 1980 avec le traitement de la pierre. Les premiers travaux de recherche ont été faits dans le cadre d'un partenariat entre l'Irepa Laser et le Laboratoire des Monuments historiques de Champs-sur-Marne dans les années 1995. Le premier traitement sur site, a eu lieu à la collégiale de Thann dans le Haut Rhin, avec un laser Yag relaxé, associé à une fibre optique (figure 5).

Aujourd'hui plusieurs bâtiments comme la cathédrale d'Amiens, le Petit Palais (figure 6), la mairie de Rotterdam ont bénéficié d'un tel traitement.

Les premières applications industrielles se sont alors développées avec la maintenance des moules d'injection de caoutchouc puis de la verrerie comme le présentent les figures 7 et 8.

Ces applications peuvent être manuelles ou automatisées.

Aujourd'hui l'utilisation de systèmes laser pour nettoyer s'est développée dans des domaines très variés. On trouve des applications dans l'alimentaire pour éliminer des couches de Téflon sur les moules de boulangerie (figure 9) mais également pour nettoyer directement les moules. Dans l'imprimerie pour le nettoyage des cylindres gravés (figure 10).



FIGURE 5 : Nettoyage laser d'une statue de la collégiale de Thann.



FIGURE 6 : Nettoyage laser du Petit Palais Paris.

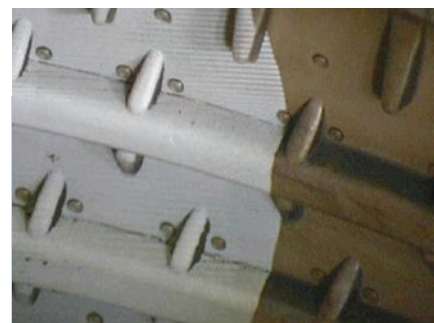


FIGURE 7 : Nettoyage laser de moule de pneu.

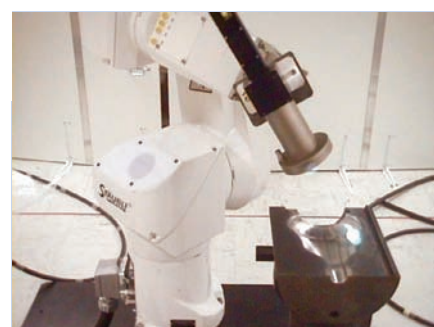


FIGURE 8 : Nettoyage de moule de verrerie.

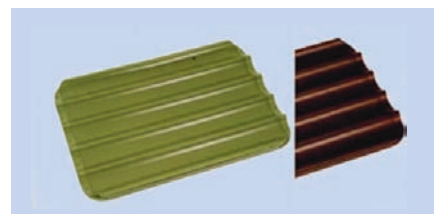


FIGURE 9 : Élimination de la couche de téflon par laser.

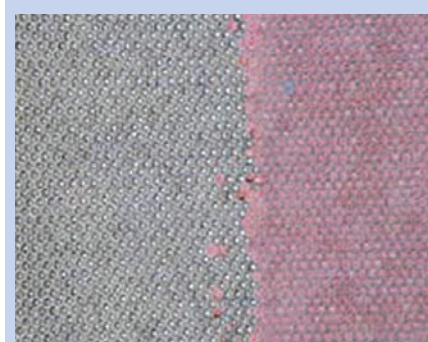


FIGURE 10 : Nettoyage d'un cylindre d'imprimerie gravé.

© Méliard

© Irepa Laser

© Quantel

© Smaltriva

© Lasertrap

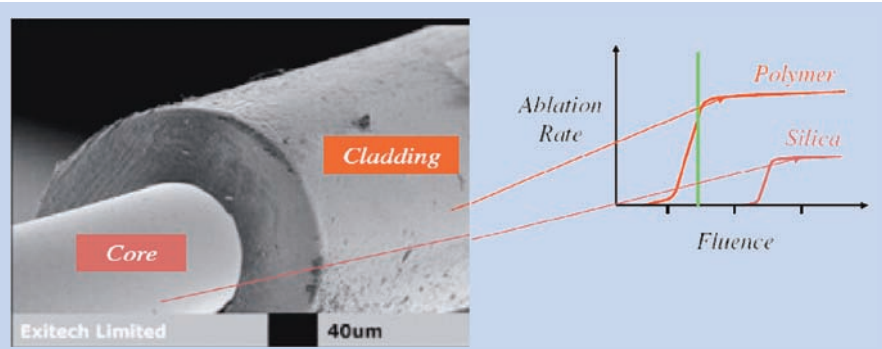


FIGURE 11 : Décapage de la gaine de la fibre optique.



FIGURE 12 : Élimination de la peinture sur un radom.

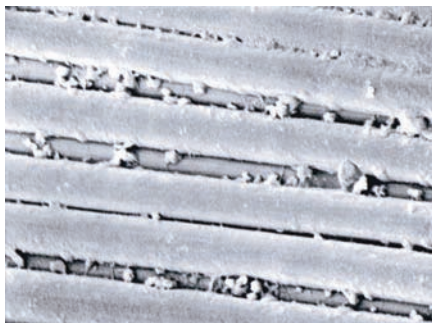


FIGURE 13 : Préparation de surface avant collage.

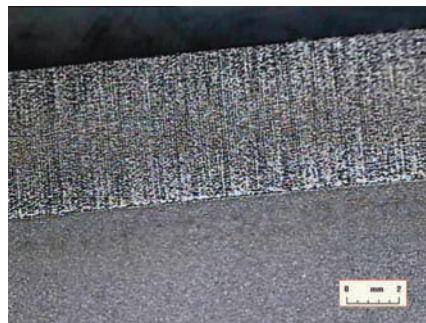


FIGURE 14 : Préparation de surface avant soudage.



FIGURE 15 : Préparation de surface avant surmoulage.

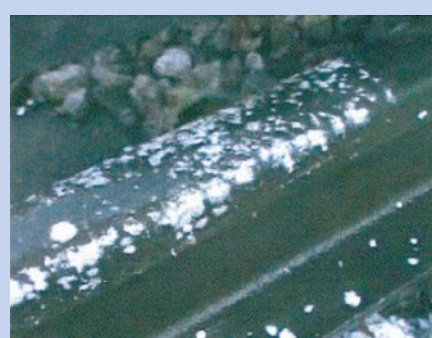


FIGURE 16 : Nettoyage de rail de chemin de fer.



On trouve également des applications dans la mise à nu de fils, câbles électriques ou fibres optiques (figure 11).

Également présent dans l'élimination de peinture (figure 12), le laser peut avoir une action sélective et préserver la couche de primaire. Les applications de désoxydation sont également possibles et permettent la remise en état, les opérations de maintenance, le contrôle...

Les opérations de nettoyage sont également des phases très importantes avant collage (figure 13), soudage - qu'il s'agisse de nettoyage de tôles revêtues ou de pièces mises en forme (figure 14) surmoulage (figure 15), projection thermique, dépôt électrolytique. Des essais ont démontré l'amélioration de la tenue de dépôts réalisés par voie électrolytique.

Des applications plus spécifiques ont été menées sur le nettoyage de rail de chemin de fer. Les essais ont été réalisés avec une source embarquée jusqu'à une vitesse de 60 km/h. Ce traitement du rail permet d'éliminer les graisses, les feuilles mortes, le gel, l'oxydation et l'eau, autant de contaminants qui perturbent à la fois le démarrage et le freinage des convois ferroviaires (figure 16).

Dans un domaine plus actuel, on peut citer la fabrication de panneaux solaires où le laser est utilisé pour éliminer localement la couche de silicium (figure 17).

La décoration est également une application où la précision du laser joue un très grand rôle (figure 18). On a l'habitude d'imaginer cette opération comme un ajout

© SLCR

© Inepa Laser

© PIM

© LaserThor

de matière, alors qu'à la base les flacons sont totalement revêtus, le laser ne faisant qu'éliminer le dépôt pour créer le motif. Cette même technique est utilisée pour le grainage de moule. Dans ce cas, le laser élimine une couche protectrice avant usinage chimique, la technique laser permet alors de réaliser autant de couches d'usinage que nécessaires.

Ce tour d'horizon des applications de nettoyage laser n'est absolument pas exhaustif, et on peut voir une multitude de très petites entreprises dont les activités vont du nettoyage de coques de bateau au nettoyage de pierres tombales...

Traitements de surface hybrides

Le procédé Protal (Projection thermique assistée par laser) développé par le laboratoire Lermys à Sévenans et l'Irepa Laser a été breveté en 1995. Il consiste à préparer la surface juste avant un revêtement plasma afin d'améliorer l'adhérence du dépôt (figure 19). L'intérêt est également de supprimer les opérations de préparation de surface.

Les avantages principaux sont de deux ordres :

- élimination du sablage qui génère une incrustation de particules en surface ;
- amélioration de l'adhérence du dépôt sur le substrat et entre couche.

Les résultats d'adhérence ainsi que les micrographies comparatives illustrent bien la réduction notable des oxydes à la liaison substrat/dépôt et entre les strates formant le dépôt.

Si le coût d'investissement de l'installation et la méconnaissance du process restent les freins majeurs à l'utilisation du procédé, des développements et des travaux de recherche sont toujours en cours. Cependant, même si la technique est encore peu sortie des laboratoires qui l'ont mise au point, on notera que Caterpillar a acquis la licence en 2007 pour évaluer le procédé.

Réduction de l'impact écologique

Nous sommes tous aujourd'hui sensibilisés et/ou contraints par les normes environnementales. À ce titre, le nettoyage laser qui est un procédé sans éléments additifs, a de nombreux avantages. Il n'y a en effet pas de retraitement de sable ou autre polluant liquide, une aspiration permet de collecter les particules de salissure. Si aujourd'hui il



FIGURE 17 : Nettoyage laser de panneaux solaires.



FIGURE 18 : Création de motif peint par nettoyage laser.

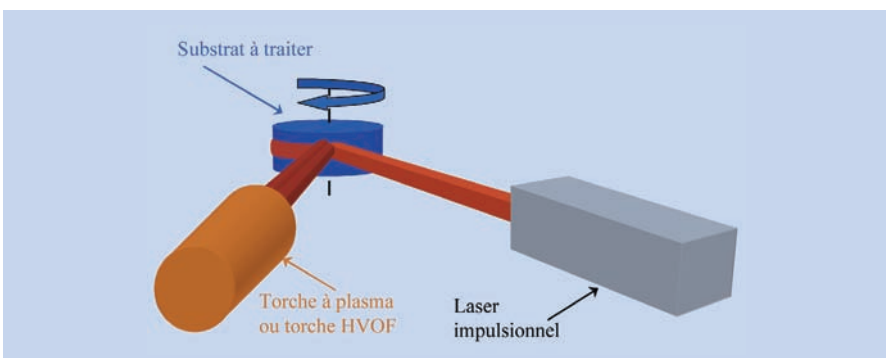


FIGURE 19 : Principe du procédé Protal.

Substrat	Matière de revêtement (APS-F4)	Préparation de surface	Résistance d'adhérence (Mpa)
TiAl6V4	Cuivre	Corindonnage	60
TiAl6V4	Cuivre	Laser 0,75 J/cm ²	55
TiAl6V4	Nickel-Chromium 20	Corindonnage	60
TiAl6V4	Nickel-Chromium 20	Laser 0,75 J/cm ²	55
TiAl6V4	Al2O3/13%TiO2	Corindonnage	80
TiAl6V4	Al2O3/13%TiO2	Laser 0,75 J/cm ²	80

TABLEAU 1 : Résultats d'adhérence.

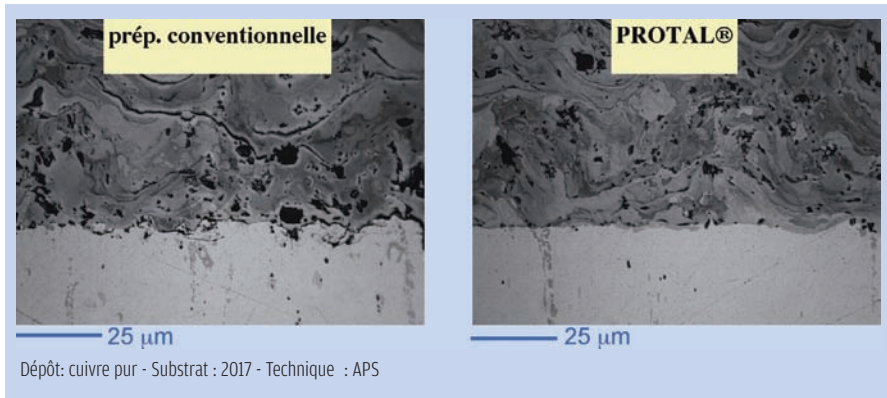


FIGURE 20 : Macrographies comparatives entre une préparation conventionnelle et le procédé Protal.

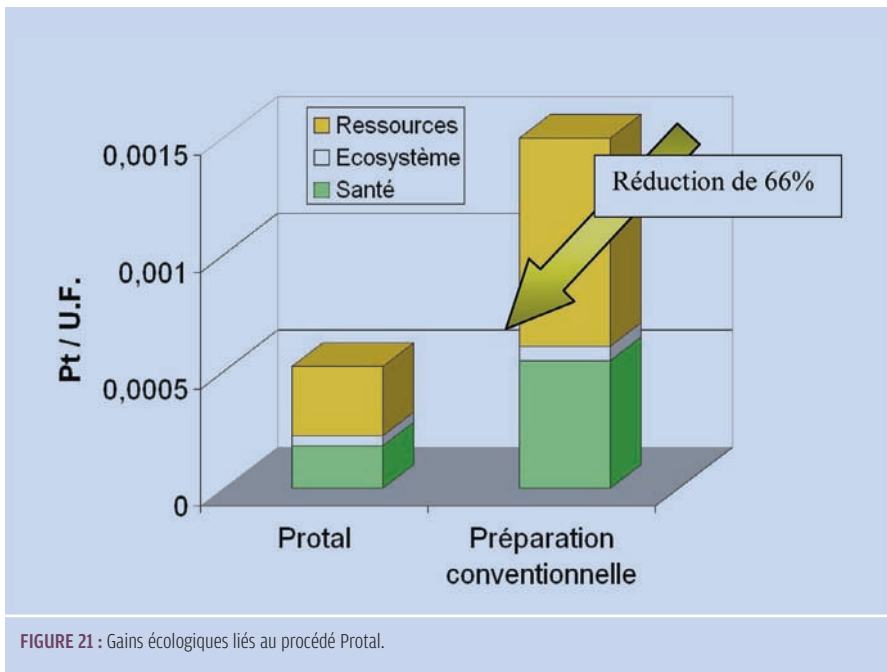


FIGURE 21 : Gains écologiques liés au procédé Protal.

Bibliographie

- G. Oriol, J.P. Gauffillet, Nettoyage des monuments historiques par désincrustation photonique des salissures, Technologie Industrielle Conservation Restauration du Patrimoine Culturel, Colloque AFTPV/SFIIC, Nice (1989).
- V. Vergès Belmin, Nettoyage des pierres des monuments français par laser, comparaison avec d'autres méthodes, microsablage et compresse chimique. Preservation and restoration of Cultural Heritage, Proc. of the LCP Congress, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (1995).
- François Brygo, Etude de l'interaction laser - matière appliquée à la décontamination de peintures, thèse soutenue à l'université de Bourgogne, décembre 2005.
- H. Li, S. Costil, H-L. Liao, and C. Coddet V. Barnier and R. Oltra, Surface preparation by using laser cleaning in thermal spray. Journal of laser applications, 2008.
- F. Machi, A. Cornet, F. Hlawka, N. Serres, S. Costil, C. Langlase, Impact of laser on the écodesign of coatings carried out by dry process, Cleanmeca, octobre 2008.
- F. Machi, Cleaning technology by laser process, Intersurface, octobre 2008.
- R. Vierstraete, W Ehling, F. Pinard, L. Cretteur, A. Pic and Q. Yin, Laser ablation for hardening laser welded stell blanks, Industrial laser solution, 2010.
- Y. Danlos, S. Costil, X. Guo, H. Liao, C. Coddet, Ablation laser and heating laser combined to cold spraying, SCT-15791 2010.
- S. Costil, E. Irissou, Y. Danlos, W. Wong, J.-G. Legoux, C. Moreau, V. Guipont, S. Yue, M. Jeandin, C. Coddet, The Protal process applied on Cold Spraying to improve interface adherence and coating cohesion - case of titanium and nickel based alloys, ITSC, mai 2010.

n'y a que peu d'études poussées sur l'impact écologique, cette première donnée comparative entre le sablage et le nettoyage laser lors du procédé Protal est parlante. Dans ce cas, le laser a une action de nettoyage de la surface tout en créant une rugosité suffisante pour assurer l'accrochage mécanique du dépôt. La réduction de l'impact sur l'environnement est ici liée à l'élimination de l'opération de dégraissage et de sablage.

Conclusion

Nous vivons actuellement des sauts technologiques importants avec l'évolution des sources laser. Elles sont aujourd'hui de plus en plus puissantes, de plus en plus compactes, avec des rendements opto-électriques de plus en plus performants.

Ces évolutions associées aux contraintes environnementales ouvrent la voie à une dissémination importante du nettoyage laser dans le tissu industriel.

Il est fort à parier que les traitements de nettoyage laser qui se développent aujourd'hui vont fortement progresser dans les années à venir, pas seulement dans des domaines « high tech » comme l'industrie aéronautique très demandeuse aujourd'hui, mais aussi pour une multitude d'applications industrielles à ce jour non encore identifiées. Cependant, comme il existe plusieurs process laser, seules des compétences croisées en analyse de surface, connaissance des matériaux et technologies laser permettent d'aboutir à une application industrielle optimisée.