

# ESSAIS COMPARATIFS DE DÉCAPAGE DE PEINTURE AU PLOMB SUR ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES (GARE D'AUSTERLITZ) ET BÉTON (*LE CYCLOPE*, JEAN TINGUELY ET NIKI DE SAINT-PHALLE)

JEAN-BERNARD MEMET ET PHILIPPE DE VIVIÈS<sup>1</sup>

A-Corros est à la fois un bureau d'études matériau basé à Arles, spécialisé dans le diagnostic de la corrosion et la formulation de préconisations de lutte contre la corrosion, mais c'est aussi un laboratoire de conservation-restauration. Il possède trois domaines principaux d'activité : patrimoine, industrie et monuments historiques.

Dans le domaine du patrimoine, et plus spécifiquement des biens culturels, A-Corros œuvre à la conservation-restauration de collections d'objets archéologiques ou historiques et la restauration de sculptures d'art contemporain. Par ailleurs, nous nous sommes spécialisés dans la stabilisation de la corrosion d'objets archéologiques et avons en particulier codéveloppé une technique innovante – la stabilisation par les fluides subcritiques – qui permet de réduire drastiquement les temps de traitement. La séparation sémantique que nous faisons entre patrimoine et monuments historiques vient du fait que les protocoles dans le domaine des monuments historiques sont souvent plus proches de l'industrie que de ceux des biens culturels. Enfin, nous réalisons également des missions de conseil pour le choix des matériaux et des revêtements pour des projets architecturaux, notre patrimoine de demain.

En quoi sommes-nous concernés par cette problématique plomb ? Il suffit pour cela de consulter nos activités du quotidien :

- le diagnostic de la corrosion des charpentes métalliques : nous travaillons régulièrement sur des charpentes anciennes dont les peintures sont écaillées ; en particulier les couches primaires à base de minium de plomb. Aussi, que ce soit lors du constat d'état visuel de peintures écaillées, de la caractérisation détaillée des peintures ou de prélèvements des métaux, nous sommes régulièrement confrontés à la présence de plomb dans les couches primaires de revêtement ;
- la réalisation d'essais préalables de décapage : sur la grande statuaire ou sur les charpentes métalliques, ces essais se heurtent souvent en tout premier lieu à la présence de plomb dans les couches de peinture ;
- la conservation-restauration de collections historiques ou archéologiques : nous restaurons régulièrement des collections composée d'alliage à base plomb ; ce point ayant été également abordé par le laboratoire Arc'Antique au cours de la journée.

<sup>1</sup> Le texte ici présenté est une transcription des interventions orales de Jean-Bernard Memet et Philippe de Viviès lors de la journée d'études, réalisée par Pauline Parfait et Nina Robin.

Depuis une petite dizaine d'années, en matière de diagnostic des monuments historiques, le plomb et l'amiante se sont immiscés petit à petit dans notre quotidien. Les essais à mener durant le diagnostic sont à la fois non destructifs (essais de dureté des matériaux, essais de réplique métallographique des matériaux) mais également destructifs : nous avons besoin de prélever pour déterminer la nature d'un métal, ses caractéristiques métallographiques et mécaniques au travers d'essais de traction. Ce qui est important de retenir aujourd'hui est que même lorsque ces essais sont non-destructifs, le revêtement doit être retiré et nous partons du principe qu'il y a du plomb dans les peintures sur lesquelles nous sommes amenés à travailler; aussi, nos opérateurs sont équipés en conséquence.

Pour toute opération de diagnostic, quel que soit le niveau de connaissance préalable de l'ouvrage, nous n'avons pas toujours accès à un diagnostic plomb ou amiante en amont; c'est pourquoi nous considérons qu'il faut adapter les équipements de protection individuels comme s'il y avait du plomb et conditionner les déchets de notre intervention, même pour de petites quantités (en effet, on peut imaginer que pour faire un diagnostic en une dizaine de points sur un ouvrage, les quantités de déchets ne sont pas importantes).

La documentation sur laquelle nous appuyons notre expertise a déjà été mentionnée par M. Matty dans une intervention précédente (i.e. « Exposition au plomb et réglementation - Obligations des différents acteurs », Fabrice Matty, contrôleur de sécurité CRAMIF). Il s'agit des documents INRS et OPPBTP, notamment le fascicule 909 de l'INRS sur l'intervention sur les peintures contenant du plomb ou la fiche prévention de l'OPPBTP sur le décapage des peintures plombifères. Pour les mesures, nous nous référons aux normes, « Diagnostic plomb et protocole de réalisation du constat de risque d'exposition » ou « L'analyse chimique des peintures », ainsi que sur celle liée à la fluorescence X sur site.

## Les exemples d'opération de décapage du plomb pour diagnostic

### Exemple de l'hôtel de la Monnaie, l'atelier d'estampage, 2013

A-Corros a été sollicité pour un prélèvement de métal pour faire une analyse métallographique et une caractérisation du matériau. Les protections plomb devaient être installées autour de la zone à prélever; des équipements de protection individuels devaient être portés par les intervenants. Un décapage par gel chimique caustique a été effectué : une fois que la zone était décapée concernant le plomb, la découpe d'un bout de gousset a été réalisée. (fig.1, a, b, c)



**Figure 1 (a, b, c)** Paris, hôtel de la Monnaie, atelier d'estampage. Découpe d'échantillons pour diagnostic plomb. ©A-Corros.

### Exemple de la coupole en fonte de la Bourse du Commerce

Ce cas est un exemple de mesures non destructives. La mission était de déterminer les caractéristiques mécaniques des fontes utilisées sur la coupole de la Bourse du Commerce, qui constitue la première charpente métallique en fonte édifée à Paris. Pour réaliser les 120 analyses de dureté, la peinture a d'abord été décapée par le biais de gel chimique (**fig. 2, a, b**) : les mesures de dureté portables ont été effectuées une fois que la structure a été débarrassée de la peinture au plomb. (**fig. 3**)



**Figure 2 (a, b)** Paris, coupole en fonte de la Bourse du Commerce. Décapage de la structure à l'aide d'un gel chimique. ©A-Corros.



**Figure 3** Paris, coupole en fonte de la Bourse du Commerce. Mesure de dureté sur une zone décapée. ©A-Corros.

### Exemple de la grande halle des voyageurs de la gare d'Austerlitz

Cette étude a été menée sous maîtrise d'œuvre AREP et maîtrise d'ouvrage SNCF, en collaboration avec la société Expiris (diagnostiqueur de peinture). Elle a été menée dans un contexte tendu avec des problèmes survenus dans la gare de Bordeaux, largement évoqués dans la presse. L'objectif était simple car il s'agissait tout d'abord de réaliser une étude comparative entre deux techniques de décapage de peinture. Une étude préalable avait déjà été menée sur une partie de la gare avec des techniques de sablage à induction. Cette étude intervenait

donc à la suite de ces essais : SNCF et AREP voulaient mener deux nouveaux essais, d'une part avec le procédé Sponge Jet®; d'autre part avec un procédé de décapage chimique. Le procédé Sponge Jet®, littéralement « jet d'éponge », est arrivé en France il y a une douzaine d'années. Le principe consiste à projeter sur la surface des éponges synthétiques contenant de l'abrasif; le contact de l'éponge avec la surface crée une dépression qui va arracher la peinture. La peinture est censée rester dans la petite éponge. Les éponges utilisées sont passées dans un pot vibrant, ce qui sépare la peinture de l'éponge, et on peut en théorie recycler ensuite l'éponge. Ce recyclage fonctionne en théorie : il y a débat sur la notion de recyclage. L'objectif était de réaliser cette étude comparative entre le décapage chimique, avec trois décapants d'une même marque, et le procédé Sponge Jet®; ainsi que dans deux conditions différentes de travail, d'une part sur un chéneau qui avait été déposé en raison de son état de corrosion, d'autre part sur plusieurs éléments en conditions réelles, sur nacelle, la nuit. Au préalable, une étude de caractérisation des couches de surface avait été menée par Expiris : elle montrait que l'on était en présence de sept couches différentes, dont trois contenaient du minium, avec une épaisseur globale de 600 microns, ce qui constitue une épaisseur conséquente, bien que largement inférieure aux couches situées sur la tour Eiffel.

Pour le décapage, il existe différentes techniques : le sablage « classique », le procédé Sponge Jet®, le décapage par induction, par laser, par flammes; dans les décapages chimiques, il existe une grande diversité de marques de décapants caustiques ou de chimie verte. Dans notre cas, ce sont les produits de la marque Dumont® qui ont été sélectionnés en amont, en accord avec le maître d'œuvre. Le protocole mis en œuvre sur les éléments a été relativement simple : photographie de la zone concernée, mesure de la teneur en plomb au spectromètre de fluorescence X, mise en œuvre du procédé de décapage du revêtement, mesure de la teneur en plomb au spectromètre de fluorescence X après décapage, photographie de la zone après décapage. Un certain nombre de critères de choix définis dans le cadre du projet ont été évalués : facilité de mise en œuvre; avis de l'utilisateur sur les nuisances générées; efficacité sur le retrait du plomb; bruit généré par le procédé (puisque'il s'agit d'une gare dite « de fin de voies » avec un bruit important au regard des usagers, des commerçants et des agents SNCF, le volume sonore a donc également été testé); déchets générés par le procédé, poids et évacuation; état de surface post-décapage en lien avec l'étape de restauration qui doit suivre.

Les mesures de la teneur en plomb, avec des seuils de 1 milligramme par centimètre carré au spectromètre de fluorescence X, ont été réalisées sur les différentes zones. Les essais de décapage ont d'abord été réalisés sur de petites zones avant de passer en conditions réelles, pour sélectionner parmi les produits caustiques de la marque Dumont® celui qui serait le plus adapté en fonction de la nature des peintures concernées et de l'épaisseur du système de peinture.

Les différentes étapes sont illustrées sur les figures ci-contre : l'application du gel caustique (**fig. 4, a, b**), l'enveloppement du gel dans une poche étanche (**fig. 5**). Le résultat des différentes solutions est visible : sur les zones 1, 2 et 3, pour un temps d'attente de 12 h en moyenne, on observe que le décapage de la zone 3 a mieux fonctionné : la calamine a été retrouvée (**fig. 6 et 7**). Les résultats des trois produits sont récapitulés dans un tableau, avec les conclusions de l'essai notées, les teneurs en plomb avant et après décapage. Les résultats sont satisfaisants, néanmoins il reste encore du plomb sur les surfaces, ce qui est l'un des inconvénients des décapants chimiques. Les décapants chimiques sont très simples d'utilisation sur des panneaux plans, mais dès lors que l'on travaille sur des croix de Saint-André



**Figure 4 (a, b)** Paris, gare d'Austerlitz, grande halle des voyageurs. Essais de décapage au gel chimique (caustique) sur chéneau déposé : application des trois solutions Dumond Chemicals®. ©A-Corros.



**Figure 5** Paris, gare d'Austerlitz, grande halle des voyageurs. Essais de décapage : attente confinée de 6 à 24 h. ©A-Corros.



**Figure 6** Paris, gare d'Austerlitz, grande halle des voyageurs. Résultats des trois zones de décapage au gel chimique. ©A-Corros.



**Figure 7** Paris, gare d'Austerlitz, grande halle des voyageurs. Détail de la zone-test n°3 de décapage au gel chimique : la calamine a été « retrouvée ». ©A-Corros.

ou sur des rivets multiples, enlever le plomb requiert des étapes supplémentaires. En termes d'avantages, il faut noter que ces produits sont en phase aqueuse, sans solvant, ininflammables, ils n'attaquent pas les plastiques ni les joints; cependant, le pH est situé autour de 11-12, la manipulation n'est donc pas anodine, des équipements de protection adaptés sont donc requis (combinaisons, casques à ventilation, gants, sur-gants, sur-bottes) et la nacelle a été complètement encapsulée pour travailler. Un autre inconvénient majeur des décapeurs caustiques est l'effet retardateur des poussières et des salissures, le décapage est donc beaucoup moins bien maîtrisé. De plus, la rugosité atteinte n'est pas satisfaisante pour la bonne application de la peinture. Avec le procédé *Sponge Jet*®, les conditions sont similaires au sablage : bâche étanche, petit sas avec pédiluve pour décontaminer les chaussures. Différents abrasifs ont été testés. Sur les deux photographies ci-contre, le travail est en cours : comparativement au sablage, le procédé *Sponge Jet*® permet d'aller plus vite car l'utilisateur voit mieux le résultat du travail en cours. La rugosité obtenue est parfaite pour la remise en peinture. Ce procédé permet également de bien décapier les zones complexes comme les rivets, sans avoir à faire plusieurs passages. Pour conclure, ce procédé génère moins de poussières que le sablage et offre donc une très bonne visibilité pour l'utilisateur, le balayage est plus rapide et la rugosité de surface est idéale pour la remise en peinture. La notion de recyclage, avec les éponges qui peuvent être recyclées deux à trois fois, est soumise au débat. Le gros inconvénient est que, d'après la FDS, deux constituants cancérigènes sont présents dans la composition de l'éponge : dioxyde de titane et trioxyde de difer.

### **Essais menés sur une sculpture monumentale, *Le Cyclope de Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt***

Cette sculpture est une mosaïque de miroirs collés sur un substrat en béton, lui-même renforcé par un grillage de poulailier. La problématique concernait la corrosion des tains des miroirs, qui allait du ternissement du miroir à la chute du verre pour les zones les plus altérées, ce qui avait conduit au bâchage de l'œuvre en raison des risques pour les visiteurs. Une première étude a été mandatée en 2014 par le CNAP en collaboration avec le LRMH. Il s'agissait de comprendre les modes de dégradation de ces miroirs et de prévoir une issue à cette dégradation. Le processus de corrosion des tains des miroirs a été mis en évidence et entraîne la chute du verre, tandis que le tain reste accroché au substrat en béton. Des premiers tests ont été faits afin de diagnostiquer la présence de plomb dans les tains. Des prélèvements ont également été analysés au microscope électronique à balayage. La question s'est ensuite posée des conséquences de la présence de plomb sur le travail de restauration de l'œuvre, du point de vue de la méthodologie et du coût de la restauration.

Un premier diagnostiqueur est intervenu, sans connaître la problématique : ses premiers tests par fluorescence X ont été réalisés à la surface des miroirs, et se sont révélés négatifs; il a fallu le guider et lui dire de réaliser ses mesures directement sur les tains en dessous des verres pour que les tests soient pertinents. Les teneurs en plomb étaient en limite inférieure de 1 mg/cm<sup>2</sup>; par principe de précaution, il a été décidé de mettre en place des essais de décapage du plomb afin de connaître la technique la plus adaptée, son efficacité et son coût pour financer la campagne de restauration. Comme nous l'avons cité précédemment, il existe des techniques de sablage classiques, le procédé *Sponge Jet*® et des décapages chimiques. *Le Cyclope* est situé au milieu d'une forêt, la problématique était de ne pas contaminer l'environnement, tout en permettant de maintenir la présence des visiteurs durant le temps de la

restauration. Les techniques de sablage classique ont été mises à l'écart suite à de mauvaises expériences sur des chantiers précédents où malgré la mise en place de mesures de sécurité importantes et de confinements, des taux de plomb élevés étaient relevés à l'extérieur du chantier. Les essais ont donc été menés avec le procédé Sponge Jet®, avec des décapants chimiques ainsi que par cryogénie.

## Méthodes de décapage



**Figure 8** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Procédé Sponge Jet® de décapage par projection d'éponges abrasives. ©A-Corros.

Le procédé Sponge Jet® est un décapage par projection d'éponges abrasives (fig. 8 et 9). L'éponge est projetée contre le substrat, elle s'écrase et le grain vient alors contre le support, générant très peu de poussières. Le substrat est en partie absorbé par l'éponge; le reste tombe au bas de la paroi.



**Figure 9** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Procédé Sponge Jet® : détail des éponges abrasives. ©A-Corros.



**Figure 10** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Cryogénie avec ou sans abrasif : décapage par projection de pastilles de CO<sub>2</sub>. ©A-Corros.

La cryogénie consiste à projeter du CO<sub>2</sub> congelé sur la paroi ou sur l'œuvre; l'inconvénient majeur est le manque de visibilité lors de la mise en œuvre de cette technique (fig. 10 et 11). Ce procédé est aussi très dépendant des conditions atmosphériques dans l'environnement car, si elles ne sont pas bonnes, la glace CO<sub>2</sub> se fige dans les appareils et il devient difficile de travailler.

Pour le décapage chimique, deux marques différentes ont été testées (fig. 12, 13, 14).



**Figure 11** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Mise en œuvre du procédé de cryogénie sur la sculpture. ©A-Corros.



**Figure 12** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Application de décapant chimique sur la sculpture. ©A-Corros.



**Figure 14** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Gel décapant *D'Cap Vert*, Biorox®. ©A-Corros.



**Figure 13** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Gel décapant *SmartStrip 1*, Dumond®. ©A-Corros.

## Tests et résultats

Une zone de protection a été mise en place autour de la zone de miroir test, dont la dépose était prévue (**fig. 15 et 16**). Une bande de test a été effectuée pour les trois techniques, selon le même déroulement : dépose du miroir, application du traitement, mesure de la quantité de plomb présente sur la zone avant et après, mesure de la quantité de plomb déposée sur les murs de la tente de confinement.

Des tests lingettes ont été effectués pour analyser la quantité de plomb surfacique avant et après intervention. Avec la cryogénie, environ 60 % de la teneur en plomb a été extraite; les résultats des gels décapants ont été légèrement supérieurs; pour le procédé *Sponge Jet*®,



**Figure 15** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Détail de la zone-test, entourée de ruban adhésif. ©A-Corros.



**Figure 16** *Le Cyclope*, Jean Tinguely et Niki de Saint-Phalle, Milly-la-Forêt. Confinement installé autour de la zone-test : on note également les protections revêtues par l'intervenant (combinaison en Tyvek®, masque intégral à cartouches, gants). ©A-Corros.

l'efficacité a été d'environ 95 %. Concernant les tests surfaciques menés sur les parois de la tente de confinement, les résultats étaient inférieurs aux valeurs seuil de 1 milligramme par  $\text{cm}^2$  (fig. 17).

Nature du test	Cryogénie	Gels	Sponge Jet®
Surface analysée ( $\text{m}^2$ )	0,024	0,025	0,03
Concentration en plomb acido-soluble calculée ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) AVANT	34	47,3	18,9
Concentration en plomb acido-soluble calculée ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) APRÈS	14	5,1	0,9
% de la teneur en plomb extrait	58,8%	89,2%	95,3%

**Figure 17** Synthèse des résultats d'analyse du plomb, en fonction des trois méthodes de décapage.

Ces tests ont permis de voir quelles étaient les méthodes les plus adaptées pour la restauration de cette œuvre ainsi que de chiffrer le temps approximatif de restauration et le coût des protections à mettre en place. Les essais préalables dans ce type de configuration sont donc extrêmement importants.

### Les auteurs

**Jean-Bernard Memet** docteur en science des matériaux et fondateur d'A-Corros.

**Philippe de Viviès** conservateur-restaurateur objets et sculptures métalliques, co-gérant d'A-Corros