

# NETTOYAGE D'ŒUVRES EN PIERRE PHASE TEST POUR LA MISE AU POINT DES PROTOCOLES DE NETTOYAGE EN PRÉSENCE DE PLOMB

BARBARA BRUNET-IMBAULT

**Résumé** La présence de particules de plomb mesurée sur des parements de pierre a bouleversé la mise en œuvre des protocoles de nettoyage de la pierre il y a quelques années. Depuis, la profession tente de faire face à cette nouvelle problématique engendrant un enjeu à la fois technique et financier. La mise au point du protocole de nettoyage de la pierre doit passer par une phase test comprenant un suivi métrologique de l'émissivité en plomb des procédés pour pouvoir définir les protections collectives et individuelles nécessaires au nettoyage de la pierre. Un exemple de cas concret est présenté dans ce travail pour illustrer la méthodologie à mettre en œuvre pour l'exécution de la phase test.

Les œuvres sculptées, décors et maçonneries en pierre de taille peuvent comporter des particules de plomb dans et/ou sur leur épiderme. Il y a quelques années, des mesures ont montré que des prélèvements faits sur des parements de pierre de taille pouvaient comporter du plomb dont nous ne connaissons, à ce jour, ni parfaitement l'origine ni précisément la forme sous laquelle il se trouve. Ce plomb à la surface de la pierre a fondamentalement bouleversé l'approche du nettoyage des parements et sculptures en en faisant une problématique aux enjeux multiples : assurer la conservation des épidermes des œuvres ou parements de pierre tout en retirant les dépôts de poussières contenant du plomb en protégeant les hommes.

L'objectif à atteindre dans cette phase de travaux est de retirer les dépôts présents sur la pierre en garantissant la conservation et la préservation à long terme des épidermes du matériau. L'objectif dans le cas présent est très différent du retrait d'anciennes couches de peinture au plomb; il ne s'agit pas ici d'une opération de déplombage. Après nettoyage de l'œuvre, il reste, dans tous les cas, des particules de plomb à la surface et/ou dans l'épiderme.

Face au risque d'exposition au plomb, la méthodologie du restaurateur doit reposer sur trois étapes :

- évaluer le risque lors du diagnostic;
- définir l'émissivité des différents procédés de nettoyage possibles au regard de l'état de conservation des épidermes de l'œuvre;
- adapter le protocole de nettoyage en définissant les protections collectives et individuelles nécessaires et suffisantes.

## Évaluation du risque - phase I. Diagnostic de la présence de plomb

La 1<sup>re</sup> phase d'évaluation du risque d'exposition au plomb doit permettre de déterminer la teneur en plomb présente sur et dans l'épiderme de l'œuvre en pierre. Cette teneur en plomb sera déterminée par des mesures surfaciques pratiquées par prélèvements à la lingette, par dosages du plomb acido-soluble prélevé à la lingette et par des prélèvements massiques en cas de présence de revêtements de type badigeons ou autres.

Le prélèvement surfacique est réalisé à l'aide d'une lingette sur une surface précisément connue de 30 × 30 cm<sup>2</sup> à l'aide d'un gabarit. La teneur en plomb est exprimée en µg/m<sup>2</sup>. Le diagnostic de la présence de plomb par mesure surfacique de teneur en plomb sera complété par une mesure de teneur en plomb massique sur un échantillon d'écaille d'épiderme dans le cas de présence de recouvrements de type badigeons ou autres sur l'œuvre en pierre. La teneur en plomb massique est alors exprimée en mg/g et une analyse stratigraphique associée permettra d'identifier la ou les couches comportant du plomb, sous forme d'oxydes utilisés en pigments par exemple. La teneur en plomb massique est le reflet de la quantité de plomb présente à la surface et en subsurface de l'épiderme mais attention ! : même inférieure à son seuil de 1,5 mg/g, elle peut engendrer une émissivité de particules de plomb dans l'environnement de travail lors du nettoyage de l'œuvre, propre à contraindre les conditions de nettoyage par certains procédés.

Le diagnostic de l'œuvre fournissant la teneur en plomb surfacique et massique de son épiderme n'est donc pas suffisant pour évaluer le risque d'exposition au plomb lors des taches de nettoyage de celle-ci. En cas de présence de plomb, l'évaluation du risque d'exposition au plomb doit être poursuivie par la mesure d'émissivité des procédés de nettoyage.

La phase I d'évaluation du risque d'exposition au plomb consistant à rechercher la présence de plomb sur et dans l'épiderme de l'œuvre sera idéalement réalisée en phase de diagnostic de l'œuvre permettant de qualifier l'état sanitaire de celle-ci ou, au plus tard, en phase de préparation du chantier de restauration. La phase de diagnostic est déjà une phase durant laquelle le restaurateur peut être en contact avec des particules de plomb présentes sur et/ou dans l'épiderme. Le contact de l'œuvre présente donc un risque de contamination des mains, donc d'ingestion et, par extension, un risque de contamination des outils utilisés pour le relevé : feutres, tablette, téléphone portable... Le relevé avec des feutres dont on met instinctivement les capuchons à la bouche est donc à proscrire, ils peuvent être remplacés par un stylo 4 couleurs; la tablette et le téléphone portable doivent être protégés par un film étirable qui sera jeté en sortie de zone de travail et les outils de travail seront nettoyés à la lingette jetable avant d'être rangés dans le sac de transport. Les relevés cartographiques sur feuilles de papier seront numérisés ou photocopiés de retour au bureau avant d'être reportés informatiquement ou remis au propre, afin d'éviter tout risque de contamination secondaire au bureau, dans un espace par ailleurs plus propice à l'ingestion de boissons ou nourriture en travaillant.

## Évaluation du risque - phase II.

### Définition de l'émissivité des procédés possibles

Le risque d'exposition au plomb permet au restaurateur, compte tenu du diagnostic sanitaire de l'œuvre, de définir les différents procédés de nettoyage et/ou allègement en plomb possibles. Si la 1<sup>re</sup> phase d'évaluation du risque a montré la présence de plomb sur ou dans

l'épiderme, l'émissivité en plomb des différents procédés possibles pour le nettoyage de l'œuvre doit donc être mesurée.

À cette phase de la réflexion dans la mise au point du protocole de nettoyage de l'œuvre, tous les procédés pouvant permettre le nettoyage de celle-ci ou pouvant participer à son nettoyage en allégeant la teneur en plomb surfacique doivent être listés, en évaluant les avantages et inconvénients : les procédés mécaniques de projection de granulats peuvent être émissifs de poussières chargées en plomb, les procédés par action de principes actifs chimiques sous forme de compresses ou cataplasmes présentent un risque en cas de contamination saline de l'œuvre ou de vestiges d'anciens consolidants, les gels polymères pelables peuvent être contre-indiqués en fonction de l'état de cohésion des épidermes...

À la lumière de l'état sanitaire de l'œuvre, les procédés possibles sont sélectionnés pour être testés et évalués grâce à un suivi métrologique durant la phase test. Des mesures surfaciques de teneurs en plomb au sol de la zone de travail sont alors faites, avant et après application de chaque procédé ou tâches nécessaires au nettoyage de l'œuvre, et des mesures atmosphériques de teneurs en plomb sont réalisées sur l'opérateur grâce à une pompe de prélèvement, placée au plus près de ses voies respiratoires et dans l'environnement à proximité de la zone de nettoyage. Les mesures atmosphériques fournissent la teneur en plomb de l'air pompé en  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Le code du travail encadre précisément cette valeur de teneur en plomb atmosphérique : à partir d'une valeur de  $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$  prélevé sur 8 heures, le poste de travail est considéré à risque et l'opérateur doit faire l'objet d'un suivi médical renforcé; au-delà de  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ , le poste de travail doit être arrêté, la tâche réévaluée pour être modifiée afin d'être moins exposante au risque de contamination par le plomb. La mesure de plomb atmosphérique est encadrée et définit la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP). Au regard de la VLEP, les mesures de teneur en plomb atmosphérique mesurées lors du chantier test permettent de déterminer le risque d'exposition au plomb.

Tout comme les mesures surfaciques et les mesures massiques, les mesures atmosphériques de teneur en plomb seront réalisées par un laboratoire missionné spécifiquement. La phase test étant une phase d'évaluation du risque d'exposition au plomb et ne connaissant pas, *a priori*, l'émissivité des différents procédés testés, les protections collectives et individuelles nécessaires à la protection de l'environnement de la zone de travail et des restaurateurs devront être mises en place. Les protections collectives doivent toujours primer sur les protections individuelles. Les protections collectives consistent à isoler la zone de travail par un bâchage et à en contrôler l'accès par un sas de trois compartiments comportant un pédiluve. Pour une phase test, ces dispositions peuvent être réalisées en structure légère de poteaux habillés de polyane. L'isolement de la zone de travail d'un test par projection de granulats est assuré par un joint de mousse expansée et un extracteur d'air est mis en place. Les protections individuelles comporteront *a minima*, outre les équipements de sécurité, une combinaison jetable à usage unique, un masque P3 à cartouches et lunettes en fonction du temps de la tâche ou un masque intégral à ventilation assistée, des gants jetables, des surchausses ou bottes aisément décontaminables.

Pour exemple, les enseignements d'un chantier test sont présentés dans la figure 1. Il s'agit d'un chantier test de nettoyage réalisé sur les parements de pierre de taille de l'hôtel de la Monnaie à Paris pour le compte de la Monnaie de Paris. Réalisé sous la direction de Monsieur Daniel Lefevre, architecte en chef des Monuments historiques, il a été réalisé avec le concours d'Antea, assistant à maîtrise d'ouvrage sur le risque lié à la présence de plomb, de l'entreprise de taille de pierre et maçonnerie PIERRENOEL et du cabinet Studiolo, bureau

	Teneur en plomb par accessibles à la lingette par prélèvement surfacique ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )	Teneur en plomb sur prélèvement atmosphérique d'air sur opérateur ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
<b>Test de nettoyage par injection-extraction d'eau</b>		
Sur pierre AVANT	630 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur pierre APRÈS	< 6 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur sol APRÈS	< 80 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
PENDANT la mise en œuvre		< 0,04 $\text{mg}/\text{m}^3$
<b>Test de nettoyage par application de gel polymère pelable (Syrax® de ECP)</b>		
Sur pierre AVANT	1220 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur pierre APRÈS	127 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur sol APRÈS	< 80 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
PENDANT l'application		< 0.023 $\text{mg}/\text{m}^3$
PENDANT le retrait		0.057 $\text{mg}/\text{m}^3$
<b>Test de nettoyage par application de cataplasme ou polymère (Syrax® de ECP) et rinçage par injection-extraction d'eau</b>		
Sur pierre AVANT	1350 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur pierre APRÈS	120 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur sol APRÈS	< 80 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
PENDANT l'application		< 0.018 $\text{mg}/\text{m}^3$
PENDANT le retrait		0.021 $\text{mg}/\text{m}^3$
<b>Test de nettoyage par micro-abrasion en voie humide après un passage d'injection-extraction d'eau</b>		
Sur pierre AVANT	590 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur pierre APRÈS	< 80 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur sol AVANT	1090 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
Sur sol APRÈS	1400 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	
PENDANT la mise en œuvre		0.017 $\text{mg}/\text{m}^3$

**Figure 1** Teneurs en plomb surfaciques et atmosphériques lors d'un chantier test de nettoyage de parement pierre par quatre procédés de nettoyage distincts.

d'études pour le diagnostic sanitaire des parements et la mise au point du protocole de nettoyage de ceux-ci.

Dans l'exemple fourni, quatre procédés ont été testés. Pour chaque procédé, les mesures surfaciques de teneur en plomb ont été faites avant et après mise en œuvre du procédé et une mesure atmosphérique de teneur en plomb sur opérateur a été réalisée pendant la mise en œuvre du procédé.

La **figure 1** montre que les teneurs surfaciques en plomb sont variables d'une zone à l'autre du parement et que, en fonction des états de surface (hétérogénéité de la pierre en termes de rugosité), les teneurs en plomb surfaciques peuvent être très variables. Le prélèvement surfacique à la lingette sur un matériau parfois très ouvert comme la pierre est, par ailleurs, difficilement reproductible. Les trois premiers procédés testés ont été réalisés dans des zones contiguës de parement. Le quatrième procédé, mettant en œuvre la micro-abrasion, a été réalisé dans une zone différente, présentant un état de surface comportant plus de dépôt atmosphérique. La teneur en plomb surfacique avant mise en œuvre de la micro-abrasion mais après injection-extraction d'eau ne peut donc être comparée à la teneur en plomb après injection-extraction du premier procédé, les états de surface étant très différents.

La **figure 1** indique qu'en termes de teneur en plomb surfacique au sol dans la zone de travail, les trois premiers procédés n'engendrent pas de contamination au sol de la zone de travail. Le quatrième procédé, mettant en œuvre la micro-abrasion par projection de granulats, engendre une contamination au sol de la zone de travail. En termes de teneur en plomb atmosphérique, le nettoyage par micro-abrasion est moins émissif que le dépôt du cataplasme, tout en restant inférieur au 1<sup>er</sup> seuil de la VLEP, tandis que le dépôt du gel pelable, fortement adhérent au parement de pierre, engendre un dépassement du seuil de surveillance de la VLEP.

## Définition des protections collectives et individuelles nécessaires et suffisantes

À la lumière du suivi métrologique des teneurs en plomb surfaciques et atmosphériques, les protections collectives et individuelles peuvent être déterminées. Dans l'exemple illustré par la figure 1, le nettoyage par injection-extraction d'eau n'engendre pas d'émissions de particules de plomb et ne nécessite donc pas de protections collectives et individuelles spécifiques au risque d'exposition au plomb.

En ce qui concerne le nettoyage par gel pelable, la tâche de retrait du pelable nécessite une protection collective d'isolement de la zone, une protection du sol par polyane pour contenir et récupérer le gel pelable contaminé et une protection individuelle respiratoire par masque à ventilation assistée.

En ce qui concerne le nettoyage par micro-abrasion, du point de vue de l'émission de plomb dans la zone de travail, les mesures indiquent que l'isolement de la zone est nécessaire, comprenant protection du sol par polyane et protection individuelle respiratoire par masque à ventilation assistée.

## Conclusion

La phase test pour la mise au point des protocoles de nettoyage en présence de plomb sur la pierre permet d'ajuster les protections collectives et individuelles nécessaires à l'exécution

du nettoyage de la pierre en toute sécurité pour les restaurateurs et intervenants à proximité. La méthodologie présentée dans ce travail illustrée par un cas concret permet d'ajuster les protections sur des bases métrologiques afin de mettre en œuvre les protections nécessaires et suffisantes. La mise au point du protocole ne peut être réalisée que grâce à une phase test qui décompose toutes les tâches du protocole afin de cerner la ou les tâches émissives (par exemple, l'application du gel pelable n'est pas émissive alors que son retrait l'est). La prise de conscience du risque d'exposition au plomb dans des tâches jusque-là faites souvent sans protections permet de réajuster les protections et réflexes d'hygiène sur chantier, qui doivent devenir de nouveaux réflexes. Au fur et à mesure des chantiers tests réalisés, les conditions opérationnelles de protection seront mieux connues et pourront être anticipées sur les nouveaux chantiers sans avoir à refaire toute la chaîne métrologique. Pour cela, les conditions d'exécution du chantier test, les valeurs avant et après exécution de chaque procédé doivent être soigneusement consignés ainsi que les rapports d'analyse de laboratoire y afférents, afin de pouvoir éviter de refaire les mêmes mesures. L'enjeu de cette nouvelle problématique de risque d'exposition au plomb lors de la restauration d'œuvres ou parements en pierre est de définir des protocoles permettant le nettoyage de la pierre en toute sécurité et garantissant la conservation des épidermes à long terme. Les procédés traditionnels par projection ne doivent pas être *a priori* bannis mais l'évaluation de leur émissivité doit être mieux connue. Les procédés par voie chimique sont une solution alternative intéressante mais constituent un risque pour la préservation des épidermes dans certains cas. Seul un diagnostic sanitaire précis et l'expérience du restaurateur permettront de définir le protocole adéquat pour le nettoyage de la pierre en présence de plomb dans les meilleures conditions et au meilleur coût.

### L'auteur

**Barbara Brunet-Imbault** docteur ès Sciences des matériaux, directrice associée du cabinet Studiolo, 6 rue des Haudriettes 75003 Paris, [barbara.brunet@cabinet-studiolo.com](mailto:barbara.brunet@cabinet-studiolo.com)