

SOURCES ET SITUATIONS D'EXPOSITION AU PLOMB EN RESTAURATION D'ART

AUDE BOGEY

Résumé Le plomb, présent sous différentes formes, se retrouve fréquemment dans des objets, peintures, éléments de bâti, etc. à restaurer. Ainsi, les restaurateurs d'art se retrouvent exposés au plomb lors de l'exercice de leur métier. Le laboratoire de toxicologie industrielle de la CRAMIF est intervenu dans quatre ateliers de restauration afin d'estimer le risque chimique lié à l'exposition des restaurateurs aux poussières de plomb.

Dans la plupart des situations de travail étudiées, le risque chimique lié à l'inhalation de poussières de plomb est important à très important et le risque lié à l'ingestion de poussières de plomb ne peut être écarté. C'est pourquoi il est nécessaire d'évaluer les risques liés à l'inhalation et à l'ingestion de poussières de plomb, que ce soit sur chantier ou en atelier, afin de mettre en place des mesures de prévention permettant de réduire l'exposition des restaurateurs autant qu'il est techniquement possible. Ces mesures de prévention doivent prendre en compte les voies d'exposition par inhalation et ingestion.

Exemples de sources d'émission du plomb en restauration d'art

Le plomb se retrouve sous différentes formes : plomb métallique, composés du plomb ou contaminant.

Le plomb métallique a été utilisé, et l'est toujours, pour sa résistance à la corrosion et sa malléabilité, qui en font un matériau intéressant pour réaliser, par exemple :

- couvertures, ornements, étanchéités de balcon, couvertines, scellements;
- baguettes de vitraux;
- objets et outils : canalisations, statuaire, ferronneries d'art, plomb doré, outils divers, soldats en plomb, poids, etc.

Des composés à base de plomb ont pu être utilisés dans :

- les enduits et peintures à bases de céruse (hydrocarbonate de plomb), que l'on peut retrouver sur les murs, les vieilles menuiseries;
- les peintures anticorrosion (ex. : minium de plomb) que l'on peut retrouver sur les charpentes métalliques, les ferronneries d'art, les serrureries, les armatures en fer de statue;
- les pigments ou siccatifs dans certains types de peinture ou vernis tels que :
 - le chromate de plomb (pigment jaune-vert);
 - le rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (C.I. *red* 104, pigments jaune, orange, rouge vifs);
 - le jaune de sulfochromate de plomb (C.I. pigment *yellow* 34);

- le monoxyde de plomb ou litharge, (pigment jaune orangé);
- le minium de plomb (pigment rouge orangé);
- le jaune de Naples (mélange d'oxyde d'antimoine et de plomb);
- le massicot (pigment jaune);
- le sulfure de plomb (pigment noir);
- le dioxyde de plomb (pigment brun-noir);
- le chlorure de plomb (blanc de plomb Pattinson).

Ces pigments peuvent être retrouvés dans la grisaille des vitraux, les poteries, les faïences, les porcelaines, les émaux, les carrelages, le cristal, les peintures à l'huile, les peintures murales, les enluminures, les dessins.

Du plomb sous forme de contaminant peut être présent sur les façades des bâtiments, dans les encrassements et croûtes noires ou sous forme de dépôt de poussières sur les sols, dans les augets ou sur divers objets à restaurer.

Lors d'activités de restauration - retrait de peintures au plomb, réalisation de couvertures, fusion du métal lui-même, découpage de matériaux métalliques recouverts de peinture anti-corrosion - le plomb et ses composés peuvent être émis sous forme de particules (poussières, écailles, fumées) ou de vapeurs.

Missions et méthodes de prélèvement mises en œuvre par le laboratoire de toxicologie industrielle de la CRAMIF

Dans le cadre des actions de prévention des risques professionnels, le laboratoire de toxicologie industrielle de la CRAMIF a pour mission, entre autres, de détecter, estimer et prévenir les risques liés à la présence d'agents chimiques sur les lieux de travail et, pour cela, de caractériser les expositions des salariés.

Cette caractérisation des expositions des salariés au plomb se fait par l'observation de l'activité réalisée et la mise en œuvre de la métrologie. Cette double approche permet d'estimer le risque chimique lié à l'exposition au plomb, à la fois par inhalation et par ingestion, et de préconiser alors des mesures de prévention adaptées à la situation de travail.

Pour cela, différentes méthodes de prélèvement sont mises en œuvre : prélèvements atmosphériques (air des lieux de travail) et prélèvements surfaciques (surfaces de travail, mains et visage des salariés).

En complément de la métrologie du plomb, le laboratoire de toxicologie industrielle associe systématiquement la métrologie des poussières inhalables et la métrologie d'autres polluants tels que les poussières de bois lorsque cela est pertinent. Les résultats d'analyse sont comparés à des valeurs de référence afin d'estimer l'importance du risque chimique (**fig. 1 et 2**).

Substances	Valeur de référence	Origine
Poussières inhalables	10 mg/m ³	Code du travail
Plomb métallique et ses composés	0,1 mg/m ³	Code du travail
Poussières de bois	1 mg/m ³	Code du travail

Figure 1 Valeurs limites d'exposition professionnelle utilisées pour les prélèvements atmosphériques.

Type de prélèvement	Substances	Valeur de référence	Origine
Surface délimitée	Plomb acido-soluble	1000 µg/m ²	Code de la santé publique
Mains	Plomb acido-soluble	6 µg	CRAMIF

Figure 2 Valeurs de référence utilisées pour les prélèvements surfaciques.

Exemples de situations d'exposition au plomb en restauration d'art

À titre d'illustration sont présentés les résultats de prélèvement et d'analyse réalisés lors de quatre interventions du laboratoire de toxicologie industrielle de la CRAMIF dans des établissements ou sur des chantiers de restauration d'art. L'observation de l'activité permet d'interpréter ces résultats. Ils sont comparés aux valeurs de référence afin d'estimer le risque chimique auquel sont exposés les restaurateurs durant leur activité.

Les résultats des analyses relatifs à ces quatre interventions sont propres à chaque situation de travail et ne peuvent être généralisés.

1^{re} intervention : atelier de restauration et de fabrication de vitraux

Le laboratoire de toxicologie industrielle est intervenu dans un atelier de fabrication et de restauration de vitraux. Le jour de son intervention, des travaux de peinture et d'assemblage des vitraux sont réalisés par quatre vitraillistes. Les ateliers sont dépourvus de ventilation générale mécanique. Leurs portes sont restées ouvertes la plupart du temps de prélèvement.

Les concentrations de poussières inhalables mesurées au niveau des voies respiratoires des vitraillistes sont comprises entre 6 % et 13 % de la valeur de référence égale à 10 mg/m³ (**fig. 3**).

Les concentrations de plomb mesurées au niveau des voies respiratoires des salariés sont comprises entre 7 % et 27 % de la valeur de référence du plomb égale à 0,1 mg/m³.

Les prélèvements surfaciques sur les mains des restaurateurs mettent en évidence une très forte contamination de celles-ci par des poussières de plomb en fin de poste, avant lavage. Cette contamination diminue après lavage des mains, mais reste néanmoins supérieure à la valeur de référence égale à 6 µg.

Le risque chimique lié à l'inhalation de poussières plombifères est important pour les vitraillistes, même si les résultats des prélèvements atmosphériques sont inférieurs à la valeur de référence du plomb.

Le risque chimique lié à l'ingestion de poussières de plomb ne peut être écarté pour l'ensemble des restaurateurs, même après lavage des mains.

Substance	Prélèvements atmosphériques individuels		Prélèvements surfaciques sur les mains des restaurateurs
	Poussières inhalables	Plomb	Plomb soluble
Valeurs de référence	10	0,1	6
Unité	mg/m ³	mg/m ³	µg
Postes de travail :			
Peinture	0,06	0,013	Avant lavage : 830 Après lavage : 32
Montage, découpe et soudure	0,09	0,007	Avant lavage : 1100 Après lavage : 120
Montage, découpe et soudure	0,13	0,027	Avant lavage : 430 Après lavage : 48
Montage, découpe et soudure	0,1	0,013	Avant lavage : 160 Après lavage : 37

Figure 3 Résultats d'analyse des prélèvements atmosphériques et surfaciques réalisés dans un atelier de restauration de vitraux sur différents postes de travail. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

D'après la **figure 4**, l'ensemble des résultats des prélèvements surfaciques réalisés dans les ateliers et vestiaires de l'entreprise sont supérieurs à la valeur de référence de 1 mg/m², à l'exception du prélèvement réalisé sur le sol d'un bureau du secrétariat.

Ces résultats mettent en évidence une contamination très importante des postes de travail ainsi qu'un transfert de poussières de plomb de l'atelier vers les locaux qui devraient en être exempts, tels que les vestiaires.

Prélèvements surfaciques sur des surfaces délimitées	
Substance	Plomb soluble
Valeur de référence	1
Unité	mg/m ²
Lieux de prélèvement :	
Sur le sol, face à l'évier servant au nettoyage des vitraux amenés au dépôt	147
Sur le sol, dans un bureau du secrétariat	0,4
Sur le sol en parquet à l'entrée de l'atelier principal	37,9
Sur le sol carrelé, face au poste de peinture	4,5
Sur la poignée (intérieure et extérieure) de la porte d'entrée de l'atelier principal	6,7
Sur un plan de travail en verre de la salle de peinture	9,2
Sur un établi en bois recouvert de peinture servant au montage	42,4
Sur le poste de radio, dans l'atelier de montage	56,9
Sur le sol dans le vestiaire « Hommes »	20,6
Sur le plancher d'un casier de vêtements propres dans le vestiaire « Hommes »	18,4
Sur le sol dans le vestiaire « Femmes »	17,6
Sur le sol devant la douche	79,5

Figure 4 Résultats d'analyse des prélèvements surfaciques réalisés sur différentes surfaces délimitées. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

2^e situation : chaudronnerie d'art

Le laboratoire de toxicologie industrielle est intervenu dans une chaudronnerie d'art. Les salariés restaurent une fontaine classée au titre des Monuments historiques. Ils interviennent sur les statues de la fontaine constituées de plomb et d'acier.

Le jour de l'intervention, quatre restaurateurs réalisent différentes tâches décrites dans la **figure 5**.

Substance	Prélèvements atmosphériques individuels		Prélèvements surfaciques sur les mains des restaurateurs
	Poussières inhalables	Plomb	Plomb soluble
Valeurs de référence	10	0,1	6
Unités	mg/m ³	mg/m ³	µg
Postes de travail :			
Démontage de l'armature de la statue en acier recouverte de minium de plomb et plusieurs opérations de soudure MIG	3,6	5,9	Fin de poste, avant lavage : 1040
Restauration du drapé en plomb en extrayant l'armature métallique. Utilisation d'une meuleuse et une disqueuse	4,1	0,7	Fin de poste, avant lavage : 340
Restauration d'une tête en plomb. Utilisation d'une meuleuse et une ponceuse. Réalisation de soudures avec un alliage étain/plomb	4,1	1,5	Fin de poste, avant lavage : 1100
Restauration d'une statue en plomb. Réalisation de soudures avec un alliage étain/plomb. Utilisation d'un racloir et une polisseuse.	2,9	0,7	Fin de poste, avant lavage : 1100

Figure 5 Résultats d'analyse des prélèvements atmosphériques et surfaciques individuels réalisés dans une chaudronnerie d'art sur différents postes de travail. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

Une ventilation générale mécanique est présente et est en fonctionnement ; un bras aspirant muni d'un boa est installé à proximité du poste de restauration d'une statue.

Les restaurateurs portent des combinaisons jetables de type 5/6¹. Le restaurateur intervenant sur un drapé porte un masque à cartouche ABEK1². Les autres salariés portent un masque à cartouche A2B2E2K2P3R.

¹ Caractéristique des vêtements de protection

² Caractéristique des filtres des appareils de protection respiratoire

D'après la **figure 5**, les concentrations de poussières inhalables mesurées au niveau des voies respiratoires des restaurateurs sont comprises entre 29 % et 41 % de la valeur de référence égale à 10 mg/m³. Les concentrations de plomb mesurées au niveau de leurs voies respiratoires dépassent toutes la valeur de référence égale à 0,1 mg/m³ et sont comprises entre 700 % et 5900 % de cette valeur.

Prélèvements surfaciques sur des surfaces délimitées	
Substance	Plomb soluble
Valeur de référence	1
Unité	mg/m ²
Lieux de prélèvement :	
Dans les vestiaires : sur la table de déjeuner, café	14
Dans les vestiaires : sur le sol devant un casier	32
Dans les vestiaires : sur la face avant du micro-onde	3,8
Dans le sas d'entrée de l'atelier, sur le dessus de la fontaine à eau	40
Dans l'atelier : sur le sol devant le bureau du chef d'atelier	24

Figure 6 Résultats d'analyse des prélèvements surfaciques réalisés sur des surfaces délimitées. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

Les prélèvements surfaciques sur les mains des restaurateurs mettent en évidence une très forte contamination de celles-ci par des poussières de plomb en fin de poste, avant lavage.

Pour les restaurateurs de l'atelier chaudronnerie, le risque chimique lié à l'inhalation de poussières inhalables contenant des poussières de plomb est très important. Le risque chimique lié à l'ingestion de plomb ne peut être écarté.

Les concentrations de plomb soluble mesurées sur les surfaces délimitées sont comprises entre quatre et quarante fois la valeur de référence. Ces résultats mettent en évidence un transfert de poussières de plomb de l'atelier vers les locaux qui devraient en être exempts, tels que les vestiaires.

3^e situation : menuiserie spécialisée en monuments historiques

L'établissement est spécialisé en restauration et conception de menuiseries pour les monuments historiques. Le laboratoire de toxicologie industrielle de la CRAMIF a réalisé deux interventions dans cet établissement.

Lors de la première intervention, les menuisiers ont réalisé la restauration de fenêtres d'un monument historique (démontage, rabotage, ponçage, sciage, vissage, perçage, collage).

Les postes de travail des salariés ayant fait l'objet de prélèvements atmosphériques individuels et surfaciques sont décrits dans la figure 7.

Les machines à bois sont équipées de dispositifs de captage raccordés à une installation d'aspiration centralisée localisée à l'extérieur du bâtiment, à l'exception d'une scie pendulaire et d'une scie à ruban (non raccordées) et d'une scie circulaire reliée à une centrale à manche filtrante.

Le réseau des conduits d'aspiration des poussières est équipé de registres manuels qui ne sont pas systématiquement fermés lorsque les machines correspondantes ne sont plus utilisées. Les outils portatifs sont reliés à trois aspirateurs. Un aspirateur est mis à la disposition des menuisiers pour le nettoyage du sol.

Les menuisiers portent des chaussures de sécurité. Ils ont à leur disposition des masques de type FFP3D. Le nettoyage des vêtements de travail est effectué par les salariés à leur domicile. Le salarié au poste de décapage est équipé d'une combinaison à capuche (type 5/6), de gants en nitrile, d'un masque complet équipé de cartouche ABEK1.

Les prélèvements atmosphériques réalisés au niveau des voies respiratoires des menuisiers mettent en évidence une exposition des salariés équivalente ou supérieure à la valeur de référence des poussières de bois dans deux cas sur trois (**fig. 7**). D'après l'observation de l'activité, les phases de ponçage manuel contribuent significativement à leur exposition.

Les concentrations en plomb mesurées lors des prélèvements atmosphériques sont faibles. Mais les mains des menuisiers sont significativement contaminées par des particules plombifères en fin de journée. Les quantités analysées peuvent dépasser dans certains cas plus de cinq cents fois la valeur de référence du plomb égale à 6 µg.

Une concentration significative en plomb est également mesurée sur les mains du salarié ayant réalisé le décapage de portes-fenêtres, bien que celui-ci soit équipé de gants en nitrile.

- En raison des propriétés cancérigènes des poussières de bois et du dépassement constaté de la valeur de référence égale à 1 mg/m³, le risque chimique est important et n'est pas suffisamment maîtrisé.
- Des concentrations en plomb très largement supérieures à la valeur de référence de 6 µg sont mises en évidence sur les mains des salariés lors des prélèvements surfaciques. Le risque lié à l'ingestion de poussières de plomb ne peut être écarté.

Substance	Prélèvements atmosphériques individuels		Prélèvements surfaciques sur les mains des restaurateurs
	Poussières de bois	Plomb	Plomb soluble
Valeurs de référence	1	0,1	6
Unités	mg/m ³	mg/m ³	µg
Postes de travail :			
Décapage de portes-fenêtres	0,31	0,0001	390
Restauration d'une porte-fenêtre	1,26	0,00002	610
Restauration d'une porte-fenêtre	0,58	0,00002	3500
Restauration d'une porte-fenêtre	0,93	0,00005	920

Figure 7 Résultats d'analyse des prélèvements atmosphériques et surfaciques individuels réalisés dans une menuiserie sur différents postes de travail. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

Lors de la deuxième intervention dans cet établissement, des prélèvements surfaciques dans deux véhicules de l'entreprise ont été réalisés (fig. 8).

Les sols des véhicules (cabine et fourgon) sont significativement contaminés par des particules plombifères, en particulier le sol du fourgon du véhicule de chantier du charpentier. L'intérieur des cabines des véhicules (volant, siège et tableau de bord) est contaminé dans une moindre mesure, hormis le tableau de bord du camion du charpentier.

Prélèvements surfaciques sur des surfaces délimitées	
Substance	Plomb soluble
Valeur de référence	1
Unité	mg/m ²
Lieux de prélèvement :	
Camion d'un commercial	
Assise du conducteur	0,18
Sol côté conducteur	16,9
Tableau de bord	0,55
Sol à l'arrière du fourgon	16,4
Camion d'un charpentier	
Assise du conducteur	0,31
Sol côté conducteur	34,0
Tableau de bord	1,58
Sol arrière du fourgon	103
Étagère à l'arrière du fourgon	38,4

Figure 8 Résultats d'analyse des prélèvements surfaciques réalisés sur des surfaces délimitées à différents endroits de deux types de véhicules de l'entreprise. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

4^e situation : restauration de décorations murales sur chantier

Le laboratoire de toxicologie industrielle est intervenu lors de la restauration des peintures d'un hôtel particulier.

Dans une salle, un peintre ponce l'enduit recouvrant les ornements d'un miroir et trois salariées restaurent les décorations murales. Un échafaudage roulant et deux plateformes individuelles sont à leur disposition. Dans une autre salle, sept restaurateurs réalisent des travaux de préparation de surface et de peinture. Trois peintres restaurent les décorations murales. Trois échafaudages roulants et quatre plateformes individuelles sont à leur disposition. Du matériel et des produits chimiques sont entreposés au centre de chacune des pièces. Leur plancher est protégé par des panneaux de bois.

Deux restaurateurs sont équipés d'un masque de protection respiratoire, soit un demi-masque à cartouches ABEK1P3 et un demi masque jetable de type pièce faciale FFP1. Deux restaurateurs portent des gants de protection jetables en nitrile et un autre est équipé de gants en tissu dont la paume et les doigts sont enduits.

Les résultats d'analyse des prélèvements surfaciques réalisés sur les mains des peintres sont très supérieurs à la valeur de référence de 6 µg (fig. 9). Compte tenu des opérations réalisées, le port de gants ne permet pas une protection suffisante.

Les sols de la zone de travail ainsi que les équipements de travail sont fortement contaminés par des poussières de plomb (fig. 10).

Prélèvements surfaciques sur les mains des restaurateurs	
Substance	Plomb soluble
Valeur de référence	6
Unité	µg
Postes de travail :	
1 ^{re} salle : ponçage de l'enduit recouvrant les ornements d'un miroir	Avant lavage : 8200
2 ^e salle : travaux de préparation de surface et de peinture	Avant lavage : 310 ; 410 ; 220 ; 13 500 ; 1800 ; 430 ; 4600

Figure 9 Résultats d'analyse des prélèvements surfaciques individuels réalisés sur les mains de peintres à différents postes de travail. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

Prélèvements surfaciques sur des surfaces délimitées	
Substance	Plomb soluble
Valeur de référence	1
Unité	mg/m ²
Lieux de prélèvement :	
2 ^e salle	
Sur un panneau en bois protégeant le sol, à proximité du mur mitoyen des salles	80,1
Sur le plancher d'une plate-forme individuelle roulante	277
Sur le plancher d'une plate-forme individuelle roulante	87,3
Sur le miroir de la cheminée	2,9
Sous un échafaudage roulant côté rue, après ponçage de volets intérieurs	551
Sur le plancher de l'échafaudage roulant, situé au niveau du mur mitoyen des salles	18,1

Figure 10 Résultats d'analyse des prélèvements surfaciques réalisés sur des surfaces délimitées. Les résultats d'analyse en rouge sont supérieurs aux valeurs de référence.

Conclusion

Les analyses des prélèvements atmosphériques et surfaciques réalisés par le laboratoire de toxicologie industrielle de la CRAMIF permettent de caractériser l'exposition des salariés aux poussières de plomb dans quatre ateliers de restauration : restauration et fabrication de vitraux, chaudronnerie d'art, menuiserie spécialisée en monuments historiques et restauration de décorations murales sur chantier.

Dans la plupart des situations de travail ayant fait l'objet de prélèvements atmosphériques ou surfaciques, le risque chimique pour les restaurateurs, lié à l'inhalation de poussières de plomb, est important à très important et le risque lié à l'ingestion des poussières de plomb ne peut être écarté. Une exposition par inhalation faible aux poussières de plomb n'exclut pas un risque d'exposition par ingestion *via* une contamination des mains et des surfaces.

Par ailleurs, des transferts de pollution de zones de travail contaminées par des poussières de plomb vers les vestiaires ou les réfectoires qui devraient être exempts de contamination sont mis en évidence. C'est pourquoi il est nécessaire d'évaluer les risques liés à l'inhalation et l'ingestion de poussières de plomb, sur tout chantier ou dans tout atelier, afin de mettre en place des mesures de prévention permettant de réduire l'exposition des restaurateurs autant qu'il est techniquement possible. Ces mesures de prévention doivent prendre en compte les deux voies connues d'exposition, à la fois par inhalation et ingestion.

Références bibliographiques

INRS (2017), *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation*, ED 6106, INRS.

INRS (2007), *Les vêtements de protection. Choix et utilisation*, ED 995, INRS.

INRS (2013), *Interventions sur les peintures contenant du plomb. Prévention des risques professionnels*, ED 909, INRS (nouvelle édition en préparation).

INRS (2016), *Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Aide-mémoire technique*, ED 984, INRS.

Arrêté du 12 mai 2009 relatif au contrôle des travaux en présence de plomb, réalisés en application de l'article L. 1334-2 du Code de la santé publique.

L'auteur

Aude Bogey ingénieur conseil, laboratoire de toxicologie Industrielle - prévention des risques professionnels - CRAMIF, 17/19 avenue de Flandre, 75954 Paris Cedex 19
aude.bogey@assurance-maladie.fr