



Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture

Deuxième édition



Organisation
mondiale de la Santé



FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL
POUR INVESTIR DANS NOTRE PLANÈTE

Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture

Deuxième édition



**Organisation
mondiale de la Santé**



FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL
POUR INVESTIR DANS NOTRE PLANÈTE

Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture, deuxième édition [Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]

ISBN 978-92-4-000834-2 (version électronique)

ISBN 978-92-4-000835-9 (version imprimée)

© Organisation mondiale de la Santé 2020

Certains droits réservés. La présente publication est disponible sous la licence Creative Commons Attribution – Pas d'utilisation commerciale – Partage dans les mêmes conditions 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO ; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>).

Aux termes de cette licence, vous pouvez copier, distribuer et adapter l'œuvre à des fins non commerciales, pour autant que l'œuvre soit citée de manière appropriée, comme il est indiqué ci dessous. Dans l'utilisation qui sera faite de l'œuvre, quelle qu'elle soit, il ne devra pas être suggéré que l'OMS approuve une organisation, des produits ou des services particuliers. L'utilisation de l'emblème de l'OMS est interdite. Si vous adaptez cette œuvre, vous êtes tenu de diffuser toute nouvelle œuvre sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente. Si vous traduisez cette œuvre, il vous est demandé d'ajouter la clause de non responsabilité suivante à la citation suggérée : « La présente traduction n'a pas été établie par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). L'OMS ne saurait être tenue pour responsable du contenu ou de l'exactitude de la présente traduction. L'édition originale anglaise est l'édition authentique qui fait foi ».

Toute médiation relative à un différend survenu dans le cadre de la licence sera menée conformément au Règlement de médiation de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle.

Citation suggérée. Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture, deuxième édition [Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]. Genève : Organisation mondiale de la Santé ; 2020. Licence : [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo).

Catalogage à la source. Disponible à l'adresse <http://apps.who.int/iris>.

Ventes, droits et licences. Pour acheter les publications de l'OMS, voir <http://apps.who.int/bookorders>. Pour soumettre une demande en vue d'un usage commercial ou une demande concernant les droits et licences, voir <http://www.who.int/about/licensing>.

Matériel attribué à des tiers. Si vous souhaitez réutiliser du matériel figurant dans la présente œuvre qui est attribué à un tiers, tel que des tableaux, figures ou images, il vous appartient de déterminer si une permission doit être obtenue pour un tel usage et d'obtenir cette permission du titulaire du droit d'auteur. L'utilisateur s'expose seul au risque de plaintes résultant d'une infraction au droit d'auteur dont est titulaire un tiers sur un élément de la présente œuvre.

Clause générale de non responsabilité. Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'OMS aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les traits discontinus formés d'une succession de points ou de tirets sur les cartes représentent des frontières approximatives dont le tracé peut ne pas avoir fait l'objet d'un accord définitif.

La mention de firmes et de produits commerciaux ne signifie pas que ces firmes et ces produits commerciaux sont agréés ou recommandés par l'OMS, de préférence à d'autres de nature analogue. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

L'Organisation mondiale de la Santé a pris toutes les précautions raisonnables pour vérifier les informations contenues dans la présente publication. Toutefois, le matériel publié est diffusé sans aucune garantie, expresse ou implicite. La responsabilité de l'interprétation et de l'utilisation dudit matériel incombe au lecteur. En aucun cas, l'OMS ne saurait être tenue responsable des préjudices subis du fait de son utilisation.

Traduction effectuée par TRADAS. En cas de divergences entre l'édition anglaise et française, l'édition originale anglaise est la version authentique et faisant foi.

Conception graphique : Lushomo

Table des matières

Remerciements	iv
Abréviations	v
1. Objet et champ d'application.	1
2. Considérations générales.	1
3. Dosage du plomb dans la peinture	2
3.1 Dosage du plomb total ou dosage du plomb soluble	3
3.2 Unités de mesure	3
3.3 Méthodes de préparation des échantillons	4
3.3.1 Nouvelles peintures.	4
3.3.2 Peintures existantes	4
4. Méthodes d'analyse utilisées pour doser le plomb dans la peinture	5
4.1 Méthodes d'analyse en laboratoire	5
4.1.1 Spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme (FAAS).	5
4.1.2 Spectrométrie d'absorption atomique électrothermique (ETAAS) ou spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (GFAAS).	6
4.1.3 Spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES)	6
4.2 Spectrométrie de fluorescence X (XRF)	6
4.2.1 Analyse en laboratoire par fluorescence X à haute définition (HDXRF)	7
4.2.2 Appareil portatif à fluorescence X (XRF)	7
Spectrométrie de fluorescence X (XRF) classique	7
Spectrométrie de fluorescence X à haute définition (HDXRF).	8
4.3 Trousses chimiques de contrôle	9
5. Choisir la méthode la mieux adaptée	11
5.1 Choisir un laboratoire	12
5.2 Trouver un laboratoire	12
5.3 Mettre en place un service de laboratoire pour doser le plomb dans la peinture	13
6. Aspects importants du travail en laboratoire	14
6.1 Comment éviter une contamination externe	14
6.2 Assurance de la qualité et contrôle de qualité	14
6.2.1 Analyses in situ	15
6.3 Normes, certification et accréditation	15
7. Conclusions.	16
8. Bibliographie.	17
Annexe	21

Remerciements

La première édition de ce document a été rédigée par le Dr Pascal Haefliger, du Département Santé publique et environnement de l'Organisation mondiale de la Santé. Elle a été mise à jour par Elena Jordan et Joanna Tempowski, du Département Environnement, changement climatique et santé de l'Organisation mondiale de la Santé.

Nous adressons nos remerciements aux personnes suivantes qui ont revu le texte mis à jour et nous ont fait part de leurs observations :

Angela Bandemehr, spécialiste principale de la protection de l'environnement au niveau international, Office of Global Affairs and Policy, rattaché à l'Office of International and Tribal Affairs de l'Environmental Protection Agency (Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement), Washington DC, États-Unis d'Amérique

Sara Brosché, responsable de la campagne mondiale pour l'élimination des peintures au plomb, International Pollutants Elimination Network (IPEN), Göteborg, Suède

Kalavati Channa, chercheuse dans le domaine des sciences médicales, Lancet Laboratories, Johannesburg, Afrique du Sud

Perry Gottesfeld, directeur général, Occupational Knowledge International (OK International), San Francisco, États-Unis d'Amérique

Khalidia Khamidulina, directrice, Russian Register of Potentially Hazardous Chemical and Biological Substances, Moscou, Russie

Angela Mathee, directrice, Environment and Health Research Unit, South African Medical Research Council, Tygerberg, Afrique du Sud

Olga Speranskaya, conseillère principale d'IPEN et vice-présidente d'Eco-Accord Board, Moscou, Fédération de Russie

Howard Varner, directeur de laboratoire, Environmental Hazards Services LLC, Richmond, États-Unis d'Amérique

Tous les réviseurs ont rempli un formulaire de déclaration d'intérêts de l'OMS qui a été examiné par le Fonctionnaire technique de l'OMS. Aucun conflit d'intérêts n'a été repéré.

John Dawson s'est chargé de la mise en forme rédactionnelle du texte.

L'OMS a préparé le présent document dans le cadre du projet de grande envergure n° 9771 du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) intitulé : *Global best practices on emerging chemical policy issues of concern under the Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)*. Ce projet est mis en œuvre par le PNUE et exécuté par le secrétariat de la SAICM. L'OMS exprime sa gratitude au Fonds pour l'environnement mondial qui a contribué financièrement à l'élaboration, la révision et la conception du présent document.

Le présent document se veut une contribution au projet « Chemicals without Concern – towards safer products for our environment and health ».

Pour plus d'informations au sujet du présent document, veuillez vous adresser à ipcsmail@who.int.

Abréviations

AAS	Spectrométrie d'absorption atomique
AEQ	Assurance externe de la qualité
AIHA	American Industrial Hygiene Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVCI	Années de vie corrigées de l'incapacité
cm	centimètre
EDXRF	Fluorescence X à dispersion d'énergie
ELLAP	Environmental Lead Laboratory Accreditation Program
ELPAT	Environmental Lead Proficiency Analytical Testing Program
ETAAS	Spectrométrie d'absorption atomique électrothermique
FAAS	Spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme
GFAAS	Spectrométrie d'absorption atomique en four graphite
HDXRF	Fluorescence X à haute définition
ICP-AES	Spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif
ICP-MS	Spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif
ILAC	Coopération internationale sur l'agrément des laboratoires d'essai
ISO	Organisation internationale de normalisation
kg	kilogramme
mg	milligramme
ml	millilitre
μl	microlitre
ppm	parties par million
XRF	Fluorescence X

1. Objet et champ d'application

Le présent document offre un panorama succinct des méthodes d'analyse existantes pour le dosage du plomb dans la peinture. Il vise principalement à informer le personnel de santé publique, les institutions scientifiques et les décideurs qui ne sont pas spécialistes des techniques de laboratoire, mais qui peuvent avoir besoin d'élaborer des plans pour mesurer la concentration de plomb dans les nouvelles peintures et pour réaliser des études sur la disponibilité de peintures au plomb¹ sur le marché destinées à l'achat par les consommateurs.

Le document donne une liste de méthodes de dosage du plomb dans les peintures qui ont fait leurs preuves et décrit brièvement quelques-uns de leurs caractéristiques, et notamment leurs points forts et leurs inconvénients. Il souligne également, pour différents types d'applications et de scénarios, les facteurs à prendre en compte au moment de choisir une technique de laboratoire ou un appareil portable, et au moment de décider de mettre en place un service de laboratoire pour le dosage du

plomb ou de faire appel aux services d'un autre laboratoire. Nous n'avons pas cherché à donner une description des méthodes et modes opératoires analytiques ni à faire des recommandations particulières concernant telle ou telle méthode ou tel ou tel type d'instrumentation. D'autres sources de renseignements techniques détaillés existent sur ce sujet et des liens vers des informations supplémentaires sont donnés dans la section « Bibliographie » et dans l'annexe.

2. Considérations générales

Le plomb est un métal toxique dont les usages très répandus sont à l'origine d'une importante contamination de l'environnement et de nombreux problèmes de santé dans de nombreuses régions du monde. Il a été estimé qu'en 2017, l'exposition humaine au plomb a été responsable de 1,06 million de décès et de la perte de 24,4 millions d'années de vie corrigées de l'incapacité (AVCI) découlant d'effets à long terme sur la santé, les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire étant les plus touchés (1).

Le plomb est une substance toxique qui s'accumule dans l'organisme et affecte de nombreux systèmes et appareils, notamment le système nerveux, le système circulatoire, les voies digestives, le système cardiovasculaire et le système rénal. Les effets à long terme incluent un risque accru d'hypertension, de cardiopathie ischémique et de néphropathie. Les enfants sont particulièrement vulnérables aux effets neurotoxiques du plomb qui peuvent

compromettre leur développement cognitif et provoquer des troubles comportementaux, même en cas d'exposition peu importante. Ces effets peuvent se faire sentir durant toute leur vie (2).

Malgré un recul récent de l'usage du plomb dans l'essence, la plomberie et la soudure, il existe encore des sources importantes d'exposition à ce métal, notamment les peintures à base de plomb.

1 D'après les Orientations et la loi type en matière de réglementation de la peinture au plomb de l'Alliance mondiale pour l'élimination des peintures au plomb, l'expression « peinture au plomb » désigne toutes les peintures dont la teneur en plomb est supérieure à un seuil maximal, par exemple 90 ppm.

Les peintures au plomb peuvent être utilisées pour peindre les surfaces intérieures et extérieures des logements, des établissements scolaires et d'autres bâtiments, pour peindre des jouets, des meubles, des équipements d'aires de jeu et d'autres objets avec lesquels les enfants peuvent entrer en contact, ou encore pour peindre le marquage des routes, des ponts et d'autres structures externes. Des peintures à teneur élevée en plomb sont encore disponibles et en usage dans de nombreuses régions du monde (3, 4). Même dans les pays où leur utilisation est interdite pour certaines applications, on en retrouve dans les logements et sur les objets anciens (5).

Les personnes peuvent être exposées au plomb contenu dans la peinture au travail et dans leur environnement, principalement par l'ingestion et l'inhalation. L'exposition professionnelle peut survenir lors de la fabrication des peintures, lors de l'application ou de l'enlèvement des peintures, et lors de la rénovation ou de la démolition de bâtiments et de structures peints avec de la peinture au plomb. L'élimination de la peinture au plomb par brûlage produit des vapeurs et des particules de

plomb. Les techniques d'élimination de la peinture par abrasion, comme le sablage, produisent de grandes quantités de poussière de plomb qui peuvent être inhalées et ingérées. La peinture au plomb ne présente aucun danger pour la santé lorsqu'elle est intacte et en bon état, mais elle se dégrade avec le temps, se détachant sous la forme de fines plaques et de poussières susceptibles de contaminer l'environnement intérieur (6).

Les poussières domestiques contaminées par le plomb constituent l'une des principales causes de la charge corporelle totale en plomb chez les enfants (7). Les jeunes enfants sont particulièrement vulnérables en cas d'exposition au plomb, car ils absorbent environ 40 à 50 % de la quantité ingérée (8). De plus, leur curiosité naturelle et leur habitude de mettre souvent la main à la bouche font qu'ils portent à la bouche et avalent des objets qui en contiennent ou en sont revêtus (terre ou poussière contaminées, écailles de peinture au plomb) (8). Par ailleurs, les enfants présentant un pica peuvent ingérer continuellement des écailles de peinture au plomb ou de la terre contaminée par le plomb.

3. Dosage du plomb dans la peinture

Il existe deux raisons principales pouvant conduire à mesurer la teneur en plomb de la peinture :

- a) évaluer de nouvelles peintures, que ce soit pour vérifier leur conformité avec des restrictions réglementaires ou légales, ou dans le cadre d'une étude de marché pour savoir si des peintures au plomb sont vendues ;
- b) déterminer si les peintures existantes sur les surfaces des logements ou d'autres bâtiments, les meubles, les équipements d'aires de jeux ou les jouets contiennent du plomb afin d'évaluer la pertinence de mesures de gestion des risques.

Il existe deux façons de vérifier si une nouvelle peinture ne dépasse pas le seuil réglementaire pour la teneur en plomb. Un fabricant (ou un importateur ou un distributeur) peut envoyer des échantillons de peinture à un laboratoire tiers qui analysera la peinture et émettra une déclaration de conformité, sous réserve que la teneur en plomb de la peinture ne dépasse pas le seuil autorisé. Une autorité chargée de la réglementation ou de l'exécution de la

loi peut aussi procéder à des inspections et analyser les peintures pour vérifier si elles ne dépassent pas le seuil autorisé, avec la possibilité de sanctions en cas de manquement (9).

Les résultats des études de marché portant sur de nouvelles peintures peuvent être utilisés pour démontrer la nécessité d'une réglementation et de mesures d'application gouvernementales

plus efficaces. Les études permettent aussi d'informer les consommateurs pour éclairer leurs décisions d'achat, et de faire pression pour que le gouvernement contrôle les peintures au plomb. Ces études peuvent également inciter les fabricants à reformuler leurs produits.

Lorsque l'analyse d'une peinture déjà présente sur des murs ou d'autres surfaces révèle qu'elle contient un niveau élevé de plomb, les mesures de gestion des risques peuvent inclure la stabilisation ou l'enlèvement de la peinture. Il convient de noter que des procédures spéciales doivent être suivies lors de l'enlèvement de la peinture au plomb afin de minimiser le rejet de plomb et l'exposition des personnes, et notamment des travailleurs. Dans le cas des jouets ou d'autres objets, les mesures habituelles de gestion des risques incluent l'interception des marchandises à la douane, le retrait des produits du marché et l'émission d'avis aux consommateurs.

3.1 Dosage du plomb total ou dosage du plomb soluble

La concentration en plomb dans la peinture peut être mesurée à l'aide de méthodes quantifiant la teneur en plomb total ou la teneur en plomb soluble. La plupart des normes réglementaires pour les nouvelles peintures reposent sur la teneur en plomb total, et il s'agit du dosage recommandé décrit dans les *Orientations et la loi type en matière de réglementation de la peinture au plomb* (9).

Pour mesurer le plomb total, on extrait tout le plomb présent dans l'échantillon de peinture. Cela représente la quantité totale de plomb qui pourrait être absorbée à travers l'ingestion ou l'inhalation d'écailles ou de poussières générées par l'effritement ou la dégradation de la peinture ou par les vapeurs produites par la combustion de la peinture.

La teneur en plomb soluble correspond à la quantité de plomb pouvant être extraite à l'aide d'un traitement standard en laboratoire qui implique d'incuber un échantillon de film de peinture dans de l'acide dilué. La teneur en plomb soluble est parfois mesurée en partant du principe qu'elle représente la quantité de plomb bioaccessible susceptible d'être

absorbée lorsque des éclats de peinture au plomb ou des objets recouverts de peinture au plomb sont portés à la bouche ou avalés (10, 11). Néanmoins, dans le cas des peintures au plomb, ce dosage ne rend pas exactement compte de la quantité totale de plomb pouvant être absorbée (12). En outre, les peintures à faible teneur en plomb soluble ont parfois une teneur élevée en plomb total (10). Une récente étude menée en Chine a par exemple révélé que plus de la moitié des peintures pour lesquelles il avait été déterminé que la teneur en plomb soluble était inférieure à 90 parties par million (ppm) avaient une teneur en plomb total supérieure à 90 ppm, qui pouvait aller jusqu'à 17 400 ppm (11).

3.2 Unités de mesure

La teneur en plomb de la peinture peut être exprimée en concentration massique ou en concentration par unité de surface peinte (également appelée « charge en plomb »). La concentration massique est utilisée pour les nouvelles peintures et la plupart des normes réglementaires portent sur la quantité totale de plomb dans un film sec de peinture exprimée en pourcentage, en ppm ou en milligrammes par kilogramme (mg/kg). Dans le cas des peintures déjà présentes sur des surfaces, la teneur en plomb peut être exprimée en tant que concentration massique (par exemple en ppm) ou en tant que quantité par unité de surface en milligrammes par centimètre carré (mg/cm²).

Il est important de noter que les mesures de la concentration massique et de la charge en plomb ne sont pas interchangeables. Il n'existe pas de lien précis entre les dosages en laboratoire de la peinture sur des surfaces exprimés en ppm et ceux exprimés en mg/cm², car la composition et l'épaisseur de la peinture varient et du substrat a pu être inclus dans l'analyse.

Le tableau 1 résume les unités dans lesquelles sont exprimés les résultats des différentes méthodes existantes.

Tableau 1. Unités utilisées pour exprimer les résultats de différentes méthodes

Méthode	Nouvelle peinture	Surfaces peintes existantes
Analyse en laboratoire	ppm, % ou mg/kg	ppm, %, mg/kg ou mg/cm ²
Appareil portatif à fluorescence X (XRF) classique	ppm ou %	mg/cm ² , ppm (mais voir la remarque c)
Appareil portatif à fluorescence X à haute définition (HDXRF)	ppm	mg/cm ² , ppm

Remarques :

- (a) Il n'existe pas d'équivalence mathématique entre les ppm et les mg/cm² ;
- (b) 0,009 % = 90 ppm = 90 mg/kg
- (c) Certains appareils XRF disposent d'une option permettant de calculer et d'afficher les unités en ppm, mais la densité et l'épaisseur de la peinture doivent être saisies pour effectuer ce calcul (Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, communication personnelle, novembre 2019).

3.3 Méthodes de préparation des échantillons

La méthode à utiliser pour prélever les échantillons dépend du type de peinture analysée – nouvelle ou existante – et de la méthode d'analyse choisie.

3.3.1 Nouvelles peintures

Pour analyser une nouvelle peinture (par exemple de la peinture en pot), la méthode habituelle consiste à appliquer une fine couche de peinture sur une surface non métallique homogène, comme une lame de verre ou un morceau de bois plat et lisse, et de la laisser sécher. La peinture est ensuite grattée et préparée dans le laboratoire, puis analysée à l'aide de l'une des méthodes instrumentales décrites dans la section 4.1 ci-dessous (13). La teneur en plomb du film sec de la peinture peut aussi être mesurée directement par fluorescence X à haute définition (HDXRF), sans qu'il soit nécessaire de détacher la peinture de la surface de test.

Les échantillons liquides de peinture peuvent être analysés en laboratoire à l'aide d'appareils HDXRF et de récipients à échantillons spéciaux (voir la sous-section 4.2.1).

3.3.2 Peintures existantes

Pour être analysés en laboratoire, les échantillons de peinture existante doivent être prélevés suivant un mode opératoire normalisé préétabli. Il est généralement recommandé (6, 14, 15) :

- de recueillir des échantillons de toutes les couches de peinture étant donné que les couches les plus profondes contiennent vraisemblablement plus de plomb ;
- de prélever le moins possible de matériau constituant le substrat (par exemple bois, plâtre ou métal), car cela peut fausser les résultats lorsqu'ils sont exprimés en concentration massique ;
- dans un logement ou un autre bâtiment, de recueillir des échantillons représentatifs des divers emplacements et de noter l'endroit où chaque échantillon a été prélevé ;
- de réparer les surfaces où des échantillons de peinture ont été prélevés de manière à éviter une exposition ultérieure au cas où la peinture contiendrait du plomb.

Il est conseillé de se concerter en amont avec le laboratoire choisi concernant la taille minimale de l'échantillon, son emballage et toute autre exigence d'échantillonnage. Les résultats peuvent être exprimés en concentration massique si le poids de l'échantillon a été mesuré, ou en masse par unité de surface s'il est possible de déterminer la surface exacte de l'échantillon.

La concentration en plomb de la peinture présente sur une surface comme un mur peut aussi être mesurée directement à l'aide d'appareils XRF ou HDXRF portables ; les résultats sont généralement exprimés en mg/cm². Cette méthode est couramment utilisée pour vérifier la présence de peinture au plomb dans les logements, car elle permet un dosage rapide de plusieurs échantillons et évite d'endommager les surfaces peintes (6, 15, 16).

4. Méthodes d'analyse utilisées pour doser le plomb dans la peinture

Comme indiqué plus haut, la teneur en plomb de la peinture peut être mesurée à l'aide de méthodes d'analyse en laboratoire, d'appareils XRF portables ou de paillasse, et de trousseaux chimiques de contrôle. Ces méthodes sont brièvement décrites dans la présente section.

4.1 Méthodes d'analyse en laboratoire

Les méthodes instrumentales les plus fréquemment utilisées pour déterminer la teneur en plomb de la peinture en laboratoire sont la spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme (FAAS), la spectrométrie d'absorption atomique électrothermique (ETAAS) et la spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES). Ces méthodes n'ont pas toutes le même niveau d'exactitude ni les mêmes limites de détection, mais toutes conviennent pour le dosage du plomb dans les peintures aux limites de détection et au niveau d'exactitude habituellement requis. Des lignes directrices, des recommandations et des modes opératoires normalisés concernant ces méthodes ou d'autres peuvent être obtenus auprès de nombreuses sources, notamment des fabricants, des institutions nationales et des organismes internationaux de normalisation (6, 13, 14, 17–19). Des informations supplémentaires sont fournies dans l'annexe.

Le dosage du plomb peut aussi être réalisé à l'aide d'appareils HDXRF amovibles ou de paillasse ; une description de ces appareils est donnée dans la section 4.2.

Il existe encore d'autres méthodes d'analyse qui ne sont pas décrites ici comme la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS), la spectrométrie d'émission atomique avec plasma à courant continu, la spectrophotométrie avec extraction à la dithizone, la voltampérométrie à redissolution anodique et la potentiométrie par redissolution.

4.1.1 Spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme (FAAS)

La spectrométrie d'absorption atomique (AAS) repose sur l'interaction entre les électrons périphériques d'atomes libres, gazeux, non chargés et la lumière ultraviolette ou visible provenant de l'élément à mesurer. Dans le cas du plomb, par exemple, une lampe à cathode contenant du plomb émet une lumière à partir d'atomes de plomb excités qui se caractérise par des longueurs d'onde spécifiques et qui peut être absorbée par les atomes de plomb présents dans l'échantillon. La lumière passe à travers l'échantillon atomisé et une partie de l'énergie est absorbée par les atomes de plomb, réduisant la quantité transmise au détecteur. On peut établir une relation linéaire entre la quantité de lumière absorbée (absorbance) et la concentration de l'analyte présent dans l'échantillon (20). Pour procéder à un dosage par AAS, il faut que l'échantillon contenant du plomb subisse une atomisation, c'est-à-dire un traitement qui génère, sur le trajet optique de l'instrument, un gaz atomique formé d'atomes dans leur état fondamental.

Dans la FAAS, on utilise généralement une flamme air-acétylène pour atomiser le plomb à des températures comprises entre 2100 et 2400 °C.

L'analyse par FAAS est pertinente pour les concentrations en plomb à une limite inférieure de 100 ppm (21). Bien que certains laboratoires aient développé des méthodes permettant de mesurer des concentrations aussi faibles que 40 ppm, la FAAS n'est pas la méthode la mieux adaptée pour vérifier la conformité avec un seuil de 90 ppm.² Comme il faut aspirer directement l'échantillon, on a besoin

d'au moins 5 millilitres (ml) de produit de digestion pour l'aspiration et l'obtention d'un signal stable pour la mesure. Les dosages par FAAS sont sujets à quelques interférences dues à la diffusion de la lumière et à l'absorption par les molécules des constituants de la matrice, interférences qui peuvent être corrigées de manière satisfaisante par plusieurs procédés. Les spectromètres FAAS, dont l'utilisation demande une certaine qualification, sont très largement disponibles avec ou sans échantillonneur automatique. Le coût d'acquisition initial est relativement bas et les produits consommables, comme l'acétylène par exemple, sont assez bon marché. Ce sont des appareils qui nécessitent relativement peu d'entretien et dont le débit peut atteindre plusieurs échantillons par minute (17).

4.1.2 Spectrométrie d'absorption atomique électrothermique (ETAAS) ou spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (GFAAS)

Dans la plupart des systèmes ETAAS, on utilise un tube en graphite chauffé électriquement dans lequel on pyrolyse et atomise l'analyte ; cette méthode est également appelée « spectrométrie d'absorption atomique en four graphite » (GFAAS) (20). L'échantillon pyrolysé est chauffé à une température d'environ 1700 °C pour atomiser le plomb (19). Les spectromètres ETAAS ont une limite de détection très basse et ne nécessitent qu'un produit de digestion de très faible volume – environ 20 microlitres (µL) (17). Cette méthode est pertinente pour les concentrations en plomb à une limite inférieure de 0,1 ppm (17).³

Les dosages par ETAAS peuvent être sujets à d'importantes interférences dues à la diffusion de la lumière et à l'absorption par les molécules des constituants de la matrice, mais il est possible de les atténuer en utilisant divers procédés, notamment des modificateurs chimiques et la correction de fond Zeeman (17, 20). Les spectromètres ETAAS doivent être utilisés par des techniciens de laboratoire qualifiés.

Ces spectromètres sont largement disponibles, mais ils doivent être dotés d'un échantillonneur automatique pour augmenter la précision et le débit.

Ce sont des instruments dont le coût d'acquisition initial est moyen et qui nécessitent un entretien important et des produits consommables dont le coût n'est pas négligeable. Ils ont un débit d'environ un échantillon toutes les deux à trois minutes (17).

4.1.3 Spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES)

L'ICP-AES utilise un plasma couplé par induction (un gaz ionisé à très haute température composé d'électrons et d'ions positifs) pour dissocier l'échantillon en atomes ou ions. Dans ce milieu de très haute énergie, le plomb (comme beaucoup d'autres éléments) émet une lumière de longueur d'onde caractéristique. La quantité de lumière émise peut être mesurée et corrélée avec la concentration de plomb dans l'échantillon. Les spectromètres ICP-AES ont l'avantage de permettre le dosage simultané de plusieurs éléments.

Ils permettent de mesurer des concentrations de plomb dans la peinture aussi faibles que 2 ppm.⁴ En ce qui concerne le volume de l'échantillon, les exigences de la méthode sont modérées. Les interférences spectrales sont courantes, mais il est possible d'y remédier (17). Les spectromètres ICP-AES doivent être utilisés par du personnel de laboratoire qualifié. Le coût d'acquisition initial de l'appareillage est élevé, mais le seul produit consommable nécessaire est l'argon. Le coût d'entretien est relativement élevé, car ces appareils sont d'une conception complexe. Le débit est moyen, habituellement d'un échantillon par minute (17, 20).

4.2 Spectrométrie de fluorescence X (XRF)

La spectrométrie XRF permet d'analyser rapidement la peinture sans l'endommager. Cette méthode repose sur le fait que, lorsqu'il est exposé à un rayonnement très énergétique, le plomb (comme beaucoup d'autres éléments) émet un rayonnement X de fréquence caractéristique (fluorescence X). Ce rayonnement X est le résultat du déplacement d'un électron des

3 Ibid.

4 Howard Varner, communication personnelle, janvier 2020.

couches K ou L de l'atome (6, 16). Le rayonnement peut être issu d'un tube à rayons X ou d'une source de rayonnement gamma. Les appareils qui utilisent un tube à rayons X peuvent détecter la fluorescence de la couche L tandis que les appareils utilisant une source de rayonnement gamma peuvent détecter la fluorescence à la fois de la couche K et de la couche L (6, 16, 22).

L'intensité du rayonnement peut être mesurée et corrélée avec la concentration de plomb dans l'échantillon. Comme pour d'autres méthodes d'analyse, il est nécessaire de commencer par étalonner l'appareil à l'aide de matériaux de référence certifiés.

Il existe deux principaux types de fluorescence X : la fluorescence X à dispersion d'énergie (EDXRF) et la fluorescence X à dispersion de longueur d'onde (23). Les appareils à fluorescence X peuvent être utilisés en laboratoire et il existe des versions portables et portatives qui peuvent être utilisées sur le terrain. Les systèmes EDXRF de laboratoire se caractérisent par une puissance plus importante, une meilleure résolution et des limites de détection plus basses que les versions portables et portatives (23).

La fluorescence X à haute définition (HDXRF) est une catégorie d'EDXRF. Elle utilise l'EDXRF combinée à un dispositif optique à rayons X composé d'un cristal à double courbure qui dirige un intense faisceau focalisé de rayons X sur la surface du matériau d'essai (23, 24). Ce système optique permet d'obtenir des analyseurs à haute sensibilité, compacts et à faible consommation. Les systèmes HDXRF permettent de mesurer avec précision la teneur en plomb d'une peinture liquide et d'un film sec de peinture et d'exprimer les résultats en ppm.

4.2.1 Analyse en laboratoire par fluorescence X à haute définition (HDXRF)

Les appareils HDXRF sont disponibles en version amovible ou de paillasse. Certains modèles de paillasse sont portables et peuvent être utilisés en dehors du laboratoire pour procéder à un contrôle de conformité.

Le système HDXRF de laboratoire permet de mesurer directement la teneur en plomb d'un film de peinture, sans qu'il soit nécessaire de détacher la peinture et d'utiliser un produit de digestion.

Ce système s'est révélé aussi exact et précis que les méthodes d'analyse en laboratoire décrites plus haut et une méthode d'essai normalisée a été développée (25, 26).

Pour analyser de la peinture liquide, l'échantillon doit être déposé dans un récipient à échantillon spécial, recouvert d'un film, qui est ensuite placé contre le détecteur. Si la préparation de l'échantillon est beaucoup plus simple que dans le cas des méthodes d'analyse en laboratoire précédemment décrites, il est important d'utiliser un récipient à échantillon et un film adéquats et d'assembler correctement le récipient à échantillon ; une formation est donc nécessaire (27).

En comparaison avec les méthodes d'absorption atomique et l'ICP-AES, l'analyse en laboratoire par fluorescence X est moins coûteuse et plus simple à utiliser. La fourchette analytique habituelle est de 1 ppm à 100 %.

4.2.2 Appareil portatif à fluorescence X (XRF)

Il existe tout un éventail d'appareils portatifs à fluorescence X. Ces appareils permettent de mesurer in situ la quantité de plomb dans la peinture sans endommager ni la peinture ni le substrat. La présente section donne la description de deux types d'appareils de terrain : les appareils à fluorescence X classique et les appareils à fluorescence X à haute définition.

Ces appareils contenant une source de rayonnement, une formation à leur utilisation en toute sécurité est indispensable (6, 16). Dans certains pays, les opérateurs doivent être titulaires d'une autorisation et d'un certificat (6).

Spectrométrie de fluorescence X (XRF) classique

La plupart des appareils portatifs à fluorescence X détectent la fluorescence de la couche K ; certains détectent la fluorescence de la couche L ; d'autres détectent les deux. Une comparaison de différents appareils portatifs à fluorescence X a révélé que ceux qui ne détectaient que la fluorescence de la couche L donnaient parfois des résultats faussement négatifs lorsque la peinture au plomb était recouverte d'une autre couche, car les rayons X L ne parviennent pas toujours à pénétrer les couches pour atteindre le détecteur. Ce problème se posait moins avec les appareils qui mesuraient la fluorescence de la couche K, car les rayons X K

ont une plus grande énergie (16). En revanche, les rayons X L sont moins susceptibles d'être influencés par les effets du substrat alors qu'il peut être nécessaire d'utiliser des techniques de correction du substrat avec les appareils à fluorescence de la couche K (6, 22). Il est donc important de choisir l'appareil à utiliser en fonction de l'analyse requise et de solliciter des conseils auprès du fabricant.

Les appareils à fluorescence X classique expriment les résultats en masse par unité de surface (mg/cm^2). Certains appareils sont dotés d'une option permettant de calculer et d'afficher les unités en ppm pour les produits peints, mais la densité et l'épaisseur de la peinture doivent être saisies et la fourchette est limitée (23).⁵

La limite de détection des appareils XRF utilisés à des fins spécifiques peut descendre jusqu'à 5 ppm, mais varie en fonction de la durée de l'analyse, de la matrice de prélèvement et de la présence d'interférences.⁶ Dans le cas des peintures recouvrant des surfaces habitables, il est possible d'obtenir une étendue de mesure comprise entre 0,1 et 10 mg/cm^2 .⁷ Cette étendue varie en fonction du substrat situé sous la peinture ; les substrats contenant du fer par exemple peuvent considérablement dégrader la limite de détection du plomb.⁸

La plupart des appareils sont étalonnés pour doser le plomb dans la peinture sur plusieurs types de substrats, comme le bois, le métal, le ciment, les plaques de plâtre (cloison sèche) et le plâtre, et il est important de choisir le bon réglage d'étalonnage au moment d'utiliser l'appareil. Si les résultats peuvent être obtenus en quelques secondes, une durée d'analyse plus longue permet d'augmenter la limite de détection et la précision.

Les appareils à fluorescence X classique assurent une bonne exactitude à condition d'être utilisés par un opérateur qualifié qui respecte les procédures d'étalonnage et qui veille à ce que le détecteur soit correctement placé contre la surface de test.

Plusieurs fabricants proposent des appareils à fluorescence X classique adaptés au dosage du plomb dans la peinture. Le coût de ces appareils est relativement élevé, variant entre 10 000 et 50 000 dollars des États-Unis. Ils nécessitent peu d'entretien, mais dans le cas des appareils qui utilisent une source radioisotopique, celle-ci doit être régulièrement remplacée. La courte durée de l'analyse permet aux opérateurs d'évaluer rapidement plusieurs surfaces peintes.

Des lignes directrices concernant la détermination de la teneur en plomb de la peinture à l'aide d'appareils à fluorescence X classique sont disponibles auprès de plusieurs sources, notamment des fabricants et des institutions nationales (6, 16).

Spectrométrie de fluorescence X à haute définition (HDXRF)

Contrairement aux appareils à fluorescence X classique, les appareils portatifs à fluorescence X à haute définition permettent d'analyser séparément la surface et le substrat et d'exprimer les résultats en ppm. Aux États-Unis, la Commission sur la sécurité des produits de consommation a jugé que l'analyse par fluorescence X à haute définition était adaptée au contrôle de la conformité des nouvelles peintures ainsi que des surfaces peintes existantes (28). Une méthode permettant de mesurer la teneur en plomb de la peinture et des matériaux de revêtement a été publiée ; cette méthode présente une fourchette analytique comprise entre 30 et 450 ppm (26).

Le principal inconvénient de cette méthode est le coût de l'appareillage, qui peut être supérieur à celui d'un appareil à fluorescence X classique. Les exigences de formation des opérateurs sont les mêmes que pour les analyseurs à fluorescence X classique.

5 Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, communication personnelle, novembre 2019.

6 Diego Tschuor, CONTROLTECH AG, communication personnelle, novembre 2019.

7 Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, communication personnelle, novembre 2019.

8 Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, communication personnelle, novembre 2019.

4.3 Trousses chimiques de contrôle

Il existe toutes sortes de troussees chimiques. Elles ne permettent pas de mesurer la teneur en plomb de la peinture avec autant de précision et d'exactitude que les analyses en laboratoire et par fluorescence X, mais la présente section fournit des informations à ce sujet par souci d'exhaustivité.

Les troussees chimiques peuvent ne donner qu'un résultat qualitatif ou être plus perfectionnées et permettre une estimation semi-quantitative. Dans la plupart des cas, la présence de plomb à une concentration supérieure à une certaine valeur est repérée par un changement de couleur. Les plus simples de ces troussees indiquent simplement si le résultat est positif (présence de plomb à une concentration supérieure à une certaine valeur) ou négatif (absence de plomb à une concentration supérieure à une certaine valeur), selon qu'il y a eu ou non changement de couleur. Le seuil de concentration à partir duquel se produit le changement de couleur dépend de la trousse utilisée et peut faire l'objet d'une réglementation dans le pays où ce type de test est commercialisé. Aux États-Unis par exemple, ces troussees doivent permettre de déceler la présence de plomb à une concentration supérieure à 1 mg/cm² (6). Selon la situation dans laquelle il est prévu de les utiliser, certaines troussees chimiques peuvent avoir une limite de détection plus basse.

Avec les troussees les plus simples, le mode opératoire consiste soit à utiliser un tampon trempé dans un réactif chimique avec lequel on frotte la surface peinte, soit à prélever un fragment de peinture dans une zone déterminée et à le mélanger

avec des réactifs dans un tube à essai. Des troussees d'analyse à la touche plus perfectionnées utilisent des méthodes fluorimétriques ou photométriques sur des fragments de peinture (29, 30).

Aux États-Unis, l'Agence pour la protection de l'environnement (USEPA) a procédé à l'évaluation d'un certain nombre de ces troussees et on pourra consulter son site Internet pour plus de précisions (31).

Ces troussees présentent un certain nombre d'inconvénients (6, 30, 32). Tout d'abord, elles ne permettent d'analyser que la couche de peinture qui est exposée ; par conséquent, si l'on veut analyser les couches sous-jacentes qui sont susceptibles d'avoir une plus forte teneur en plomb, il est nécessaire d'entamer la surface peinte ou d'en prélever un fragment (selon la méthode utilisée). Avec certaines troussees, le changement de couleur peut être difficile à voir, en particulier lorsqu'on analyse des peintures foncées. D'une façon générale, ces troussees ne permettent pas de déterminer la teneur en plomb de la peinture et même les méthodes semi-quantitatives ne donnent qu'une fourchette de concentration. En définitive, ces troussees chimiques sont sans doute d'une exactitude limitée ; en d'autres termes, il peut arriver qu'elles indiquent la présence de plomb à une concentration supérieure à une certaine valeur alors que ce n'est pas le cas (faux positif) ou inversement, qu'il n'y a aucune présence de plomb à une concentration supérieure à une certaine valeur (faux négatif) (32). C'est pour ces raisons que, pour doser le plomb avec exactitude dans les peintures, on préfère en général d'autres méthodes à ces troussees chimiques.

Les caractéristiques des différentes méthodes d'analyse sont récapitulées dans le tableau 2.

Tableau 2. Aperçu des méthodes d'analyse existantes pour le dosage du plomb dans la peinture

Méthode	Points forts	Inconvénients
Spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme (FAAS)	<ul style="list-style-type: none"> • Relativement simple à utiliser et coût modéré • Disponible avec échantillonneur automatique pour traiter plusieurs échantillons 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des gaz spéciaux • La limite de détection dépend de la préparation de l'échantillon et de la méthode utilisée • Doit être utilisé par un technicien de laboratoire qualifié
Spectrométrie d'absorption atomique électrothermique (ETAAS)	<ul style="list-style-type: none"> • Permet d'analyser des échantillons de très petite taille • Disponible avec échantillonneur automatique pour traiter un grand nombre d'échantillons 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des gaz spéciaux • Doit être utilisé par un technicien de laboratoire qualifié
Spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES)	<ul style="list-style-type: none"> • Peut être économique en cas d'utilisation pour un grand nombre d'échantillons • Permet d'analyser des échantillons de très petite taille • Permet de déterminer le rapport isotopique, ce qui peut aider à identifier la source du plomb • Limite de détection très basse 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûteux, coûts d'exploitation élevés • Doit être utilisé par un technicien de laboratoire hautement qualifié
Spectrométrie de fluorescence X à haute définition (HDXRF) en laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> • Faibles coûts d'exploitation et de fonctionnement • Permet de doser le plomb dans un échantillon de peinture liquide • Échantillon simple à préparer • Limite de détection basse 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'achat élevé • Nécessite une formation pour garantir des résultats exacts et le respect des exigences en matière de santé et de sécurité
Spectrométrie à fluorescence X (XRF) classique – appareil portable	<ul style="list-style-type: none"> • Peut être utilisé sur le site de la peinture à analyser • Ne nécessite pas d'endommager la surface peinte • Bonne exactitude • Résultats immédiats • Permet de mesurer un grand nombre de surfaces en peu de temps • Moins coûteux que les méthodes d'analyse en laboratoire lorsque de nombreuses surfaces doivent être analysées 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une formation pour garantir des résultats exacts et le respect des exigences en matière de santé et de sécurité • Il peut être nécessaire que l'opérateur soit titulaire d'une autorisation et/ou d'un certificat • Coût d'achat relativement élevé
Spectrométrie de fluorescence X à haute définition (HDXRF) – appareil portable	<p>Mêmes points forts que la XRF classique, plus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permet d'exprimer les résultats en ppm • Limite de détection basse (en dessous de 90 ppm) • Peut être utilisé sur un film sec de peinture pour doser le plomb dans une nouvelle peinture à des fins de vérification de la conformité 	<p>Mêmes inconvénients que la XRF classique</p>
Trousses chimiques de contrôle (sur place)	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse qualitative pour la peinture au plomb sur les murs ou autres surfaces • Résultats immédiats • Faibles coûts d'achat et d'exploitation • Relativement simples à utiliser 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne permettent pas une mesure précise • Résultats faussement positifs et faussement négatifs possibles • Permettent surtout d'analyser les couches supérieures (surface) • Peuvent nécessiter d'endommager la surface peinte • Changement de couleur parfois difficile à observer en cas de peintures foncées • Peuvent nécessiter une procédure spéciale pour certaines surfaces comme le plâtre

5. Choisir la méthode la mieux adaptée

De nombreux facteurs sont à prendre en considération au moment de choisir une méthode, notamment la raison pour laquelle l'analyse est effectuée (conformité, évaluation des risques, dépistage), le nombre d'échantillons à analyser, le substrat à analyser (nouvelle peinture, surface peinte existante, taille et forme de la surface), les restrictions financières, le degré d'exactitude requis, la limite de quantification requise, et la disponibilité de personnels qualifiés et de l'instrumentation.

Concernant la limite de quantification, il est recommandé d'utiliser une valeur égale ou inférieure à 20 % du seuil réglementaire (33). Dans le cas d'un seuil de 90 ppm par exemple, la méthode utilisée

doit donc permettre une détection à une valeur d'au moins 18 ppm. Le tableau 3 récapitule les analyses qui peuvent être utilisées en fonction de différents objectifs.

Tableau 3. Choisir l'analyse la mieux adaptée à l'objectif

Objectif de l'analyse	Méthodes d'analyse en laboratoire	Spectrométrie de fluorescence X			Trousse chimique de contrôle
		Laboratoire	Appareil portable XRF classique	Appareil portable HDXRF	
Test de conformité pour une nouvelle peinture	Oui	Oui – les mesures peuvent être effectuées à partir d'un film sec de peinture ou de peinture liquide	Non – résultats uniquement disponibles en mg/cm ²	Oui – résultats disponibles en ppm ; les mesures peuvent être effectuées à partir d'un film sec de peinture	Non
Étude de marché sur une nouvelle peinture	Oui	Oui – les mesures peuvent être effectuées à partir d'un film sec de peinture ou de peinture liquide	Non – résultats uniquement disponibles en mg/cm ²	Oui – résultats disponibles en ppm ; les mesures peuvent être effectuées à partir d'un film sec de peinture	Non
Contrôle de peintures existantes dans des logements, des établissements scolaires et d'autres bâtiments	Oui – endommagement inévitable de la surface peinte	Oui – endommagement inévitable de la surface peinte	Oui	Oui	Déconseillé
Analyse d'une peinture recouvrant des jouets ou d'autres objets de forme irrégulière	Oui	Oui	Oui	Oui	Non

L'analyse en laboratoire permet de doser le plomb dans la peinture (existante ou nouvelle) avec exactitude, dans la mesure où des échantillons appropriés sont prélevés et où elle est effectuée en respectant les principes de l'assurance de la qualité (voir la section 6.2). Le prélèvement des échantillons, leur transport et, dans le cas de la FAAS, de l'ETAAS et de l'ICP-AES, leur analyse en laboratoire demandent du temps et des compétences (l'analyse en laboratoire par HDXRF est une méthode plus rapide et plus simple). Le coût de l'envoi et de l'analyse en laboratoire peut être important ; il dépend de l'emplacement du laboratoire, du nombre d'échantillons à analyser et de la méthode d'analyse utilisée. Si la peinture à analyser est sèche, on devra inévitablement endommager la surface peinte pour prélever des échantillons.

L'utilisation d'un appareil portatif à fluorescence X constitue une autre solution possible pour le dosage du plomb dans la peinture existante, car il ne nécessite pas d'échantillonnage destructif ni de prélèvement de peinture ; en outre, il permet une analyse très rapide pour un coût modique par échantillon. Pour ces raisons, il s'agit de la méthode privilégiée pour contrôler la présence de peinture au plomb dans les locaux d'habitation (6, 15).

Une analyse en laboratoire est cependant recommandée dans les circonstances suivantes :

- un degré élevé d'exactitude ou une limite de détection basse sont nécessaires ;
- les zones à analyser sont inaccessibles ou les éléments du bâtiment présentent des surfaces irrégulières qui interdisent l'emploi d'un analyseur à fluorescence X ;
- l'appareil portatif à fluorescence X a donné un résultat limite et une confirmation est nécessaire.

Si les trousseaux chimiques de contrôle donnent aussi des résultats immédiats, elles fournissent des informations limitées sur la concentration en plomb et constituent la méthode la moins précise et la moins fiable.

5.1 Choisir un laboratoire

Il convient de prendre en compte plusieurs facteurs au moment de choisir un laboratoire pour analyser la peinture et il est recommandé de contacter le laboratoire en amont pour s'assurer de sa capacité à réaliser les analyses souhaitées. La qualité du service fourni a une importance fondamentale. Faire appel à un laboratoire certifié par un organisme reconnu et autorisé à réaliser les analyses spécifiques requises permettra d'avoir confiance dans l'exactitude et la fiabilité des résultats d'analyse obtenus. Cela est particulièrement important lorsque l'objectif de l'analyse est d'obtenir une déclaration de conformité avec les lois sur les peintures au plomb. Des informations supplémentaires sur la qualité des laboratoires, et notamment leur accréditation, sont fournies dans la section 6.

Parmi les autres facteurs à prendre en compte, il convient de mentionner :

- l'expérience du laboratoire en matière d'analyse de peintures
- les méthodes d'analyse utilisées et la limite de détection
- les exigences d'échantillonnage
- la capacité à prendre en charge le nombre d'échantillons requis
- le coût des analyses, et notamment le coût d'envoi
- la durée de l'analyse.

5.2 Trouver un laboratoire

Des informations sur les laboratoires autorisés à doser le plomb dans la peinture sont généralement disponibles sur les sites Internet des organismes nationaux d'accréditation. Les coordonnées de ces organismes figurent sur le site Internet de l'International Laboratory Accreditation Cooperation (Coopération internationale sur l'agrément des laboratoires d'essai – ILAC),⁹ qui donne une liste des organismes signataires de l'arrangement de reconnaissance mutuelle de l'ILAC. Ce site Internet fournit également des informations sur les organes régionaux de coopération pour l'accréditation.

9 <https://ilac.org/signatory-search>

Une autre source d'information est le site Internet du programme de test des compétences de l'American Industrial Hygiene Association (AIHA).¹⁰ L'AIHA gère le programme Environmental Lead Proficiency Analytical Testing (ELPAT) (34) et fournit une liste comprenant plus de 250 laboratoires aux États-Unis et dans d'autres pays qui ont réussi le test de compétences le plus récent concernant le plomb dans la peinture.

La Commission américaine sur la sécurité des produits de consommation¹¹ tient à jour une liste des laboratoires autorisés à réaliser des analyses pour le compte d'un tiers afin de vérifier la conformité de produits destinés aux enfants avec les exigences fédérales des États-Unis en matière de sécurité (35). Cette liste inclut des laboratoires agréés aux États-Unis et dans d'autres pays qui peuvent contrôler la présence de plomb dans la peinture.

5.3 Mettre en place un service de laboratoire pour doser le plomb dans la peinture

La mise en place d'un service de laboratoire nécessite un investissement important en ressources. La présente section souligne donc plusieurs aspects à prendre en compte au moment de prendre une décision à ce sujet.

- La charge de travail est-elle suffisante pour justifier la mise en place du service ?
- Existe-t-il un autre laboratoire dans le pays ou à l'étranger qui fournit déjà ce service à un coût raisonnable et dans des délais acceptables ?
- Existe-t-il un laboratoire pouvant ajouter l'analyse de la peinture à ses services ?
- Quel type d'appareillage est nécessaire pour répondre aux besoins du laboratoire (HDXRF, GFAAS, ETAAS, ICP-MS) ?
- L'instrumentation nécessaire est-elle déjà disponible ou doit-elle être achetée ?
- Les fonds sont-ils suffisants pour couvrir les coûts d'acquisition, d'installation, d'entretien et d'exploitation du matériel, et notamment le coût d'acquisition des matériaux de référence certifiés et le coût de remplacement des produits consommables tels que les lampes, les tubes et les gaz ?
- Des locaux adaptés permettant un approvisionnement fiable et régulier en eau et en électricité sont-ils disponibles ? Est-il possible de modifier un bâtiment existant ou est-il nécessaire de construire un nouveau laboratoire ?
- Le nombre de personnels de laboratoire dûment formés est-il suffisant pour faire fonctionner l'appareillage choisi ?
- Le laboratoire cherchera-t-il à obtenir une accréditation pour le dosage du plomb dans la peinture et des ressources sont-elles disponibles pour financer cette démarche ?

10 <https://online.aihapat.org/patssa/f?p=AIHASSA:17800;search for ELPAT Laboratories Program>

11 <https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>

6. Aspects importants du travail en laboratoire

En chimie analytique, même l'appareillage le plus perfectionné et le plus exact donnera des résultats incorrects si les échantillons n'ont pas été correctement prélevés et manipulés, si le matériel n'a pas été utilisé de façon satisfaisante et entretenu régulièrement, ou si l'on ne s'est pas conformé aux protocoles d'analyse. Lorsqu'on procède à un dosage du plomb dans la peinture, deux sujets de préoccupation se présentent : une contamination des échantillons qui serait passée inaperçue, et une assurance et un contrôle de la qualité insuffisants. Ces points sont brièvement abordés dans les sections suivantes.

6.1 Comment éviter une contamination externe

Le plomb est envahissant et peut contaminer les échantillons de toutes sortes de manières, notamment lorsqu'on analyse des fragments de peinture en laboratoire. La contamination peut se produire lors du prélèvement, du stockage, du transport et de la manipulation des échantillons. La qualité du prélèvement et de la manipulation des échantillons est donc primordiale pour une détermination exacte de la teneur en plomb d'une peinture. Ces activités doivent être menées conformément à un mode opératoire normalisé comprenant des mesures destinées à éviter une contamination, comme l'utilisation d'un nouveau matériel d'échantillonnage pour chaque échantillon (17).

La manipulation des échantillons dans un laboratoire comporte également des risques de contamination. Le laboratoire doit être aussi exempt de plomb que possible et le personnel doit être dûment formé à éviter la contamination des échantillons. Il existe des protocoles propres aux différentes méthodes d'analyse, établis notamment par les fabricants et les organismes de normalisation, qu'il convient de respecter scrupuleusement (13, 17–19). L'application des mesures voulues d'assurance de la qualité permet de réduire sensiblement les risques de contamination (33).

6.2 Assurance de la qualité et contrôle de qualité

L'assurance de la qualité et le contrôle de qualité sont des composants d'un système de gestion de la qualité. La gestion de la qualité implique l'intégration de tous les aspects de l'activité du laboratoire, incluant la structure organisationnelle, les processus, les procédures et les ressources, afin de garantir la qualité du service fourni aux utilisateurs, ainsi que la fiabilité et la reproductibilité des résultats (33, 36).

L'assurance de la qualité porte sur les processus et les procédures. Elle implique notamment le recours à des pratiques scientifiquement et techniquement valables lors des investigations en laboratoire, notamment en ce qui concerne la sélection, le prélèvement, le stockage et le transport des échantillons, ainsi que l'enregistrement, la notification et l'interprétation des résultats. Elle comprend également un volet formation et un volet gestion dont le but est d'améliorer la fiabilité des investigations. L'assurance de la qualité inclut un stade initial qui consiste à s'assurer de la praticabilité et de la fiabilité de la méthode d'analyse et qui porte sur les points suivants : linéarité, spécificité, taux de récupération, étalons, blancs, limites de détection et limite de quantification et robustesse (17).

Le contrôle de qualité désigne le contrôle des erreurs lors de la réalisation des analyses et la vérification des résultats d'analyse. Il comporte deux volets :

le contrôle de qualité interne et l'évaluation externe de la qualité.

Contrôle de qualité interne : il s'agit d'une série d'opérations effectuées par le personnel du laboratoire en vue d'évaluer en permanence les résultats obtenus au fur et à mesure qu'ils sortent de manière à vérifier s'ils sont exacts et précis, et donc suffisamment fiables pour être diffusés (17, 20). La mesure de contrôle de la qualité peut prendre la forme d'une analyse d'échantillons de contrôle contenant une teneur en plomb bien définie afin de vérifier la fiabilité de la méthode d'analyse. Lorsque des matériaux de référence (certifiés) existent et sont adaptés (niveaux de concentration et matrice), il est fortement recommandé de les utiliser pour l'étape de validation et le contrôle de qualité régulier. Aux États-Unis, l'Agence pour la protection de l'environnement a développé des procédures de contrôle de qualité pour le dosage du plomb dans la peinture (17, 33). Le mode opératoire normalisé pour analyser un échantillon doit normalement inclure une description des mesures de contrôle de la qualité (33).

Évaluation externe de la qualité (EEQ) : il s'agit d'un système permettant de vérifier objectivement les performances d'un laboratoire en utilisant les services d'une agence externe. Elle implique que le laboratoire analyse en aveugle des échantillons de contrôle contenant une quantité de plomb inconnue. Les résultats sont ensuite comparés aux concentrations en plomb réelles, qui ne sont pas révélées tant que les analyses ne sont pas terminées. Les résultats sont aussi comparés à ceux d'autres laboratoires participant au programme. Les programmes d'évaluation externe de la qualité incluent normalement plusieurs cycles d'analyse par an. Le programme ELPAT mentionné plus haut est un exemple de programme d'EEQ pour le dosage du plomb dans les fragments de peinture (mais aussi dans la terre et la poussière). Les évaluations ont lieu tous les trimestres.

6.2.1 Analyses in situ

Les mesures d'assurance de la qualité et de contrôle de qualité doivent également être appliquées aux analyses réalisées en dehors du laboratoire, par exemple lorsque des appareils XRF sont utilisés pour évaluer la teneur en plomb de la peinture dans des bâtiments. Ces mesures impliquent de garantir que les opérateurs sont dûment formés et d'utiliser des contrôles d'étalonnage et des essais de contrôle (6).

6.3 Normes, certification et accréditation

Les normes, la certification et l'accréditation sont des mesures importantes pour assurer et démontrer la qualité du laboratoire.

Une norme est un document, établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des lignes directrices ou des caractéristiques pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné (36). Les normes peuvent être nationales ou internationales. Parmi les normes internationales relatives au dosage du plomb dans la peinture, il convient de mentionner celles de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et d'ASTM International. Une liste de ces normes figure en annexe.

La certification est une procédure par laquelle une tierce partie donne une assurance écrite qu'un processus ou un service est conforme à des exigences spécifiques. Cette procédure implique une inspection du laboratoire par les représentants d'une agence de certification qui cherchent la preuve de la conformité aux normes, lignes de conduite, procédures, exigences et règlements. La principale vérification porte sur la présence physique de procédures et de documents (36).

L'accréditation est une procédure selon laquelle un organisme faisant autorité fournit une reconnaissance formelle qu'un laboratoire est compétent pour réaliser des tâches spécifiques, par exemple la quantification de la teneur en plomb des peintures. Dans ce cas, le laboratoire est visité par les représentants d'un organisme d'accréditation qui, en plus de chercher la preuve de la conformité aux normes, lignes de conduite, procédures, exigences et règlements, observent aussi les opérateurs pour évaluer leur compétence. L'organisme d'accréditation peut également fixer les normes auxquelles doit se conformer le laboratoire (36). L'ISO/IEC 17025 est un exemple de norme d'accréditation (37). Aux États-Unis, la participation au programme ELPAT est une condition indispensable à l'admission d'un laboratoire au programme Environmental Lead Laboratory Accreditation (ELLAP).

7. Conclusions

Les peintures au plomb sont une source importante d'exposition au plomb, en particulier pour les enfants et les travailleurs. Or cette source d'exposition peut être évitée, car il est possible de fabriquer des peintures ayant les couleurs et propriétés souhaitées sans utiliser d'additifs au plomb. Néanmoins, même lorsqu'un pays a restreint l'utilisation de plomb dans la peinture, des peintures au plomb peuvent subsister dans des bâtiments et des structures et continueront d'être une source d'exposition pendant de nombreuses années.

La prévention primaire repose sur la mise en œuvre de mesures de contrôle juridiquement contraignantes comme des lois, des règlements ou des normes pour mettre fin à l'ajout d'ingrédients à base de plomb dans les nouvelles peintures. Dans les pays où des bâtiments et d'autres structures ont déjà été recouverts de peinture au plomb, la prévention peut aussi impliquer le recours à des mesures de gestion des risques appropriées, comme l'enlèvement des peintures au plomb. Dans les deux cas, qu'il s'agisse de prévention primaire ou secondaire, il est nécessaire de disposer de moyens pour mesurer la teneur en plomb des peintures.

Le présent guide décrit des méthodes couramment utilisées pour doser le plomb dans la peinture, que ce soit en laboratoire ou in situ lorsque de la peinture au plomb a été utilisée. Il existe tout un éventail de méthodes, dont les coûts et niveaux de complexité varient, et les autorités de santé publique et agences environnementales, entre autres, doivent choisir les méthodes qui correspondent le mieux à leurs besoins.

8. Bibliographie

1. GBD Compare. Global deaths and DALYs attributable to lead exposure. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington; 2018 (<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>, accessed 30 March 2020).
2. Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K et al. Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA*. 2017; 317(12):1244–1251. doi:10.1001/jama.2017.1712.
3. Global Health Observatory (GHO) data. Legislation: regulations and controls on lead paint. Geneva: World Health Organization; 2019 (https://www.who.int/gho/phe/chemical_safety/lead_paint_regulations/en/, accessed 30 March 2020).
4. 2019 update on the global status of legal limits on lead in paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2019 (<https://www.unenvironment.org/resources/report/2019-update-global-status-legal-limits-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
5. American Healthy Homes Survey: lead and arsenic findings. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2011 (https://www.hud.gov/sites/documents/AHHS_REPORT.PDF, accessed 6 April 2020).
6. Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2012. Chapter 7 and Appendix 13.2 (https://www.hud.gov/program_offices/healthy_homes/lbp/hudguidelines, accessed 6 April 2020).
7. Dixon SL, Gaitens JM, Jacobs DE, Strauss W, Nagaraja J, Pivetz T et al. Exposure of U.S. children to residential dust lead, 1999–2004: II. The contribution of lead-contaminated dust to children's blood lead levels. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3):468–74. doi: 10.1289/ehp.11918.
8. Childhood lead poisoning. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/136571>, accessed 30 March 2020).
9. Model law and guidance for regulating lead paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2018 (<https://www.unenvironment.org/resources/publication/model-law-and-guidance-regulating-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
10. Le Bot B, Arcelin C, Briand E, Glorennec P. Sequential digestion for measuring leachable and total lead in the same sample of dust or paint chips by ICP-MS, *J Environ Sci Health, Part A*. 2011; 46(1):63–69. doi:10.1080/10934529.2011.526902.
11. Soluble and total lead content of solvent-based paints for home use in China. Stockholm: International Pollutants Elimination Network; 2017 (http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-china-lead-report-v1_3-en.pdf, accessed 30 March 2020).

12. Deshommes E, Tardif R, Edwards M, Sauvé S, Prévost M. Experimental determination of the oral bioavailability and bioaccessibility of lead particles. *Chemistry Central Journal*. 2012; 6: 138. doi.org/10.1186/1752-153X-6-138
13. Test method: CPSC-CH-E1003-09.1: Standard operating procedure for determining lead (Pb) in paint and other similar surface coatings. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2011 (https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/blk_pdf_CPSC-CH-E1003-09_1.pdf, accessed 30 March 2020).
14. Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination. ASTM E1729-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
15. Diagnostique plomb: protocole de réalisation du constat de risque d'exposition au plomb [Lead diagnostic: protocol for carrying out risk assessment of lead exposure]. NF X46–030: 2008–4. La Plaine Saint-Denis: l'Association Française de Normalisation; 2008.
16. Détection du plomb dans les peintures anciennes [Detection of lead in old paint]. Maisons-Alfort: Agence française de sécurité sanitaire environnementale; 2005 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2004et5091Ra.pdf>, accessed 30 March 2020)
17. Pb-based paint laboratory operations guidelines: analysis of Pb in paint, dust, and soil. Revision 1.0, EPA 747-R-92-006, May 1993. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 1993 (<https://www.epa.gov/lead/pb-based-paint-laboratory-operations-guidelines-analysis-pb-paint-dust-and-soil-revision-10-epa>, accessed 30 March 2020).
18. Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis. ASTM E1645-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
19. Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques. ASTM E1613-12. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2004.
20. Flanagan RJ, Taylor A, Watson ID, Whelpton R. *Fundamentals of analytical toxicology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2007: 281–301.
21. ISO 6503:1984. Paints and varnishes – determination of total lead – flame atomic absorption spectrometric method. Geneva: International Organization for Standardization; 1984 (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:12880:en>, accessed 30 March 2020).
22. Schmehl RL, Cox DC, Dewalt FG. Lead-based paint testing technologies: summary of an EPA/ HUD field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999;60:444–451.

23. Cobb D. Study on the effectiveness, precision, and reliability of X-ray fluorescence spectrometry and other alternative methods for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2009 (<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/leadinpaintmeasure.pdf>, accessed 30 March 2020).
24. Gibson WM, Chen ZW, Danhong L. High-definition X-ray fluorescence: applications. X-ray Optics and Instrumentation. 2008; Article ID 709692. doi:10.1155/2008/709692.
25. Cobb D. Update on use of X-ray fluorescence spectrometry for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2010.
26. Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams. ASTM F2853-10. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2015.
27. Analysing liquids using XRF sample cups and films. FXBA-0032-01. Bedburg-Hau: Fluxana; 2019 (https://fluxana.com/images/Whitepaper/PDF/Whitepaper_Analyzing_Liquids_using_XRF_sample_cups_and_films.pdf, accessed 30 March 2020).
28. The U.S. Consumer Product Safety Commission approves new test method for detection of lead in paint. Business Wire, 31 March 2011 (<https://www.businesswire.com/news/home/20110331006041/en/U.S.-Consumer-Product-Safety-Commission-Approves-New>, accessed 30 March 2020).
29. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — lead-in-paint test kit. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elky.pdf>, accessed 30 March 2020).
30. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — LeadPaintCheck. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elna.pdf>, accessed 30 March 2020).
31. Performance characteristics of qualitative spot test kits for lead in paint (completed 2010). [website] Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Environmental Technology Verification Program; 2019 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/html/este.html#pcqstklp>, accessed 3 April 2020).
32. Rossiter WJ, Vangel MG, McKnight ME, Dewalt G. Spot test kits for detecting lead in household paint: a laboratory evaluation. NISTIR 6398. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology; 2000 (https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860223, accessed 3 April 2020).
33. National Lead Laboratory Accreditation Program: Laboratory quality system requirements, Revision 3.0. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 2007 (<https://www.epa.gov/lead/national-lead-laboratory-accreditation-program-laboratory-quality-system-requirements-revision>, accessed 3 April 2020).

34. ELPAT frequently asked questions. Falls Church (VA): American Industrial Hygiene Association; 2019 (<https://www.aihapat.org/programs/environmental-lead-proficiency-analytical-testing-elpat-program/elpat-faqs>, accessed 3 April 2020).
35. List of CPSC-accepted testing laboratories. United States Consumer Product Safety Commission (<https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>, accessed 3 April 2020).
36. Laboratory quality management system: handbook, version 1.1. Geneva: World Health Organization; 2011 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44665>, accessed 3 April 2020).
37. ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization; 2017 (<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf>, accessed 6 April 2020).

Annexe

Normes internationales et méthodes de prélèvement, de préparation et d'analyse des échantillons pour doser le plomb dans la peinture

Procédure	Nom de la norme
Normes internationales pour le prélèvement des échantillons	ASTM E1729-16. Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination
	ISO 15528:2013. Peintures, vernis et matières premières pour peintures et vernis – Échantillonnage (disponible en anglais, en français et en russe)
Normes internationales pour la préparation des échantillons	ISO 1513:2010. Peintures et vernis – Examen et préparation des échantillons pour essai (disponible en anglais, en français et en russe)
	ASTM E1645-16. Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis
	ASTM E1979-17. Standard practice for ultrasonic extraction of paint, dust, soil and air samples for subsequent determination of lead
Normes internationales pour les méthodes d'analyse	ISO 6503:1984. Peintures et vernis – Détermination du plomb total – Méthode par spectrométrie d'absorption atomique dans la flamme (pour mesurer des concentrations en plomb de 0,01 % à 2,0 %) (disponible en anglais et en français)
	ASTM D3335-85a (2014). Standard test method for low concentrations of lead, cadmium, and cobalt in paint by atomic absorption spectroscopy (for measurement of lead concentration of 0.01% to 5.0%)
	ASTM E1613-12. Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICPAES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques
	ASTM F2853-10 (2015). Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams

Les normes ISO peuvent être obtenues à partir du site <https://www.iso.org>

Les normes ASTM peuvent être obtenues à partir du site <https://www.astm.org>

Pour plus de renseignements, veuillez contacter le
Département Environnement, changement climatique
et santé

Organisation mondiale de la Santé

20 avenue Appia

CH-1211 Genève 27

Suisse

Courriel : ipcsmail@who.int

