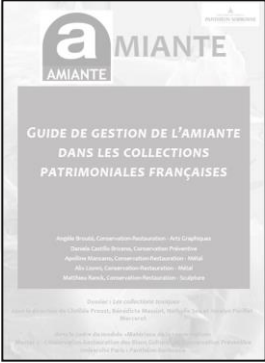


Dossier universitaire

« Chaîne de conditionnement de collections toxiques »



BROUTÉ Angèle, CASTILLO BRICENO Daniela, LIONNI Alix, MANZANO Apolline, RANCK Matthieu, « Guide de gestion de l’amiante dans les collections patrimoniales françaises », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, C2RMF, 2024

CHEREAU Amandine, GUTIERREZ-MUNOZ Camila, SAGNES-KRAVTSOVA Camille, THÉPAUT Amandine, ZULOVIC Amina, « L’arsenic dans les collections patrimoniales », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, C2RMF, 2024



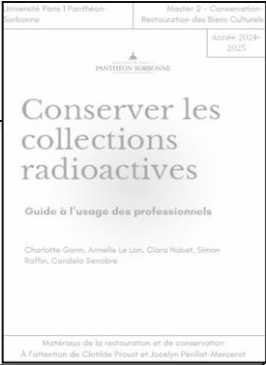
BATISTA Manon, BONNEMASOU-CARRÈRE Claire, DELAHAYE Cassandra, PITTION Julie, REINE Aude, « Les collections de Formaldéhyde - Étude du formaldéhyde dans les collections », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, C2RMF, 2024

CHOTIN Kimberley, DEMANGE Léonie, LÉZENNEC Lise, NAERT Lison, MUNIR QURESHI Saïra, « Mercure et patrimoine », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, C2RMF, 2024



BARBARAS Émeline, CORENTIN Romane, CUSIN Diane, MAGLIANO Lisa, SERIO Clémence, « Le plomb en conservation-restauration », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, C2RMF, 2024

GARIN Charlotte, LE LAN Armelle, NABET Clara, RAFFIN Simon, SENABRE Candela, « Conserver les collections radioactives - Guide à l’usage des professionnels », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, C2RMF, 2024



Préambule

Le module « Matériaux de la conservation » dispensé aux étudiants de Master 2 Conservation-restauration des biens culturels (CRBC) de l'université Paris 1 – Panthéon Sorbonne intègre plusieurs cours théoriques relatifs aux matériaux et aux modes de conditionnement des collections. Il est sanctionné par des travaux en groupes sur un sujet défini par les coordinateurs pédagogiques : les groupes d'étudiants du Master CRBC, mêlant les spécialités restauration et conservation préventive au sein de chaque groupe, remettent un dossier.

En 2024, afin de favoriser l'insertion professionnelle des étudiants et de s'assurer qu'ils puissent disposer de réflexes appropriés face à une situation, les coordinateurs pédagogiques ont convenu de les confronter à la mise en place théorique d'une chaîne opératoire de conditionnement devant intégrer des collections qui posent une problématique de toxicité. Six types de source de toxicité ont été retenus : l'amiante, l'arsenic, les formaldéhydes, le mercure, le plomb et la radioactivité.

Précaution de lecture

Il ne s'agit pas de travaux exhaustifs mais exploratoires, réalisés par des étudiants en master de conservation-restauration des biens culturels de l'université Paris 1 – Panthéon Sorbonne.

Ces travaux n'ont pas valeur de recommandation, ils ne sont pas prescriptifs et ne se substituent pas à une analyse de situation réalisée par des professionnels habilités et des organismes spécialisés en santé publique.

Ces travaux n'ont pas été validés par le ministère de la Culture, par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ou par le ministère de la Santé et de la Prévention.

Remerciements

Ce projet pédagogique a été coordonné entre octobre et décembre 2024 par Clotilde PROUST, conservatrice-restauratrice spécialisée en collections archéologiques, indépendante et coordinatrice du module pour l'Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, et Jocelyn PÉRILLAT-MERCEROT, chargé d'études documentaires – conseil en conservation préventive au C2RMF.

Ont été associées à cet encadrement pédagogique Bénédicte MASSIOT, conservatrice-restauratrice spécialiste d'objets scientifiques et composites au C2RMF, et Nathalie SÉA, conseillère en prévention des risques professionnels au C2RMF.

Les coordinateurs pédagogiques et les étudiants expriment également leur gratitude pour les professionnels ayant accompagné, renseigné et conseillé les étudiants dans le cadre de leur étude : Marc AMMERICH, Thierry AUBRY, Marjolaine BACOT, Caroline BAUER, Thomas BEAUFILS, Hugo BORDET, Juliette BOUZOU, Arnaud BRUNIQUEL, Lise BRET, Anne CHAILLOU, Émilie CHECHROUN, Françoise COLLANGES, Jacques CUISIN, El-Bachir DIANE, Jane ECHINARD, Vincent GUERRE, Benoît JENN, Adrien KLAPISZ, Sandra LEBOUCHER, Patricia LECLERC, Alexandra LEFEBVRE, Stéphane LEMOINE, Sylvie MAILLARD, Bénédicte MASSIOT, Noémy MOLLARET, Célestine OUSSET, Céline PALETTA, Séverine PETIT, Éloïse QUETEL, Nina ROBIN, Laure-Elie RODRIGUES, Juliette ROLLIER-HANSELMANN, Julie SCHRÖTER, Nathalie SEA, Loren SOUCHARD, Olivier THOMAS, Mahaut TRINQUAND, Olivier VAILLANT, Saskia VAN DE VOORDE, Zoe-Joy VANGANSEWINKEL, Arnaud VEILLARD, Leslie VILLIAUME, Marc VOISOT, Juliette ZELINSKY

Les coordinateurs pédagogiques souhaitent remercier les étudiants de Master 2 CRBC pour leur implication dans ce projet et pour leurs productions.

Matériaux de la CRBC



Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne

UFR 03

Master 2 Conservation Restauration des Biens Culturels

L'arsenic dans les collections patrimoniales

Professeurs encadrants :

Mme Clotilde Proust, Maître de conférence associé – Paris 1 Panthéon Sorbonne
M. Jocelyn Perillat-Mercerot, chargé d'étude documentaire - C2RMF

CHEREAU Amandine
GUTIERREZ-MUNOZ Camila
SAGNES-KRAVTSOVA Camille
THÉPAUT Amandine
ZULOVIC Amina

Année universitaire 2023-2024

Table des matières

Introduction	3
I/ L'ARSENIC ET SES RISQUES (<i>Cf fiche synthétique annexe</i>)	4
A. Qu'est-ce que l'arsenic ?.....	4
B. Toxicité et risques pour la santé.....	6
II/ PRÉSENCE DANS LES COLLECTIONS PATRIMONIALES (<i>Cf fiche synthétique annexe</i>)	10
A. L'arsenic comme traitement.....	10
B. L'arsenic comme pigment.....	12
1) Orpiment et Réalgar	12
2) Pigments verts arsenicaux	14
3) Collections à risque.....	15
III/ RECONNAITRE, AGIR ET PRÉVENIR : QUELLES MÉTHODOLOGIES DE DIAGNOSTIC ET DE TRAITEMENT ? (<i>Cf fiche synthétique annexe</i>)	18
A. Diagnostic des typologies – inspection visuelle.....	18
B. Méthodes d'examens.....	19
1) Spécimens naturalisés et grande échelle.....	19
2) Peinture, textiles, papiers peints, livres... l'arsenic comme pigment	21
C. Protocole d'intervention et de traitement des collections contaminées : agir et prévenir..	21
1) Informé et prévenir des risques.....	21
2) Entourer et encadrer la CR.....	22
3) Conditionnement, stockage et mise en réserve	24
Conclusion	25
Bibliographie.....	26

Introduction

Dans le cadre muséal, si en premier lieu on pense à éliminer le risque externe, on en oublie bien souvent qu'il existe un risque, parfois plus dangereux encore, celui qui demeure intrinsèque à l'œuvre. Nous voulons ici parler des polluants. Et quoi de mieux que l'arsenic pour évoquer leur potentiel mortel ? Des intérieurs du XIXème siècle aux ouvrières dans l'industrie de la mode victorienne en passant par la mort douteuse de Napoléon I, l'arsenic semble être le candidat idéal pour démontrer la toxicité que présentent les polluants...

Peu étudiés et pourtant assez présents, il est parfois difficile de déceler les risques que présentent ce type de composants, parfois invisibles à l'œil nu, volatils et cumulatifs... Ainsi, identifier, diagnostiquer et mesurer nous permet d'agir et de prévenir sur la toxicité des polluants.

Car, bien au-delà de présenter un risque pour la préservation des biens culturels, ces polluants sont également des sources toxiques dangereuses pour notre santé, pour celle des professionnels et du public. Mais alors, comment concilier accessibilité, pédagogie et sécurité sanitaire ? Comment exposer, conditionner et mettre en réserve sans contaminer ? Comment concilier étude et traitement de conservation restauration tout en préservant la santé des professionnels ?

En bref, quelle gestion pouvons-nous appliquer à ces biens culturels qui présentent un risque pour les visiteurs et les professionnels ? Les polluants sont ainsi l'antagonisme même de la conservation restauration, car l'œuvre a finalement -consciemment ou non- été conçue en intégrant son propre processus de dégradation... C'est une ambivalence parfois difficile à équilibrer pour les institutions et les professionnels exposés à ces risques et souvent trop peu avertis sur le sujet ; c'est pourquoi ce dossier prend toute son importance.

De ce fait, il nous paraît essentiel de connaître et comprendre ce qu'est l'arsenic, du point de vue physique et chimique, de quelle nature et sous quelle forme peut-il se présenter. Ce point de départ nous permettra d'effectuer une présentation de ses multiples formes dans les différentes typologies qui le comprennent. Puisqu'identifier c'est pouvoir diagnostiquer, il est essentiel d'introduire un protocole de reconnaissance et donc de traitement, à la fois pour l'action et la prévention. Enfin, dans l'objectif pédagogique de ce dossier muséal et de ces fiches pratiques, nous vous inviterons à prendre conscience des risques liés à la santé pour le public comme les professionnels.

I/ L'ARSENIC ET SES RISQUES (*Cf fiche synthétique annexe*)

A. QU'EST-CE QUE L'ARSENIC ?



Arsenic natif de
Ste. Marie-aux-mines,
France
Natural History Museum, London.
© Aram Dulyan



Orpiment de Racha,
Géorgie du Nord
Wikipédia © domaine public.



Réalgar de Baia Sprie,
Roumanie
Wikipédia © domaine public.

Arsenic As

L'arsenic est un élément chimique, de symbole **As** et de numéro atomique **33**. Il fait partie de la famille des **métalloïdes**, il possède des propriétés de métaux et de non-métaux. A l'état natif (As), il est plutôt rare¹ et il se présente sous la forme de cristaux gris.

Dans la nature, l'arsenic se rencontre plus largement, lié à d'autres éléments et espèces minérales ou métalliques, tel que le soufre (S), l'oxygène (O), le cuivre (Cu), le cobalt (Co)², l'or (Au), l'argent (Ag), le fer (Fe)³... avec lesquelles il interagit facilement par phénomène d'oxydo-réduction, et forme une grande variété de composés arsenicaux : des sulfures (minerais...), des oxydes (arséniates, arsénites...), des arséniures métalliques, des gaz, qui sont plus ou moins rares et plus ou moins toxiques. Ces composés sont naturellement présents dans l'environnement ou issus de la production industrielle humaine. Ils se divisent en deux groupes :

► **arsenic organique** : lié au carbone ou à l'hydrogène⁴, il est présent dans la nature : les végétaux, les fruits de mers, les poissons, certains fruits... bien que toxique en grande quantité, en petite quantité c'est un élément nécessaire à notre organisme.

► **arsenic inorganique** : forme pure ou lié à un autre élément, principalement le soufre et l'oxygène. Il est naturellement présent dans les sols, les eaux, l'air, ... sous différentes formes chimiques. L'arsenic inorganique est le plus toxique et représente le danger le plus important pour les êtres vivants, ce dernier est celui qui nous intéresse.

¹ Marion Dangeon, *Conservation des collections naturalisées traitées aux biocides : étude de la collection Mammifères et Oiseaux du Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel*, Mémoire, Bachelor of Arts HES-SO en Conservation Objets archéologiques et ethnographiques, ARC Neuchâtel, 2024, p.24

² O'Day PA, « Chimie et minéralogie de l'arsenic », *Éléments* 2 (2) : 77–83, 2006.

³ Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds », *Archaeological and Anthropological Sciences* (2022) 14 : 4, [en ligne], consulté le 17 novembre 20234, disponible à l'URL suivante : <https://link.springer.com/article/10.1007/s12520-021-01431-z>

⁴ *Arsenic*, Centre de Lutte contre le cancer Leon Berard [en ligne], consulté le 17 novembre 20234, disponible à l'URL suivante : <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/arsenic/#:~:text=par%20des%20industries,-.Toxicit%C3%A9%20et%20effet%20canc%C3%A9rog%C3%A8ne,accumuler%20dans%20les%20tissus%20humains.>

Minerais arsenicaux et sulfures

Si l'arsenic est rare à l'état natif, il se rencontre à l'état de minéral, essentiellement lié au soufre et forme des minerais sulfurés d'arsenic : le **réalgar** ou arsenic rouge (As_4S_4) et l'**orpiment** ou arsenic jaune (As_2S_3). Nous rencontrons aussi le **mispickel** ou l'arsénopyrite (FeAsS), le Cobaltite (CoAsS), le Gersdorffite (NiAsS) et Enargite (Cu_3AsS_4)

Proustite (Ag_3AsS_3) ... issu de la combinaison d'un métal transition tel que le fer (Fe), le Cobalt (Co) et nickel (Ni), le cuivre (Cu)... avec des sulfures d'arsenic.⁵

Oxydes d'arsenic et arséniates

L'arsenic possède plusieurs degrés d'oxydation et formes des oxydes : **trioxydes d'arsenic** (As_2O_3) qui a l'aspect d'une poudre blanche particulièrement toxique et les **pentaoxydes d'arsenic** (As_2O_5). Les oxydes d'arsenic sont les produits d'altérations secondaires des minerais sulfurés d'arsenic et forment : l'**arsénolite** et la **claudétite** (As_2O_3) ou ils sont issus de la torréfaction de minéral ou de charbon contenant de l'arsenic⁶.

Les sulfures d'arsenic présents parmi d'autres gisements comme le cuivre (Cu), plomb (Pb)⁷, calcium (Ca), forment des produits d'oxydation **appelés arséniates ou arsénites** : arséniate de cuivre (CuHAsO_3), arséniate de plomb ($\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$), arséniate de calcium ($\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$).

Arséniures métalliques

Les arséniures sont des éléments rares, souvent formés à partir du fer, du cobalt, du nickel et du cuivre. La loellingite (As Fe) est un arséniure de fer⁸.

L'arsine AsH_3

L'arsenic se rencontre aussi sous forme gazeuse, communément appelé **arsine** (ou trihydrure d'arsenic, AsH_3)⁹, il est particulièrement toxique et mortel à haute concentration. Il se dégage lorsqu'un composé arséniure (calcium, aluminium...) réagit avec l'eau ou la vapeur d'eau, ou lors de la réaction entre un composé arsenical et un acide fort. L'arsine se forme dans des conditions chimiques particulières, action d'un réducteur tel que l'hydrogène naissant en milieu acide ou alcalin, ou réaction d'un arséniure métallique avec l'eau, rencontrées essentiellement en contexte industriel et métallurgique¹⁰. Ces conditions ne sont pas réunies dans un environnement de réserve, où le risque arsine reste théorique.

⁵ O'Day PA, « Chimie et minéralogie de l'arsenic », *Op. Cit.*

⁶ *Ibid.*

⁷ Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds », *Op. Cit.*

⁸ O'Day PA, *Chimie et minéralogie de l'arsenic. Op. Cit.*

⁹ Marie de Beaulieu, *Etude et restauration d'un spécimen naturalisé et d'un squelette de lémurien du Muséum National d'Histoire Naturelle*, mémoire de diplôme de restaurateur du patrimoine, spécialité : sculpture, INP, 2010, p.91

¹⁰ Fiche INRS Santé et sécurité au travail, Fiche Toxicologique n°53, *Trihydrure d'arsenic*

Marie de Beaulieu a formulé l'hypothèse, sans la démontrer, que l'aspiration des spécimens arséniés pourrait favoriser la formation d'arsine. Cette hypothèse s'appuyait sur un exemple emprunté à l'industrie de la microélectronique ; or l'arsine y est utilisée comme gaz de procédé, si bien que sa détection en sortie d'aspirateur y est attendue et ne découle pas de l'aspiration elle-même. À ce jour, aucune donnée ne permet d'affirmer que l'aspiration d'un spécimen traité au savon de Bécœur génère de l'arsine ; la prudence reste néanmoins recommandée.¹¹

Ambivalence de l'arsenic

La toxicité de l'arsenic est connue depuis l'Antiquité (Pline l'Ancien dans son *Histoire Naturelle*), mais son usage est ambivalent, car il est à la fois utilisé comme un poison et comme un remède. Il a largement été utilisé par l'homme dans des domaines aussi variés que l'industrie, agriculture, pharmaceutique, électronique, métallurgie...^{12 13}

Si l'arsenic est si présent dans les collections patrimoniales, c'est parce que l'homme a exploité ses **propriétés esthétiques** dans le domaine de l'art (pigments, colorants) et ses **propriétés toxiques** (pesticides, biocides) dans le traitement des objets sensibles aux attaques parasitaires. L'INRS recense sept principaux composés inorganiques toxiques¹⁴ mais le plus dangereux est le trioxyde d'arsenic (As₂O₃).

B. TOXICITÉ ET RISQUES POUR LA SANTÉ

Toxicité de l'Arsenic

Les composés inorganiques de l'arsenic sont classés comme hautement toxiques en raison de leur caractère cancérigène, ainsi que des risques qu'ils posent pour la reproduction. La toxicité des composés varie en fonction de leur structure chimique et de leurs propriétés physico-chimiques (*Cf tableau toxicologique en annexe*). De cette manière, son ingestion, son inhalation ou le contact direct avec la peau peuvent entraîner des effets graves pour la santé : le risque est surtout une contamination chronique. Les symptômes d'intoxication varient selon le mode et la durée de l'exposition.

Intoxication	Exposition	Symptômes
Aiguë	A court terme, par inhalation ou ingestion d'une seule et grande quantité d'arsenic	Nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, déshydratation, mort dans les cas extrêmes
Chronique	Exposition prolongée à de faibles niveaux d'arsenic	Lésions cutanées, troubles neurologiques, maladies cardiovasculaires, cancers (en particulier du poumon, de la peau et de la vessie), effets sur le système immunitaire

¹¹ Marie de Beaulieu, *Etude et restauration d'un spécimen naturalisé et d'un squelette de lémurien du Muséum National d'Histoire Naturelle*, Op. Cit., p.91 et 92.

¹² Nathalie Molenat et co-auteurs, « L'arsenic, polluant de l'environnement : origines, distribution, biotransformations », Recherche, *L'actualité chimique*, juin 2000, p.13

¹³ Fiche INRS, Fiche Toxicologique n°192, *Arsenic*, 2006, p.2.

¹⁴ *Ibid.* p.2.

Afin d'éviter une intoxication aiguë ou chronique, il est essentiel de se référer aux mesures référentielles de toxicité telles que la DL50, la CL50 et la VLEP.

Intoxication	Aiguë	Chronique
A quoi se référer pour éviter une telle intoxication	La DL50(*) et la CL50, correspondent à la quantité de substance administrée en une seule dose et causant la mort de 50 % des individus exposés. DL50 pour l'Arsenic : entre 1 et 3 mg/kg du poids corporel CL50 pour l'Arsine : 250 mg/m³/10 minutes (*) DL50 : Dose Létale 50% (*) CL50 : Concentration Létale 50% pour les composés gazeux	La VLEP (*) indique la concentration maximale admissible d'une substance dans l'air d'un environnement de travail sur une journée de 8 heures. En France et dans l'Union européenne, la VLEP est de : 0,01 mg/m³ pour l'acide arsénique et ses sels, ainsi que les composés inorganiques de l'arsenic. (*) VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

Il n'existe pas de VLEP pour l'arsenic natif. La valeur de 0,01 mg/m³ (sur 8 heures) concerne l'acide arsénique, ses sels et les composés inorganiques de l'arsenic. Il s'agit d'une VLEP indicative, fixée par l'arrêté du 30 juin 2004, qui constitue un objectif de prévention et non une limite strictement contraignante. En cas de dépassement, l'employeur procède à une évaluation des risques afin de déterminer les mesures de prévention et de protection adaptées.

Exposition des professionnels et du personnel

Le personnel, et notamment les restaurateurs travaillant dans l'environnement des objets comportant de l'arsenic, sont plus exposés à une intoxication chronique par inhalation, la contamination par les mains restant plus faible.

Voies de pénétration de l'arsenic

L'arsenic peut pénétrer dans l'organisme par différentes voies. Ces voies de pénétration varient selon les caractéristiques physiques et chimiques de l'arsenic et de ses composés. Voici un résumé des principales voies d'entrée de l'arsenic dans le corps humain.

Respiratoire	Orale	Cutanée
✓ Les gaz et particules fines peuvent pénétrer facilement dans l'organisme par la respiration. ✓ L'arsine traverse rapidement les membranes cellulaires, étant liposoluble.	✓ L'arsenic pentavalent et trivalent soluble est facilement absorbé par voie digestive, avec une absorption de 75 à 90%.	✓ Le contact cutané ou muqueux avec des dérivés inorganiques trivalents de l'arsenic, très irritants, peut conduire à des brûlures chimiques.

✓ Les particules de 1 à 4 micromètres se logent dans les alvéoles pulmonaires et peuvent pénétrer dans l'organisme. ✓ Les particules de 4 à 10 micromètres atteignent la trachée et les bronches, et sont remontées par l'ascenseur mucociliaire. ✓ Les particules de 10 à 100 micromètres sont filtrées par le nez et la bouche.	✓ L'exposition indirecte via la remontée mucociliaire est possible, surtout si des mains contaminées sont portées à la bouche.	(source : fiche toxicologique de l'INRS). ✓ Toutefois, en cas d'exposition à des composés solubles comme l'acide arsénique, des intoxications aiguës sont possibles. ✓ Le port de gants est recommandé pour limiter l'exposition cutanée.
---	--	---

Comportement de l'organisme en présence d'arsenic

Lors de l'exposition à l'arsenic inorganique, l'organisme suit un processus complexe pour métaboliser et éliminer ce composé toxique.

- **Métabolisation de l'arsenic :**

- ✓ Les composés pentavalents (+5) sont réduits en trivalents (+3).
- ✓ L'arsine (forme gazeuse) traverse les poumons, entre dans la circulation sanguine et se lie à l'hémoglobine, provoquant l'hémolyse (destruction des globules rouges).
- ✓ L'arsine est ensuite oxydée en arsenic trivalent (+3) et pentavalent (+5).

- **Détoxication et excrétion :**

- ✓ Les composés trivalents (+3) subissent une méthylation dans le foie, formant des composés moins toxiques (acide monométhylarsonique et diméthylarsinique).
- ✓ Ces formes sont plus facilement éliminées par les urines.

- **Excrétion dans l'urine :**

- ✓ On y retrouve principalement de l'arsenic inorganique, de l'acide monométhylarsonique et du diméthylarsinique.

- **Absence d'accumulation persistante :**

- ✓ L'arsenic n'est pas stocké dans le corps, bien qu'il puisse être détecté dans les cheveux, ongles ou peau longtemps après l'exposition.

Ce processus montre que l'arsenic est éliminé de manière dynamique et ne s'accumule pas dans les tissus.

La demi-vie de l'arsenic

La demi-vie correspond au temps nécessaire pour que la concentration d'une substance soit réduite de moitié. Pour l'arsenic, la demi-vie varie en fonction du milieu :

- Dans le sang, la demi-vie de l'arsenic est très courte, généralement de 1 à 3 heures.

- Dans les urines, elle est plus longue, se situant entre 2 et 6 jours.

Voies d'élimination de l'arsenic

L'élimination de l'arsenic se fait principalement par les urines, mais d'autres voies d'excrétion existent. Voici les points clés :

- **Voie principale :**
 - ✓ L'urine élimine environ 70% de l'arsenic, ce qui en fait la voie d'excrétion principale.
 - ✓ Le dosage urinaire permet d'évaluer une exposition récente.
- **Autres voies d'élimination :**
 - ✓ Les fèces, la peau, et les phanères (cheveux et ongles) permettent également l'élimination.
 - ✓ L'analyse de ces derniers révèle des expositions anciennes.
- **Temps d'excrétion :**
 - ✓ L'arsenic est principalement excrété dans les 28 heures suivant l'exposition, avec un pic entre 4 et 8 heures.
- **Spéciation de l'arsenic dans les urines :**
 - ✓ Entre 4 et 8 heures, l'arsenic inorganique prédomine.
 - ✓ Après 8 heures, l'arsenic inorganique diminue et les métabolites méthylés, notamment l'acide diméthylarsinique, deviennent majoritaires.
- **Recommandations pour un prélèvement significatif :**
 - ✓ Il est conseillé de recueillir les urines 4 à 8 heures après l'exposition. Cela permet de différencier l'arsenic inorganique de l'arsenic organique par spéciation.

Conduites à tenir en cas d'urgence

Type de contact	Cutané	Projection oculaire	Inhalation	Ingestion
Premiers secours	Retirer les vêtements contaminés et laver la peau abondamment à l'eau (*)	Rincer les yeux en ayant les paupières bien écartées avec de l'eau (*)	Retirer les vêtements contaminés et transférer la victime hors de la zone polluée et commencer une décontamination oculaire et cutanée avec de l'eau en abondance (*) (**)	Rincer la bouche de la victime, ne rien lui faire boire et ne pas tenter en aucun cas de provoquer de vomissements (**)

Qui appeler ?		SAMU 15	
Après	Consulter un médecin en cas d'irritation	Consulter un ophtalmologiste si besoin	Passer une fibroscopie si besoin ; un traitement chélateur peut être administré dans les 10 jours suivants.

(*) Laver avec de l'eau au moins pendant 15 minutes

(**) Si la victime est inconsciente, il faut la mettre en position latérale de sécurité (PLS) et si nécessaire procéder à de manœuvres de réanimation

II/ PRÉSENCE DANS LES COLLECTIONS PATRIMONIALES (Cf *fiche synthétique annexe*)

A. L'ARSENIC COMME TRAITEMENT

Les **collections d'histoire naturelle et naturalia** et les **collections ethnographiques et historiques**¹⁵ sont sujettes à la contamination par l'arsenic ainsi qu'à d'autres polluants (mercure par exemple).

Sur ce type de collection, l'arsenic a été appliqué sous trois formes¹⁶ :

- **Liquide** : les acides arsénieux (qui dérive de l'acide arsénique H_3AsO_4) ou solutions aqueuses appelées « liqueurs » telles que la liqueur de Fowler (arséniate de potassium K_2HAsO_4) ou l'arséniate de sodium (Na_2HAsO_4)
- **Solide** : l'arsenic blanc ou trioxyde d'arsenic utilisé en poudre¹⁷ ou en savon (ex : **savon de Bécoeur** (alun, camphre, arsenic)¹⁸ ou sous forme de sels tels que le sel de Macquer (arséniate de potassium $KAsO_2$), l'arséniate de sodium ($NaAsO_2$), ou arséniate de plomb ($Pb_3(AsO_4)_2$)¹⁹
- **Fumigation** en faisant bouillir dans de l'eau et de l'alcool des poudres d'arsenic²⁰ comme celles précédemment citées

¹⁵ *Arsenic, mercury, and lead : Inorganic pesticide residues in museum collections*, Royal Sask Museum, Canada [en ligne], consulté le 17 novembre 2023, disponible à l'URL suivante : https://saskmuseums.org/wp-content/uploads/2023/02/Handling_Guide_-_Final.pdf

¹⁶ Lisa Goldberg, « a history of pest control measures in the anthropology collections, national museum of natural history, smithsonian institution », *AIC*, Vol. 35, N°1, Article 3, 1996, p. 23 à 43 [en ligne], consulté le 17 novembre 2023, disponible à l'URL suivante : <https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic35-01-003.html>

¹⁷ T Nellie Slocum, *Toxins in the Collection: Museum Awareness and Protection*, Museum Studies Theses. 16, 2018, p.14 [en ligne], consulté le 17 novembre 2023, disponible à l'URL suivante : https://digitalcommons.buffalostate.edu/museumstudies_theses/16

¹⁸ Marie de Beaulieu, Mémoire de fin d'étude, *Etude et restauration d'un spécimen naturalisé et d'un squelette de lémurien du Musée national d'histoire naturelle. Etude et mise en place d'un dispositif de protection contre l'arsenic à l'usage des restaurateurs*, Institut national du patrimoine, 2010

¹⁹ *Opus cit.* p.52

²⁰ Lisa Goldberg, « a history of pest control measures in the anthropology collections, national museum of natural history, smithsonian institution », *Op. Cit.*

Collections d'histoire naturelle, naturalia

Ce type de collection est composée de spécimens biologiques naturalisés (oiseaux, mammifères, reptiles, insectes, squelettes) ou de plantes (herbiers).



Tigre de Tasmanie naturalisé, 56 x 108x27 cm,
Musée du Grand Nancy ©Muséum-Aquarium de
Nancy

Les deux principaux facteurs de contamination :

- le **processus de taxidermie**
- le **traitement pesticide**

Période de présence de l'arsenic dans ces collections :

- la fin du XVIIIème siècle jusque dans les années 1970, voire 1990 en France²¹ et outre Atlantique²².

On trouve l'arsenic principalement sur :

- les **volatils (contaminés à plus de 80%)**^{23 24}
- les mammifères

Les zones où se concentrent les résidus d'arsenic :

- Pour les naturalias, le savon de Bécœur été appliqué **plus intensément dans des zones spécifiques** qui était plus sensibles aux attaques, à savoir les zones grasses (ex : croupion pour les volatils) ou des tissus résiduels (ex : au niveau du crane).
- Pendant le processus de taxidermie, l'arsenic (savon de Bécœur) était appliqué à l'intérieur des spécimens, où il se mêle aux matières grasses. Sous l'effet de la chaleur, ces graisses peuvent toutefois migrer et s'écouler vers l'extérieur (le long des pattes chez les oiseaux, ou le long des coutures), entraînant des résidus d'arsenic en surface. On peut donc rencontrer l'arsenic aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur d'un spécimen.
- Lors des traitements insecticides à l'aide de poudre, l'arsenic était appliqué à **l'extérieur** des spécimens et laisse des résidus de surface.

Collections botaniques

Il était courant du XIXe siècle et début du XXe siècle de traiter les collections d'herbier par fumigation ou saupoudrage d'arsenic avec notamment du **trioxyde d'arsenic ou du sel de**

²¹ Elise Edoumba et al., *Impact des variations climatiques sur l'émission des biocides organiques résiduels dans les collections d'histoire naturelle*, *Techné*, n°38, 2013. p.110

²² James D.Nayson, « Dangerous Collections ! Pesticides on Museum Materials », in *American Association for State and Local History*, Vol 56, No. 3, SUMMER 2001, p.21-25

²³ Amandine Péquignot, « Évaluation de la toxicité des spécimens naturalisés », *La Lettre de l'OCIM* [En ligne], 116 | 2008

²⁴ P. Jane Sirois, « The analysis of museum objects for the presence of arsenic and mercury : Non-destructive analysis and sample analysis », in *Collection forum*, Vol.16, p.65-75, 2001. p. 69

Macquer (arséniate de potassium)²⁵ ²⁶. Dans la pratique française, les professionnels²⁷ ont constaté que les herbiers des collections de sciences naturelles françaises ont été rarement contaminés donc traités à l'arsenic. Il s'avère, par des études anglo-saxonnes, que cette pratique de traitement était surtout réalisée aux Etats-Unis où un mélange d'arsenic et de mercure (solution de Donovan) était appliqué sur les collections botaniques²⁸ et rarement en France. Mais la prudence reste de rigueur sur ce type de collection qui, en France, reste contaminée au mercure ou à d'autres contaminants (oxyde d'éthylène).

Collection ethnographique et objets historiques

Les collections ethnographiques se composent généralement d'objets fabriqués par l'homme à partir de matériaux naturels tels que **le cuir, les poils, les cheveux, la laine, les os, les herbes, l'écorce et les plumes**.

Ces collections ont été largement traitées avec des **poudres** à base d'arsenic et de mercure, avec des **acides/solutions aqueuses** d'arsenic (ex : **liqueur de Fowler**) appliqués directement sur les objets ou par des **fumigations** arsenicales²⁹.

De manière plus globale, une attention particulière doit être portée sur **les peaux, les cuirs, les ivoires, les objets de vannerie et les bois** dans ce type de **collections** car, s'ils n'ont pas été directement traités, ils peuvent être contaminés et donc représenter une **source de danger**³⁰.

B. L'ARSENIC COMME PIGMENT

1) Orpiment et Réalgar

Spécimens de collections

Dans la nature l'orpiment et le réalgar se présentent sous la forme de cristaux. L'orpiment forme des cristaux de couleur jaune citron, jaune d'or « souvent en amas entremêlés, foliacés ou fibreux, ou en rognons à structure rayonnante »³¹. Le réalgar forme des « cristaux prismatiques, parfois centimétriques, striés parallèlement à l'axe d'allongement »³². Les minerais sont des spécimens présents dans les collections minéralogiques, aujourd'hui exposés dans les musées. Au vu de leur toxicité, ils requièrent une attention particulière³³.

²⁵ Amandine Péquignot et al., « L'arsenic dans les collections d'histoire naturelle », in *La lettre de l'OCIM*, vol. 105, (4-10), 2006, p. 5 [en ligne], consulté le 17 novembre 2023, disponible à l'URL suivante : https://www.researchgate.net/publication/352693316_L%27arsenic_dans_les_collections_d%27histoire_naturelle

²⁶ Catharine Hawks, *Historical survey of the sources of contamination of ethnographic materials in museum collections*, in *Collection Forum*, 2001 ; 16 (1-2) : 2-11, p.4

²⁷ Propos recueillis auprès de Sandra Leboucher, conservatrice-restauratrice spécialisée en spécimen naturalisé et auprès de Jacques Cuisin, délégué à la conservation-restauration du Muséum national d'histoire naturelle de Paris

²⁸ Victoria Purewal, *The identification of four persistent and hazardous residues present on historic plant collections housed within the national museum and galleries of Wales*, 2001

²⁹ Lisa Goldberg, « a history of pest control measures in the anthropology collections, national museum of natural history, smithsonian institution », *Op. Cit.*

³⁰ James D. Nayson, « Dangerous Collections ! Pesticides on Museum Materials », *Op. Cit.*

³¹ Yves Gautier, *Orpiment*, définition de l'encyclopédie Universalis [en ligne], consulté le 18 novembre 2023, disponible à l'URL suivante : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/orpiment/>

³² Yves Gautier, *Réalgar*, définition de l'encyclopédie Universalis [en ligne], consulté le 18 novembre 2023, disponible à l'URL suivante : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/realgar/>

³³ <https://www.mnhn.fr/fr/collection-des-mineraux-et-gemmes>

Pigments

L'orpiment (As_2S_3) et le réalgar (As_4S_4) sont utilisés depuis l'Antiquité Égyptienne (1^{ère} dynastie de l'Égypte ancienne soit 31^e siècle avant J.-C.)³⁴ jusqu'au XIX^e siècle pour la confection de pigments colorés jaune (orpiment) et rouge (réalgar). Pline l'Ancien mentionne l'orpiment et le réalgar dans son *Histoire naturelle*. Cennino Cennini dans son *Il libro dell'arte* (chapitre 47) nous donne la recette de fabrication de pigment à base d'orpiment et de réalgar³⁵ tout en avertissant le lecteur de leur toxicité³⁶. En effet, le broyage des pigments et leur utilisation représentaient un risque d'intoxication, ils nécessitaient d'être manipulés avec précaution.³⁷

La couleur du pigment **orpiment** est décrite comme un jaune citron ou canari ou parfois comme un jaune doré avec un bon pouvoir couvrant³⁸.

Le pigment était fabriqué à partir du minerai ou de manière artificielle en fusionnant de l'arsenic et du soufre. Il s'utilisait seul ou en mélange avec d'autres pigments afin d'obtenir différentes couleurs : mélangé à l'indigo par exemple, il permettait d'obtenir un vert, comme le mentionne Cennino Cennini³⁹.

Il a été employé à différentes périodes de notre histoire et dans différentes régions du monde, ainsi sa présence est attestée sur « des sarcophages égyptiens, sur plusieurs manuscrits (cf annexe figure 1) - irlandais anciens, italiens médiévaux et de la Renaissance, anglais, islamiques, persans, byzantins, cisterciens, asiatiques, indiens sur feuilles de papiers - sur des peintures murales et artefacts au Tibet, des décors intérieurs japonais, des gravures sur bois..., des icones »⁴⁰ (cf annexe figure 2)

La couleur du pigment **réalgar** est rouge dite rubis⁴¹. Comme l'orpiment, il a été employé par différentes cultures et à différentes époques, et se rencontre sur des manuscrits, des peintures, des peintures murales (Pompéi), des artefacts égyptiens⁴². Il a notamment été retrouvé sur des œuvres du Tintoret (cf figure 3) et sur des icônes bulgares datant du Moyen-Âge à la Renaissance, des peintures indiennes datant du XVI^e au XVII^e siècle et sur des tableaux datant du XI^e au XIII^e siècle⁴³. Le réalgar est particulièrement sensible à la lumière et se transforme en pararéalgar dont la couleur est jaune et proche de l'orpiment. Le pararéalgar est très présent sur les œuvres et se rencontre « sur divers artefacts, des peintures vénitiennes, des icones grecques du 15^e siècle, des papyrus égyptiens antiques, des stucs du 9^e siècle de Samarra »⁴⁴. Il a souvent été confondu par les artistes avec l'orpiment⁴⁵. Ils pensaient utiliser de l'orpiment alors qu'il s'agissait de pararéalgar.

³⁴ Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds » *Op. Cit.*

³⁵ Cennino Cennini, *Il libro dell'arte, traité des arts*, L'œil d'or, mémoires & miroirsp.68

³⁶ *Ibid.* p.69 et 69.

³⁷ François Perego, *Dictionnaire des matériaux du peintre*, Ed. Belin, 2005, p.520-522 et.624-625

³⁸ Fiche 10700 Orpiment, *King's Yellow PY 39*, Kremer Pigmente GmbH & Co. KG

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds », *Op. Cit.*

⁴¹ Yves Gautier, *Réalgar*, *Op. Cit.*

⁴² Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds », *Op. Cit.*

⁴³ Fiche 10800, *Realgar*, Kremer Pigmente GmbH & Co. KG

⁴⁴ Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds », *Op. Cit.*

⁴⁵ *Ibid.*

D'autres minerais arsenicaux sont attestés dans la composition de pigments comme l'alacranite (As_8S_9 , minéral rouge, rare), la dimorphite (As_4S_3), la duranusite (As_4S). Des échantillons ont été prélevés des peintures du Tintoret⁴⁶, mais leur présence reste rare⁴⁷. D'autres composés arsenicaux furent exploités pour leur couleur : le cobaltite (CoAsS^{48}) pour le bleu, des jaunes à base de plomb, l'arséniate de cuivre (CuHAsO_3) pour le vert...⁴⁹ ce dernier étant le sujet de la partie suivante.

2) Pigments verts arsenicaux

Les pigments verts sont particulièrement instables et complexes à manipuler. Avant la fin du XVIII^e siècle, les artistes souhaitant obtenir cette couleur utilisent des pigments issus des gisements de cuivre comme le verdet ou la malachite.

Vert de Scheele (Hydrogéoarsénite de cuivre)

- **Invention** : en 1775, le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele synthétise un pigment vert qui porte son nom et dont la teinte vert-jaune est obtenue en mélangeant des oxydes de cuivre avec du trioxyde d'arsenic (entre 55 et 70 % selon les recettes)⁵⁰. Il obtient ainsi un précipité d'arsénite de cuivre (Hydrogéoarsénite de cuivre) qui constitue le premier pigment vert arsenical connu : le vert de Scheele, parfois appelé vert suédois.
- **Utilisation** : il est principalement utilisé en peinture entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle, notamment par William Turner, mais son utilisation comme pigment est très peu documentée. Sa production n'atteint jamais les proportions industrielles du vert arsenical qui lui succède et avec lequel il est souvent confondu.

Vert de Schweinfurt (Acéto-arsénite de cuivre)

- **Invention** : pour pallier l'instabilité du vert de Scheele qui noircit facilement, des recherches sont entreprises afin d'obtenir un vert plus satisfaisant et plus vif. Elles aboutissent à la mise au point du vert de Schweinfurt, dont les circonstances de découverte varient selon les versions⁵¹. Entre 1798 et 1812, l'autrichien Ignaz von Mitis aurait eu l'idée d'ajouter de l'acide acétique à la recette de Scheele pour obtenir de l'acéto-arsénite de cuivre. Vers 1814, les Allemands Wilhelm Sattler et Friedrich Russ, à qui l'on attribue parfois la découverte, commencent à produire ce pigment dans leur usine bavaroise de Schweinfurt, ville qui donne son nom à ce vert d'une teinte émeraude.

⁴⁶ Nicholas Eastaugh, Valentine Walsh, *Pigment Compendium, A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*, Edition Routledge, 2013, p.28

⁴⁷ Elisabetta Gliozzo et Lucia Burgio, « Pigments—Arsenic based yellows and reds », Op. Cit.

⁴⁸ *Ibid.*

⁴⁹ Nicholas Eastaugh, Valentine Walsh, *Pigment Compendium, A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*, Op. Cit. p.28

⁵⁰ SHARPLES S.P., "Scheele's Green, Its Composition as Usually Prepared, and Some Experiments upon Arsenite of Copper", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, Vol. 12 (Mai 1876 – Mai 1877), p.12

⁵¹ Elisabeth West Fitzhugh, *Artists' Pigments, A handbook of Their History and Characteristics*, Vol 3, Archetype Publications, Londres, 1997, p.222

- **Production** : en 1822, le secret de la recette est dévoilé, ce qui accélère la diffusion de sa production et de sa commercialisation à l'échelle européenne. L'importation de ce pigment en France se fait notamment à travers une grande usine située à Nancy⁵² - et non à Paris comme son surnom « vert de Paris » le laisserait entendre. De nombreuses appellations commerciales lui sont associées comme « vert émeraude » ou « vert Véronèse ».
- **Utilisation** : la plupart des grands peintres du XIXe siècle en ont fait l'usage du fait de sa grande accessibilité et de son modeste coût. Le vert de Schweinfurt est en effet bien plus répandu dans les collections patrimoniales que le vert de Scheele, il nous préoccupera par conséquent davantage.

Chronologie des verts arsenicaux

- **Lent déclin des pigments toxiques**

Les rapports constitués par les médecins étudiant la toxicité des verts arsenicaux comme Alphonse Chevallier ou Maxime Vernois (cf annexe figure 4) associés à un essor des dénonciations dans la presse conduisent à une méfiance grandissante de la population. Un consensus sur la toxicité du vert de Schweinfurt semble s'établir à partir des années 1860⁵³. La mise au point du vert de Guignet (à base d'oxydes de chrome), breveté en 1859 et adopté comme une alternative au vert arsenical, marque le déclin de ce dernier même s'il est complexe de préciser une date de fin quant à son utilisation en tant que pigment. Les stocks restants sont cependant utilisés jusqu'au début du XXe siècle en tant que rodenticide ou insecticide.

- **Bornes chronologiques à risques**

Les objets potentiellement teintés au vert de Schweinfurt sont produits entre les années 1820 et 1870. Les années 1850 correspondant à l'apogée du vert arsenical, il faut particulièrement redoubler de vigilance quant à cette décennie. Par prudence, nous pouvons étendre ces bornes chronologiques à l'ensemble du XIXe siècle.

3) Collections à risque

La production de masse du vert arsenical au cours du XIXe rend le pigment très peu cher et donc omniprésent dans la vie quotidienne puisque le champ d'application de la couleur verte, qu'elle soit peinte ou teinte, est extrêmement large. Les collections potentiellement à risque sont multiples. Généralement, plus la couleur vert émeraude est intense, plus la quantité d'arsenic qu'elle contient est élevée et donc sa toxicité est importante.

⁵² Amélie Bonney, "Les enquêtes sur les dangers du vert de Schweinfurt et la santé au travail en France (1835-1860)", *Histoire, Médecine et santé*, n°19, [en ligne], Été 2021

⁵³ Alison Matthews David, Ivan Ricordel, Myriam Couturier, "Pigments empoisonnés. Les verts arsenicaux", *La Peaulogie*, 2019, [en ligne], p.62

Textiles



Canapé d'époque Empire, velours de soie, Musée Bossuet – Palais Épiscopal (Meaux) © Laurent Texier
Couronne de gaze avec fruits et fleurs, vers 1850 - Museum of Fine Arts (Boston) © 2015, Museum of Fine Arts, Boston
Robe au vert arsenical, soie, vers 1860-65 - Collection de Glennis Murphy © Arnold Matthews
Chaussures au vert arsenical, vers 1820-1840 - Bata Shoe Museum (Toronto) © Emilia Dallman-Howley
Robe au vert arsenical, soie, vers 1860-65 - Collection Suddon-Cleaver © 2014 Suzanne Petersen

- **Collections de mode** : comme on pouvait le lire dans les magazines satiriques⁵⁴, les dames à la mode portent des « robes à l'arsenic » dont certaines sont conservées dans les collections de costumes anciens (cf annexe figure 5). Les accessoires conservés dans ces institutions ne sont pas épargnés : sacs, chaussures, gants, châles, éventails, bonnets, rubans, ombrelles... représentent autant de variétés d'application du vert arsenical dans le domaine du textile. Les fleurs artificielles qui ornent les coiffes féminines au milieu du XIXe siècle sont particulièrement susceptibles d'être contaminées : on estime qu'une coiffe fleurie peut contenir suffisamment d'arsenic pour tuer une vingtaine de personnes⁵⁵.
- **Demeures historiques et collections d'arts décoratifs** : les intérieurs des demeures historiques décorées au XIXe siècle sont également susceptibles de contenir du vert de Schweinfurt à travers leur ameublement textile : rideaux, tapisseries, fauteuils, canapés, abat-jours, tapis (cf annexe figure 6)...

Livres et arts graphiques

- **Collections d'arts graphiques** : les gravures de mode des années 1850 et les estampes en général sont fortement susceptibles de contenir du vert arsenical. C'est également le cas des papiers peints, particulièrement dangereux en présence de forte humidité puisque la colle risque de réagir avec le pigment ce qui peut libérer de l'arsine pouvant dégager une odeur d'ail. On recommande de ne pas broser les papiers peints car cela pourrait libérer des particules indésirables⁵⁶. L'artiste anglais William Morris utilisait régulièrement des pigments arsenicaux pour produire les motifs de ses papiers peints qu'il estimait sans danger car présents en quantités trop infimes⁵⁷.

⁵⁴ *Punch*, 15 novembre 1862, p.197

⁵⁵ Alison Matthews, "Poisonous Pigments : Arsenical Greens", *Fashion Victims. The Dangers of Dress Past and Present*, Bloomsbury Publishing, Londres, 2015, p.76

⁵⁶ Alphonse Chevallier, *Recherches sur les dangers que présentent le vert de Schweinfurt, le vert arsenical, l'arsénite de cuivre*, J-B Baillière et fils, Paris, 1859, p.35

⁵⁷ Amélie Bonney, "Entre utopie environnementale et environnement industriel insalubre : les papiers peints arsenicaux de William Morris", *Romantisme*, n°189, [en ligne], p.85-95

- **Bibliothèques** : de la même manière que les papiers peints, les livres vert émeraude sont problématiques car particulièrement friables. Le pigment peut être contenu dans la couverture en toile ou dans certains éléments décoratifs de livres reliés dans les années 1850 essentiellement⁵⁸. Toute bibliothèque conservant ce type d'ouvrage possède une certaine dose d'arsenic qui peut être très importante. C'est le cas de la bibliothèque de l'Université de Düsseldorf qui a fait le choix de mettre 15 000 livres verts en quarantaine en attendant leur analyse, la bibliothèque a dû être fermée aux lecteurs durant cette période⁵⁹.



Gravure de mode. *Ackermann's Repository of Arts, Literature, Commerce, Manufacturers, Fashion and Politics*, volume 6 (Juillet 1811). Platt Hall, Gallery of Costume (Manchester)
Journal des dames et des demoiselles, gravure pinceautée, vers 1860, Collection privée © Alison Matthews David
 William Morris, *Daisy*, papier peint, 1864, Los Angeles County Museum of Art © Hopkins Collection
 William Morris, *Trellis*, papier peint, 1864, Victoria & Albert Museum (Londres) © Victoria & Albert Museum, Londres
 Livres dont la toile de reliure est teintée au vert arsenical © Rebecca Hale, National Geographic

Objets du quotidien

« Sans arsenic, il était impossible d'avoir un bon vert »⁵⁷. Cette vision est largement répandue chez les artistes et les industriels durant la majeure partie du XIXe siècle. Ainsi, tous les objets de la vie quotidienne pouvant être colorés (par application de peinture ou par teinture) deviennent suspects.

- **Musées d'ethnographie locale** : les verts arsenicaux sont notamment attestés dans la fabrication de bougies, de boîtes à chaussures, de cages à oiseaux, de jouets pour enfants notamment les poupées, les ballons, les instruments de musique... Les petites flûtes pour enfants (mirlitons) très en vogue dans les fêtes de campagne sont par exemple très souvent recouvertes de papier vert arsenical⁶⁰. Les collections d'art et traditions populaires ou les musées municipaux et régionaux par exemple sont donc également concernés par la problématique des pigments toxiques. Elles sont cependant peu étudiées sous cet angle, il faut donc particulièrement redoubler de vigilance.

⁵⁸ Pour un catalogage plus précis, consulter la base de données du Poison Book Project sur : <https://sites.udel.edu/poisonbookproject/arsenical-books-database/>

⁵⁹ Camille Moreau, "Des livres potentiellement empoisonnés à l'arsenic retirés des bibliothèques allemandes", *GEO*, 18/03/2024

⁶⁰ CHEVALLIER Alphonse, *Recherches sur les dangers que présentent le vert de Schweinfurt, le vert arsenical, l'arsénite de cuivre*, J-B Baillière et fils, Paris, 1859, p.58-59

III/ RECONNAITRE, AGIR ET PRÉVENIR : QUELLES MÉTHODOLOGIES DE DIAGNOSTIC ET DE TRAITEMENT ? (Cf *fiche synthétique annexe*)

Avant toute entreprise de méthodologie de protocoles de diagnostic, il convient de rappeler que les tests de reconnaissance présentés ci-dessous permettent de catégoriser la présence d'arsenic et leur concentration, sans pouvoir quantifier la toxicité puisqu'aucune échelle existe. De même que la « désarsénisation » est possible, bien que très coûteuse, la plupart du temps la connaissance, la prudence, le bon sens et les bons comportements suffisent à prévenir le risque lié aux collections arséniées.

A. DIAGNOSTIC DES TYPOLOGIES – INSPECTION VISUELLE

Diagnostiquer un potentiel de toxicité, cela passe surtout par du bon sens et une bonne observation avant l'aide d'outils. L'arsenic peut être reconnu sous plusieurs formes :

- **Cristaux** : sur les spécimens naturalisés, des dépôts poudreux ou des cristaux blancs se forment à la surface, aux zones de coutures notamment (yeux, becs/bouches, pattes).
- **Odeur** : d'ail en réserves (naturalia, minéraux), pas systématique.
- **Couleur** : sur les spécimens naturalisés les plumes/poils peuvent se décolorer, dans les teintures textiles et dans les arts graphiques le vert de Paris devient de plus en plus saturé, vif et jaunit un peu. Enfin, dans les peintures ou objets peints (Égypte antique notamment) contenant des pigments à base de réalgar, le rouge/ jaune vif s'éclaircit (orpiment) et devient gris et terne (pararéalgars).
- **Aspect de surface** : peaux naturalisées, couvertures de livres, papiers peints et vêtements au Vert de Paris devenant cassants, secs pouvant se fissurer, s'écailler. Pour les peintures avec un pigment arsénié, la couleur a un effet miroir prononcé.



Spécimen dont la peau est tannée à l'arsenic, cristaux, hangar de taxidermie, MNHN. ©MNHN.



Éventuelle présence d'arsenic sur un spécimen, zoothèque MNHN. ©MNHN.

Des recherches dans les archives de la collection peuvent également apporter des indices quant aux méthodologies utilisées dans la naturalisation des animaux suspectés d'être contaminés. Enfin, nous savons que l'arsenic a été utilisé entre le XVIIIème et XXème, ayant été interdit en 1960 mais utilisé jusqu'en 1990 et le vert de Paris a lui été utilisé au XIXème siècle. De même, nous sommes susceptibles de trouver des pigments arséniés dans les œuvres réalisées par Le Tintoret ou Rembrandt. Ces indications permettent de définir une tranche restreinte.

La présence d'infestations n'exclue pas une contamination à l'arsenic. Au contraire, l'expérience a montré que les insectes ont développé une résistance aux pesticides via des mutations. Ces

derniers préférant les spécimens plus anciens en raison d'une plus grande présence d'éléments organiques résiduels⁶¹.

B. MÉTHODES D'EXAMENS

1) Spécimens naturalisés et grande échelle

La présence d'arsenic dans les collections se situe en majeure partie dans les collections naturalisées, en partie dû au processus de taxidermie et notamment du savon arsenical (1743). Cependant, l'arsenic remonte en surface et provoque une accumulation surfacique sur les spécimens (biocides résiduels⁶²), les particules se dispersant dans l'air et sur le mobilier de la réserve. Sans compter que des dépôts ont été induits pas des traitements biocides préventifs réalisés sur les locaux des réserves mêmes. Il s'agit d'identifier ces polluants - un état des lieux de la toxicité des surfaces et de l'air - et le degré de contamination pour identifier le risque présenté par l'exposition pour le personnel et le public.

- **La Fluorescence X (XRF)** (peut être couplée à l'infrarouge à transformée de Fourier) : permet de détecter les produits inorganiques de type métaux lourds. L'analyse est rapide (résultats en 1 minute), non destructive, non invasive, elle permet une analyse en profondeur et est facile à mettre en place puisque l'appareil est portable.
 - Appareil à disposition : l'analyseur Artax-800 Bruker (INP) et l'analyseur Niton Xlt 700 (CRCC)
 - Protocole : l'échantillonnage doit être le plus hétérogène possible (taille, date, auteur) et permet une détection en profondeur. Les mesures s'effectuent sur des points clés (tête, dos, poitrail : zones d'incisions et d'échanges avec le milieu extérieur), à raison de 10 à 20 prélèvements. Le même protocole peut être effectué sur le mobilier des réserves et les sols, puisque 90 % du mobilier peut être contaminé⁶³. Une variante consiste à effectuer des prélèvements à l'aide de coton-badigeons humidifiés à l'eau déminéralisée (placés dans des glissières type MiniGrip) puis analysés par XRF.
 - Notes : l'arsenic est aussi présent dans les espaces de stockage (mobilier, air), occupés ou non, par dépôts (compactus = appels d'air), les sols étant moins contaminés (lavés)⁶⁴.
 - **Recommandations : son utilisation est intéressante dans le cadre de grandes collections, de châteaux-musées empoussiérés, permettant un travail rapide à grande échelle et une détection de plusieurs polluants. Elle peut déterminer les zones potentiellement toxiques, à surveiller régulièrement par la suite avec des spots tests.**

⁶¹ Marion Dangeon, « Contamination des collections naturalisées traitées aux biocides et mesures de conservation préventive », *CeROArt*, [en ligne], n° 5, 2016, mis en ligne le 25/02/2016, <https://journals.openedition.org/ceroart/4845>, consulté le 19/10/2024.

⁶² *Ibid.*

⁶³ Marion Dangeon, *Conservation des collections naturalisées traitées aux biocides : étude de la collection Mammifères et Oiseaux du Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel*, [mémoire de fin d'étude sous la direction de Tobias Schenkel], Ecole de Neuchâtel, Suisse, 2014, p.10.

⁶⁴ *Ibid.*, p.45.

- *Spots tests* :
 - Principe : des bandelettes colorimétriques (tests de Weber-Gutzeit, Macherey-Nagel ou Merckoquant) sont conçues et commercialisées pour doser l'arsenic soluble dans l'eau (potable, de source, minérale). Leur emploi sur de l'arsenic solide, tel qu'on le rencontre dans les collections, constitue un détournement du protocole du fabricant : rien ne garantit une mise en solution complète de l'arsenic, et donc la fiabilité du résultat. De plus, ces tests sont sensibles à de nombreuses substances interférentes (une trentaine, dont le cuivre, les sulfates, le fer...), fréquemment présentes dans les collections, qui génèrent des faux positifs comme des faux négatifs.
 - Recommandation : pour ces raisons, les spot-tests ne peuvent être considérés comme une méthode fiable de détection de l'arsenic dans les collections. Ils peuvent tout au plus fournir une indication de première approche, à confirmer impérativement par une méthode instrumentale (XRF notamment).
- *Détecteur de gaz toxiques* :
 - Appareil : Toxic Gas Detector TLD1 équipé d'une Chemcassette type « hydruure » et d'une clé « arsine 50ppb », à utiliser dans les 6 mois et à conserver au frais à l'abri de l'air et de la lumière.
 - Fonctionnement : elle détecte l'arsine et une alarme retentit si la VME est atteinte.
 - **Recommandations : appareil plutôt pour la surveillance car elle ne détecte pas les petites quantités.**
- *Prélèvement d'air sur filtre des particules de gaz* : détection approfondie mais coûteuse.
 - Appareil : voir la fiche MétroPol, n°023. Comporte un filtre imprégné de carbonate de sodium/ glycérol (détecte trioxyde d'arsenic) ou imprégné de nitrate d'argent (arsine).
 - Fonctionnement : nécessite une pompe à débit régulé, l'air passant dans une cassette contenant les filtres.
 - **Recommandation : convient pour surveillance ponctuelle.**
- *Prélèvements lingettes* : analysées en laboratoire par ICP optique
 - **Recommandation : convient pour les surfaces de réserve.**



1. Prélèvements à l'aide de l'outil de détection XFR, sur un spécimen naturalisé. ©HE-Arc CR, M. Dangeon, 2014.
2. Bandelettes pour spots-tests – Test de Merckoquant. ©Humeau.
3. Détecteur de gaz toxique MDA Scientific TLD1. ©AnalyticalWarehouse
4. Prélèvements par lingette sur le socle d'un spécimen naturalisé. ©Marion de Beaulieu

2) Peinture, textiles, papiers peints, livres... l'arsenic comme pigment

Les pigments peuvent être analysés via la méthode XRF, mais d'autres outils permettent une quantification précise et une vue microscopique de la forme pigmentaire arsénée en présence.

- *Diffraction des rayons X* : technique principale d'identification, incontestable. Détermine également quantitativement le pigment, l'analyse étant rapide et non destructive.
- *SEM-EDX et LIBS* : ils fournissent des informations qualitatives et semi-quantitatives, permettant de définir si le pigment arséné en présence est un composant majeur ou mineur.
- *Spectrométrie de fluorescence X* : révèle les éléments en présence et la quantité (TRXF)
- *Spectrophotomètre Raman* : indique la disposition de l'élément dans une molécule, détermine le pigment. C'est une caractérisation efficace du pigment (vert de paris, smalt, réalgar).
- *Test de Marsh-Berzélius*⁶⁵ : invasif et long, nécessite un prélèvement de textile/papier contenant le pigment.

C. PROTOCOLE D'INTERVENTION ET DE TRAITEMENT DES COLLECTIONS CONTAMINÉES : AGIR ET PRÉVENIR

La présence d'arsenic dans les collections n'est pas une fin en soi. Identifier les risques et s'en prévenir suffisent généralement à éliminer toute contamination via des mesures de protection et des protocoles de prévention et de traitements encadrés. Les cas les plus extrêmes nécessitent une décontamination qui peut s'effectuer par des équipes professionnelles dédiées, entraînant une fermeture des espaces toxiques, isolés. Le risque n'est pas tant une contamination directe, via les mains par exemple, que chronique. Se protéger de manière permanente est donc une nécessité.

1) Informé et prévenir des risques

- **La validation de l'équipement et du protocole** : il est nécessaire de prendre contact avec la médecine du travail (service de prévention et de santé au travail), le CSE de l'établissement d'accueil ou l'INRS pour la documentation, qui peuvent fournir des équipements et effectuer des analyses d'air/poussière.

Cas du travailleur indépendant. Par principe, les dispositions du Code du travail en matière de santé et sécurité ne s'appliquent pas aux travailleurs indépendants. Plusieurs exceptions les rendent toutefois applicables, notamment l'exposition aux substances et mélanges dangereux (art. L. 4411-1) et l'intervention en tant qu'entreprise extérieure, soumise à un plan de prévention établi avec l'établissement d'accueil (art. R. 4511-1 et suivants). Les composés de l'arsenic étant classés cancérogènes, et le conservateur-restaurateur indépendant intervenant le plus souvent chez ses clients, dont les musées, il faut considérer que ces règles s'appliquent. Le donneur d'ordre (le musée) et le professionnel partagent alors la responsabilité.

- **Les EPI** : des moyens faciles à mettre en œuvre, peu coûteux mais efficaces = ALARA !
 - ✓ Port de gants en nitrile (aux normes de perméation) + technique de dépôt



⁶⁵ Jean-François Persoz, *Traité théorique et pratique de l'impression des tissus*, t. 3, 1846, V. Mason, Paris, p. 152-154 et 537.



- ✓ **Protection respiratoire** : le choix de l'appareil ne se limite pas au seul type de filtre. Il faut distinguer le filtre (FFP3 pour les aérosols et particules) et l'appareil de protection respiratoire lui-même, caractérisé par son facteur de protection assigné (FPA). On retient un appareil dont le FPA est supérieur au facteur de protection minimal (concentration du polluant dans l'air / VLEP). Une fois ce modèle d'appareil retenu, il faut sélectionner le filtre selon la substance ciblée. Un filtre à particules de type FFP3 est adapté contre les particules arséniées. En revanche, en présence **d'arsine** (gaz), une protection anti-gaz de **type B** (gaz et vapeurs inorganiques) est nécessaire. Rasage recommandé pour garantir l'étanchéité au visage.



Blouse Tyvek® jetable.

- **Informé - fiches techniques :**

- ✓ **Manipulation** : caisses de transport pour éviter la perte ; sur des supports rigides couverts de polyester (Melinex®) pour les peaux ; manipulation sous aspiration est recommandée afin de limiter au maximum les déplacements de poussière toxiques dans l'air ; gestes non brusques et réfléchis (prendre par la base pour immobiliser les objets devenus cassants, ne pas plier, étirer les peaux). Lavage des mains au savon après retrait des protections en fin de manipulation
- ✓ **Nettoyage de son poste de travail** : avec un aspirateur à filtre HEPA + filtre à charbon actif (medic air filter), puis dernier passage avec une lingette humide.
- ✓ **Signalétique** : à l'entrée des réserves avec pictogrammes de sécurité et recommandations (ne pas manger, boire, ne pas porter au visage des objets contaminés tels que les gants).
- ✓ **Formation** de tout le personnel sur les risques, moyens de se protéger : pédagogie !



- **Mesures additionnelles :**

- ✓ Prévoir une boîte pour chaque membre du personnel pour qu'il y range ses affaires.
- ✓ Tapis auto-collant pour éviter de déposer des poussières arséniées sous les semelles
- ✓ Gestion des déchets : équipements jetables souillés à déposer dans des poubelles spécifiques dédiées, à mettre en relation avec des entreprises dédiées à ces déchets.

2) Entourer et encadrer la CR

- **Isolation temporaire** : il faut isoler les collections contaminées dans un stockage confiné en attendant de pouvoir les traiter. La contamination la plus fréquente étant par contact et par inhalation, il s'agit de limiter ces risques d'intoxication par une isolation complète des éléments contaminés, en les éloignant au maximum du personnel et du public. Le confinement peut aussi permettre de caractériser le potentiel émissif d'un spécimen ou d'une collection : une mise en anoxie de trois semaines laisse les polluants se concentrer dans l'air du milieu confiné, ce qui permet d'analyser les particules dégagées et de déterminer si l'objet constitue une source de pollution pour son environnement.

Toutefois, cette mesure renseigne sur ce que l'objet émet, et non sur l'exposition réelle d'une personne en activité. Un protocole en milieu confiné, sur une durée sans rapport avec une situation de travail, n'est pas représentatif de cette exposition et n'est donc pas recevable comme évaluation du risque au titre de la santé et de la sécurité au travail. L'évaluation de l'exposition humaine relève d'autres approches : mesures en situation réelle de travail,

approche statistique bayésienne (à partir de la base de données d'expositions de l'INRS) ou approche mécanistique par modélisation mathématique.

- **Intervention de conservation-restauration :**

1. Mettre en place un protocole permettant un travail sécurisé (surveillance médicale du conservateur restaurateur par des analyses biologique d'urine ou de cheveu et un suivi annuel des expositions à l'arsenic devant respecter la VLEP)⁶⁶

Une activité exposant à des substances dangereuses doit être accompagnée d'un préventeur des risques, soit interne (assistant et conseiller en prévention pour le secteur public ou le référent santé sécurité pour le secteur privé), soit en externe par les médecines du travail (SPSTI) ou les IPRP enregistrés à l'inspection du travail. L'activité de prévention des risques est obligatoire et réglementée par le code du travail.

2. Tester la présence d'arsenic ou non
3. Conditionnement provisoire : avec pictogrammes, permettant le transport et mesures
4. Nettoyage du plan de travail + gestion des déchets
5. Déplacement de l'œuvre et stockage provisoire avec pictogrammes/ étiquettes, tout en permettant les mesures (buses)
6. Transfert du conditionnement provisoire en zone de confinement pour la restauration
7. Travail de conservation-restauration en zone de confinement : zone hermétique adaptée aux dimensions, permettant les mesures, une aspiration avec filtre (sous hôte, avec des contrôles en point fixes de l'air ambiant parallèlement à la surveillance de rejets de polluants), un nettoyage régulier des parois intérieures, étiquette de prévention, fiche de poste, EPI et gestion des déchets
8. Déplacement de l'œuvre dans un conditionnement provisoire (même étapes qu'aller)
9. Retour dans son lieu de conservation d'origine.



1. Chambre de confinement sous anoxie avec zones de prélèvement. 2. Caisse de transport adaptée. 3. Spécimen contaminé sous protection collective + fiche de poste pour un travail sécurisé. ©Marion de Beaulieu.

- **Décontamination :** elle peut être de type mécanique, thermique ou chimique. Coûteuse et compliquée à mettre en œuvre, elle s'effectue par des entreprises dédiées non adaptées aux musées. Il n'y a pas de méthode véritablement adéquate, le sujet étant encore à l'état de recherche et les propositions ne sont pas applicables aux objets patrimoniaux. Parmi les propositions : le CO₂ supercritique, les chélateurs (acide lipoïque), le laser et bactéries, la balance entre avantages et inconvénients étant difficile. La seule méthode efficace serait de

⁶⁶ Pierre Gamin, *Procédure d'intégration d'un objet contaminé à l'arsenic*, INP, Paris, 2019, p.4 à 6. Voir le travail de Marion de Beaulieu dans son mémoire, elle y développe une chambre de confinement (protection collective) dédié à la CR, p.136 à 155.

faire ressortir la substance à la surface des spécimens pour pouvoir le traiter, par un courant d'air chaud à 60°C à 50% d'HR dans une enceinte fermée pendant plusieurs semaines⁶⁷.

3) Conditionnement, stockage et mise en réserve

L'enjeu des collections contaminées étant avant tout de permettre une accessibilité au public, l'étude, la conservation-restauration et la mise en réserve de ces objets sans qu'ils représentent un danger à court et long termes, ce qui nécessite de connaître et mesurer les risques en présence. La réserve doit être saine pour y entreposer des spécimens non contaminés.

- **Mise en réserve** : réfléchi afin de répondre aux besoins des spécimens à risques :
 - ✓ Entreposage dans des armoires de rangement et boîtes fermées, couvrir de draps en coton à tissage serré ou housses de Tyvek® (textiles, mobilier), de feuille de polyéthylène, pour éviter les dépôts et de dépoussiérer les objets.
 - ✓ La conservation des *naturalias* par spécimens empêche un rangement par risques.
 1. Conditionnement individuel : l'objet est mis entre deux plaques de plexiglas et placé dans un sac de polyéthylène scellé permettant lisibilité et étanchéité.
 2. Collectif (temporaires car risque de micro-climats) : tiroirs hermétiques dans des compactus.
 - ✓ Fiches techniques à l'entrée de la réserve, signalétique sur les conditionnements et dans l'inventaire.
- **Conditions de conservation** :
 - ✓ Exposition possible : la Galerie de l'Évolution présente 95% de ses spécimens contaminés à l'arsenic⁶⁸, une mise à distance suffit puisque les dépôts surfaciques sont lourds, ils ne sont pas volatils. L'exposition de peinture est possible si le film n'est pas dégradé, les quantités étant infimes (max 9µm)⁶⁹, sinon la prudence est requise. Les livres, objets et textiles peuvent être mis sous vitrine et manipuler à l'aide de gants et masques.
 - ✓ Idéal : 18-20°C, HR 50% (en cas d'élévation, la libération d'arsine est faible mais cumulative). Le froid est préférable car la chaleur favorise la transformation par dégazement.
 - ✓ Minéraux/pigments à base de réalgar/orpiment : à l'abri de la lumière (réaction photochimique + pdc pulvérulents), peuvent être exposés avec une lumière sans UV à système d'extinction alternatif.
- **Procédures de traitement passif** :
 - ✓ Filtration de l'air : la circulation d'air évite les moisissures et réduit les quantités de particules polluantes. Possibilité de mettre des filtres HEPA à charbon actif (médicament air) pour purifier l'air de la réserve.



Conditionnement en sachet avec plaques de plexiglas. ©Odegaard.

⁶⁷ Marion Dangeon, *Conservation des collections naturalisées traitées aux biocides : étude de la collection Mammifères et Oiseaux du Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel*, op.cit., p.54.

⁶⁸ Loren Souchard, Julie Tyrlik, *Le traitement à l'arsenic des spécimens naturalisés : problèmes de conservation et de manipulation*, INP, Paris, 2013, p.14

⁶⁹ Günter Grundmann, Mark Richter, « Currents Research on Artificial Arsenic Sulphide Pigments in Artworks : A short review », dans *Conservation of Cultural Heritage*, vol 62, n°11, 2008, p.903.

- ✓ Décontamination passive : à l'aide d'un tissu de charbon actif absorbant les polluants, le Permashob®. Peut être placé sur les surfaces contaminées ou en rideau (compactus), accroché par des bandes Velcro.

- **Outils de surveillance :**

- ✓ Veille visuelle régulière (1 fois/mois) : inspecter spécimens / objets (couleur, odeur, aspect...)
- ✓ Mesures sur les spécimens, l'environnement et le mobilier des réserves afin d'éviter de contaminer des collections saines, l'arsenic étant présent en diverses formes libérant l'élément toxique différemment
- ✓ Suivi régulier des collections + analyses tous les 2 ou 3 ans : XRF et/ou spots tests + lingettes humides
- ✓ Marque pages du Poison Book Project : aux couleurs des couvertures en vert de Paris pour la reconnaissance + précautions de manipulation et de sécurité.



Marque page Poison Book Project, à côté d'un livre teinté au vert émeraude à l'arsenic. ©Evan Krape, Université Delaware.

Conclusion

Aussi beau que dangereux, l'arsenic reste un polluant toxique pour l'homme qui est certes omniprésent dans le monde muséal, mais dont la nocivité peut être réduite par les mesures adaptées. La connaissance des dangers pour la santé, la reconnaissance des typologies susceptibles d'être contaminées sont les premiers pas vers la protection. Si l'œil humain est un diagnostic préalable à tout examen, les outils sont tout autant indispensables à l'identification et à la mesure de l'élément polluant. Agir commence par identifier et quantifier pour pouvoir s'en prévenir via différentes stratégies. Les EPI sont en ce sens le premier des réflexes à avoir, auxquels s'ajoutent des protocoles de manipulation et de conditionnement, ainsi que les signalétiques et les pictogrammes de sécurité à l'entrée des réserves et sur les conditionnements au sein de la réserve. Consulter, étudier, conserver, restaurer et exposer des spécimens ou objets contaminés à l'arsenic repose avant tout et surtout sur du bon sens et un respect des règles de sécurité simples et peu contraignantes pour sa santé personnelle et celle des autres. Penser à sa santé, c'est penser à celle de ses collègues, mais aussi à celle des professionnels qui suivront, également en charge de veiller à la conservation et à la pérennité de ces collections. Mettre en place une formation généralisée de tout le personnel devrait être un impératif à la possession de ces collections puisque dans ce contexte particulier, il s'agit de penser global et non particulier, grande échelle, collectif et non individuel.

Dans un milieu muséal où les polluants sont souvent peu considérés - comme l'arsenic - l'union des professionnels fait la force, là où souvent les institutions muséales et les professionnels indépendants sont démunis et condamnés à se débrouiller par eux-mêmes. La présence d'arsenic n'est pas une fin en soit, savoir qu'elle existe, la reconnaître et comprendre quelles méthodes ou quels protocoles permettent de s'en prémunir est nécessaire pour continuer à conserver ces collections souvent mal gérées, lacunes d'informations auxquelles ce dossier a tenté de remédier et de donner sens.

Bibliographie

Ressources générales sur l'arsenic et ses formes chimiques

- CENNINO, Cennini, *Il libro dell'arte*, L'œil d'or, Paris, 2009.
- EASTAUGH, Nicholas et WALSH, Valentine, *Pigment Compendium : A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*, Edition Routledge, Londres, 2013.
- Fiche "Arsenic", INERIS, [en ligne], mis en ligne le 05/02/2024, <https://substances.ineris.fr/substance/7440-38-2>, consulté le 17/11/2024.
- Fiche 10700 "Orpiment, King's Yellow PY 39", Kremer Pigmente GmbH & Co. KG [en ligne], <https://www.kremer-pigmente.com/fr/shop/pigments/10700-orpiment-authentique.html>, consulté le 17/11/2024.
- Fiche 10800 "Realgar", Kremer Pigmente GmbH & Co. KG [en ligne], <https://www.kremer-pigmente.com/fr/shop/pigments/10800-ralgar-authentique.html>, consulté le 17/11/2024.
- GAUTIER, Yves, "Orpiment", Universalis, [en ligne], <https://www.universalis.fr/encyclopedie/orpiment/>, consulté le 18/11/2024.
- GAUTIER, Yves, "Réalgar", Universalis, [en ligne], <https://www.universalis.fr/encyclopedie/realgar/>, consulté le 18/11/2024.
- MOLENAT, Nathalie, HOLEMAN, Michel, PINEL, Raoul, « L'arsenic polluant de l'environnement : origines, distribution, biotransformations », *L'actualité chimique*, n°232, 2000.
- O'DAY, Peggy, « Chimie et minéralogie de l'arsenic », *Éléments* 2, n°2, 2006.
- PEREGO, François, *Dictionnaire des matériaux du peintre*, Ed. Belin, Canada, 2005.
- PERROTEY, Jean, "Arsenic", dans Universalis, [en ligne], <https://www.universalis.fr/encyclopedie/arsenic/>, consulté le 17/11/2024.
- PROUST, Nicole, GUERY, Josiane, PICOT, André « Toxicologie de l'arsenic et de ses composés : importance de la spéciation », *L'actualité chimique*, n°232, juin 2000.
- WEST FITZHUGH, Elisabeth, *Artists' Pigments : A handbook of Their History and Characteristics*, vol 3, Archetype Publications, Londres, 1997, p.286.

Ressources sur la toxicologie de l'arsenic, santé et sécurité

- Fiche "Arsenic", CNESST, [en ligne], mis en ligne en 2024, https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=4226, consulté le 15/10/2024.
- Fiche "Arsenic et composés minéraux", INRS, [en ligne], mis en ligne le 10/2023, <https://substances.ineris.fr/substance/7440-38-2>, consulté le 10/10/2024.
- LEVALLOIS, Patrick, (dir.), "Arsenic", *Centre de Lutte contre le cancer Leon Berard* [en ligne], mis en ligne le 16/08/2022, <https://www.cancerenvironnement.fr/fiches/expositions/environnementales/arsenic/#:~:text=par%20des%20industries.,Toxicit%C3%A9%20et%20effet%20canc%C3%A9rog%C3%A8ne,accumuler%20dans%20les%20tissus%20humains>, consulté le 17/11/2024.

Ressources sur les collections contaminées à l'arsenic

1. Arsenic comme traitement insecticide dans les collections de Naturalia

- DE BEAULIEU, Marion, *Etude et restauration d'un spécimen naturalisé et d'un squelette de lémuriens du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN). Etude et mise en place d'un dispositif de protection contre l'arsenic à l'usage des restaurateurs*, [mémoire de fin d'étude sous la direction d'Elisabeth Moggetti], INP, Paris, 2010.
- EDOUMBA, Elise, *et al.*, « Impact des variations climatiques sur l'émission des biocides organiques résiduels dans les collections d'histoire naturelle », *Technè*, n°38, 2013.
- GRAHAM, Fiona, "Caring for natural history collections", *ICC*, [en ligne], mis en ligne 15/07/2020, <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/natural-history.html>, consulté le 21/11/2024.
- MARCOTTE, Stéphane, ESTEL, Lionel, LÉBOUCHER, Sandra, MINCHIN Sébastien, "Evaluer la pollution de l'air au muséum d'histoire naturelle de Rouen", *La Lettre de l'OCIM*, n°145, janvier-février 2013.
- MARCOTTE, Stéphane, *et al.*, "Monitoring of lead, arsenic and mercury in the indoor air and settled dust in the Natural History Museum of Rouen (France)", *Atmospheric Pollution Research*, 2016.
- MARTE, Fernand, PEQUIGNOT, Amandine, VON ENDT, David, « Arsenic in taxidermy collections : history, detection and management », *Collection Forum*, vol.21, 2006.
- NASON, James, "Dangerous Collections! Pesticides on Museum Materials", *History News*, vol.56, n°3, 2001.
- PEQUIGNOT, Amandine, « Évaluation de la toxicité des spécimens naturalisés », *La Lettre de l'OCIM*, [en ligne], n° 116, 2008, mis en ligne le 01/01/2011, <https://journals.openedition.org/ocim/367>, consulté le 19 octobre 2024.

- PEQUIGNOT, Amandine, "L'arsenic dans les collections d'Histoire naturelle", *La lettre de l'OCIM*, 2006.

2. Arsenic comme pigment dans les collections de livres, textiles, arts graphiques, papiers peints et peintures...

- AMUSIDORA, « L'histoire macabre de la couleur verte », *Amusidora*, [en ligne], mis en ligne le 21/04/2020, <https://www.amusidora.fr/histoire-couleur-verte-et-arsenic/>, consulté le 19 octobre 2024.
- ANONYME, "Dangers in the manufacture of Paris Green and Scheele's Green", *Monthly Review of the U.S. Bureau of Labor Statistics*, vol. 5, n°2, aout 1917.
- BERTOMEU SANCHEZ, José Ramón, "Arsenic in France. The Cultures of Poison During the First Half of the Nineteenth Century", *Compound Histories : Materials, Governance and Production 1760- 1840*, Brill, 2018.
- BONNEY, Amélie, "Entre utopie environnementale et environnement industriel insalubre: les papiers peints arsenicaux de William Morris", *Romantisme*, n°189.
- BONNEY, Amélie, "Les enquêtes sur les dangers du vert de Schweinfurt et la santé au travail en France (1835-1860)", *Histoire, Médecine et santé*, n°19, [en ligne], mis en ligne en 2021, <https://journals.openedition.org/hms/4370?lang=es>, consulté le 02/11/2024.
- BROWER, Justin, Ces livres verts sont toxiques, et plus répandus que vous ne le croyez, *National Geographic*, [en ligne], mis en ligne le 30/04/2022, <https://www.national-geographic.fr/sciences/ces-livres-verts-sont-toxiques-et-plus-repandus-que-vous-ne-le-croyez>, consulté le 10 octobre 2024.
- CHEVALLIER, Alphonse, *Recherches sur les dangers que présentent le vert de Schweinfurt, le vert arsenical, l'arsénite de cuivre*, J-B Baillière et fils, Paris, 1859.
- COUTURIER, Myriam, MATTHEWS, Alison, RICORDEL, Ivan, "Pigments empoisonnés. Les verts arsenicaux", *La Peaulogie*, 2019, [en ligne], <https://shs.hal.science/halshs-02457120v1/document>, consulté le 20/10/2024.
- GIL, Pilar, HENDERSON, Elizabeth, BURDGE, Jessica, KOTZE, Erica, McCARTHY, William, "Detecting Emerald Green in 19thC book bindings using vis-NIR spectroscopy", *Analytical Methods*, 2023.
- HALE, George, "Arsenical Poisoning from Domestic Fabrics", *Science, American Association for the Advancement of Science*, vol. 19, n°472, 19 février 1892.
- HAWKSLEY, Lucinda, *Bitten by Witch Fever : Wallpaper & Arsenic in the Victorian Home*, Thames & Hudson, Londres, 2016.
- HERM, Christoph, "Emerald Green versus Scheele's Green: Evidence and Occurrence", au sein de *7th Interdisciplinary ALMA conference "The Colour Theme"*, Bratislava, 2021.

- HILLS, Edgar, “Schweinfurt Green: Some Experiments on the Action of Arsenic Trioxide on Copper Acetate, with the View of Investigating the Composition of the above Compound”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 12, Mai 1876 – Mai 1877.
- MATTHEWS, Alison, “Poisonous Pigments: Arsenical Greens”, *Fashion Victims. The Dangers of Dress Past and Present*, Bloomsbury Publishing, Londres, 2015.
- MOREAU, Camille, “Des livres potentiellement empoisonnés à l'arsenic retirés des bibliothèques allemandes”, *GEO*, [en ligne], mis en ligne le 18/03/2024, <https://www.geo.fr/histoire/allemande- livres-potentiellement-empoisonnes-a-l-arsenic-retrires-des-bibliotheques-vert-paris-schweinfurt-mort-rat-219320>, consulté le 02/11/2024.
- SHARPLES, Simon, “Scheele's Green, Its Composition as Usually Prepared, and Some Experiments upon Arsenite of Copper”, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 12, Mai 1876- Mai 1877.
- WEST FITZHUGH, Elisabeth, *Artists' Pigments, A handbook of Their History and Characteristics*, vol 3, Archetype Publications, Londres, 1997.
- WHORTON, James, *The Arsenic Century : How Victorian Britain was Poisoned at Home, Work and Play*, OUP Oxford, 2010.

3. Notes sur les pigments à base d'orpiment/ réalgar (peinture)

- BURGIO, Lucia, GLIOZZO, Elisabeth, « Pigments—Arsenic-based yellows and reds », dans *Archaeol Anthropol Sciences*, vol 14, n°4, 2022.
- BROERS, Frédérique, DE KEYSER, Nouchka, DE MEYER, Steven, *et al.*, « Discovery of pararealgar and semi-amorphous pararealgar in Rembrandt's *The Night Watch*: analytical study and historical contextualization », *Heritage Science*, vol 12, n° 237, 2024.
- CORBEIL, Marie-Claude, HELWIG, Kate, « An occurrence of pararealgar as an original or altered artists' pigment », *Studies in Conservation*, vol 40, n°2, 1995.
- GAUTIER, Yves, « Arsenic », dans *Universalis*, [en ligne], <https://www.universalis.fr/encyclopedia/realgar/>, consulté le 19/10/2024.
- GRUNDMANN, Günter, RICHTER, Mark, « Currents Research on Artificial Arsenic Sulphide Pigments in Artworks : A short review », dans *Conservation of Cultural Heritage*, vol 62, n°11, 2008.
- NOBLE, Petria, JANSSENS, Koen, *et al.* « Rembrandt and/or Studio, Saul and David, c.1655 : visualising the curtain using cross-section analyses and X-ray fluorescence imaging », *Technè*, n°35, 2012, 2012.
- VAN LOON, Annelies, NOBLE, Petria, *et al.* « Artificial orpiment, a new pigment in Rembrandt's palette », *Heritage Science*, vol 5, n°26, 2017.

4. Traitement de conservation restauration, diagnostic et protocole

- CHAVANNE, Isabelle, ZECCHI, Marie, *Rapport d'étude et de traitement, L'auteur arrivé de Jean- François Bory*, [dossier sous la direction de Nadège Dauag et Emmanuelle Hincelin], INP, Paris, 2016.
- DANGEON, Marion, *Conservation des collections naturalisées traitées aux biocides : étude de la collection Mammifères et Oiseaux du Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel*, [mémoire de fin d'étude sous la direction de Tobias Schenkel], Ecole de Neuchâtel, Suisse, 2014.
- DANGEON, Marion, « Contamination des collections naturalisées traitées aux biocides et mesures de conservation préventive », *CeROArt*, [en ligne], n° 5, 2016, mis en ligne le 25 février 2016, <https://journals.openedition.org/ceroart/4845>, consulté le 19/10/2024.
- EDOUMBA, Elise, *et al.*, « Impact des variations climatiques sur l'émission des biocides organiques résiduels dans les collections d'histoire naturelle », *Technè*, n°38, 2013.
- GAMIN Pierre, *Procédure d'intégration d'un objet contaminé à l'arsenic*, INP, Paris, 2019.
- SIROIS, Jane, « The analysis of museum objects for hazardous presence of arsenic and mercury : non destructive analysis and sample analysis », *Collection Forum*, vol 16, n°1, 2001.
- SOUCHARD, Loren, TYRLIK, Julie, *Le traitement à l'arsenic des spécimens naturalisés : problèmes de conservation et de manipulation*, INP, Paris, 2013.

33

As
Arsenic
74.922

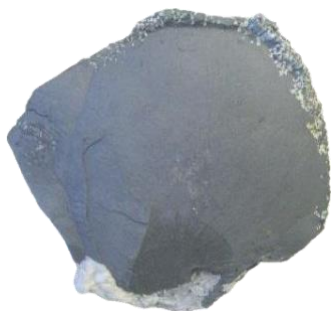
Identification

Depuis l'antiquité, l'usage de l'Arsenic est ambivalent : **POISON** et **REMÈDE**

La présence de l'arsenic dans les collections patrimoniales est dû à son utilisation pour :

- Ses **PROPRIÉTÉS ESTHÉTIQUES** dans le domaine de l'art (pigments, colorants)
- Ses **PROPRIÉTÉS TOXIQUES** (pesticides, biocides)

ARSENIC (rare)



Arsenic natif de Ste. Marie-aux-mines, France. Natural History Museum, London. ©Aram Dulyan

Symbole : **AS**
Numéro atomique : **33**
Métalloïde

ORGANIQUE : lié au Carbone (C) ou à l'Hydrogène (H)

INORGANIQUE : forme pure ou lié à un autre élément/espèce : **Soufre (S)**, **Oxygène (O)**, Cuivre (Cu), Cobalt (Co), Fer (Fe)...

MINÉRAIS

ARSENIC + SOUFRE (courant)

ORPIMENT (As_2S_3) et RÉALGAR (As_2S_2)



Orpiment de Racha, Géorgie du Nord
Wikipédia © domaine public.



Réalgar de Baia Sprie, Roumanie. Wikipédia © domaine public.

ARSENIC + SOUFRE + AUTRE COMPOSE (couramment Co, Ni, Cu)

MISPICKEL (FeAsS), COBALTITE (CoAsS), Gersdorffite (NiAsS), Enargite (Cu_3AsS_4), Proustite (Ag_3AsS_3)



Mispickel de mine de Trepça, Kosovo Wikipédia © Didier Descouens.



Cobaltite de Riddarhyttan, Suède
Wikipédia © Tor Svensson

33

As

Arsenic

74.922

Identification**OXYDES et ARSÉNIATES**Trioxydes d'arsenic (As_2O_3) et pentaoxydes d'arsenic (As_2O_5)

ARSENIC + OXYDE (courant)	ARSENIC + OXYDE + AUTRE COMPOSE
Arsénolite, Claudétite (As_2O_3)  Arsénolite de mine White Caps, U.S.A Wikipédia © RobLavinsky	Arséniate de cuivre (CuHAsO_3), Arséniate de plomb ($\text{As}_2\text{O}_4\text{Pb}_3$), Arséniate de calcium ($\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$)

ARSENIURES MÉTALLIQUES (rares)

ARSENIC + ELEMENT METALLIQUE (couramment Fe, Co, Ni, Cu)

Domeykite (Cu_3As), Löllingite (FeAs_2), Nickeline (NiAs) Nickelskutterudite ($(\text{Ni},\text{Co})\text{As}_{2-3}$), Rammelsbergite (NiAs_2), Safflorite (CoAs_2)



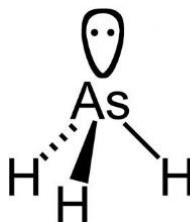
Löllingite et quartz - Mine Gabe
Gottes, France
Wikipédia © Didier Descouens



Nickeline - Mine de
Keeley-Frontier, Canada
Wikipédia © Didier Descouens

ARSINE (gaz) AsH_3

Se dégage lorsque qu'un composé arséniaire réagit avec l'eau ou la vapeur



Formule chimique de
l'Arsine ©2024 OEHHA

33

As
Arsenic
74.922

Toxicologie et santé

Les composés inorganiques de l'arsenic sont extrêmement dangereux, avec des propriétés hautement **toxiques**, **cancérogènes** et **reprotoxiques**. Leur toxicité varie selon leurs caractéristiques physico-chimiques (valence, solubilité, volatilité, etc.), influençant leur impact sur la santé.

Nature	Classe	Nom du composé et formule chimique	DL50 / CL50
Inorganique Gaz	Arsine (-3)	Trihydrure d'arsenic AsH_3	250 $\text{mg/m}^3/10 \text{ min}$
Inorganique	Arsénite (+3)	Arsénite de sodium AsNaO_2	4,5 mg/kg
	Arséniate (+5)	Arséniate de sodium AsNa_3O_4	14-18 mg/kg
	Arsénite (+3)	Trioxyde d'arsenic As_2O_3	34,5 mg/kg
	Arséniate (+5)	Arséniate de plomb AsO_4PbH	100 - 825 mg/Kg
Organique	(+5)	Acide diméthylarsinique CH_3AsOOH	1 200 mg/kg
	(+5)	Acide monométhylarsonique $\text{CH}_3\text{AsO}(\text{OH})_2$	1 800 mg/kg
	(-3)	Triméthylarsine $((\text{CH}_3)_3\text{As})$	8 000 mg/kg
	(+5)	Arsénobétaïne $((\text{CH}_3)_3\text{AsCH}_2\text{COO})$	10 000 mg/kg

Voies de pénétration de l'arsenic : L'arsenic peut pénétrer dans l'organisme par différentes voies.

Respiratoire	Orale	Cutanée
Inhalation de gaz et de particules fines, l'arsine étant liposoluble, peut atteindre les alvéoles pulmonaires.	Absorption digestive élevée (75-90%) pour les formes solubles.	Absorption faible mais possible intoxication aiguë avec l'acide arsénique.

Effets sur la santé : L'intoxication varie selon la quantité et la durée d'exposition

Intoxication Aigüe	Intoxication Chronique
→ Exposition courte, inhalation ou ingestion d'une grande dose. → Nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, déshydratation, risque de mort dans les cas extrêmes.	→ Exposition prolongée à faibles doses → Lésions cutanées, troubles neurologiques, maladies cardiovasculaires, cancers (poumon, peau, vessie), effets sur le système immunitaire.

33
As
Arsenic
74.922

Toxicologie et santé

Recommandations en cas d'urgence

Contact cutané  → Retirer les vêtements contaminés et laver la peau avec abondamment d'eau pendant minimum 15 minutes. (*)	Projection oculaire  → Rincer les yeux en ayant les paupières bien écartées avec de l'eau pendant minimum 15 minutes
Inhalation (**)  → Appeler immédiatement le SAMU et transporter la victime à l'hôpital. → Retirer les vêtements contaminés et → transférer la victime hors de la zone polluée → commencer une décontamination oculaire et cutanée avec abondamment de l'eau pendant 15 minutes minimum.	Ingestion (**)  → Rincer la bouche, transporter rapidement la victime à l'hôpital pour un traitement adapté. → Ne pas tenter en aucun cas de provoquer de vomissements

(*) Pour toute manipulation de vêtements ou objets pollués, porter toujours de gants et de masque.

(**) Si la victime est inconsciente il faut la mettre en position latérale de sécurité (PLS) et si nécessaire procéder à des manœuvres de réanimation.

Mesures de prévention pour l'intoxication à l'Arsenic

Afin d'éviter une intoxication aiguë ou chronique, il est essentiel de se référer aux mesures référentielles de toxicité telles que : la DL50, la CL50 et la VLEP.

DL50 → Dose létale pour 50% des individus → 1-3 mg/kg poids corporel 	CL50 → Concentration létale pour 50% des individus → 250 mg/m ³ /10 minutes 	VLEP → Valeur limite d'exposition professionnelle → 0,01 mg/m ³ 
--	--	--

Un suivi médical doit être mené, encadré par le médecin du travail, avec des analyses biologiques (urines, cheveux).

33
As
Arsenic
74.922

Identifications des collections à risques

L'arsenic a été exploité sous diverses formes aussi bien pour ses propriétés toxiques que pour ses propriétés esthétiques.

Comme traitement pesticide

L'arsenic est utilisé comme traitement insecticide et pesticide sous forme liquide (acides ou liqueurs), solide (poudres, savon de Bécoeur ou sels) ou gazeuse (par fumigation de poudre d'arsenic en solution aqueuse). Il est utilisé en taxidermie comme en contexte muséal dans :

- Les collections d'Histoire naturelle : spécimens naturalisés (oiseaux, mammifères...)
- Les collections ethnographiques constituées de matière animale (cuirs, peaux, os, laine, plumes...)



MNHM ©J-C Domenech

Comme pigment

Orpiment (arsenic jaune)



Orpiment de Racha, Géorgie du Nord
Wikipédia ©Domaine public

Réalgar (arsenic rouge)



Réalgar de Baia Sprie, Roumanie
Wikipédia | Domaine public

L'orpiment et le réalgar se présentent sous forme de cristaux à l'état naturel. Ils sont connus et utilisés depuis l'Antiquité dans :

- Les collections de minéralogie
- Les collections de peintures, manuscrits, objets d'art polychromé, décors... issus de différentes cultures et époques.



Firdawsî, *Folio Shahnameh*, 1560.
Iran (Shiraz) ©Smithsonian
Institution, Washington D.C.



Le Tintoret, *Portrait de Vincenzo Morosini*, v. 1580
©National Gallery, Londres

33

As
Arsenic
74.922

Identifications des collections à risques

Comme pigment et teinture

Le vert de Scheele, découvert en 1775
(Hydrogéoarsénite de Cuivre)

Le vert de Schweinfurt ou « vert de Paris »,
découvert en 1812 - 1814 (acéto-arsénite de
cuivre)

Le vert de Schweinfurt, produit en masse,
est particulièrement populaire dans les années
1850.

Les verts arsenicaux sont exploités tout au
long du XIXème siècle et sont présents dans :

► Les collections Textiles (mode, accessoires,
arts décoratifs)

► Les Livres et Arts Graphiques

(estampes, papiers peints...)

► Collections d'ethnographie locale

(jouets, objets de la vie quotidienne..)



*Robe pour enfant, v.
1838-43 ©Museum of
London*



*Reliure de livre
©Poison Book
Project*

33

As
Arsenic
74.922

Identifier, diagnostiquer et prévenir

Identifier, diagnostiquer et prévenir

DÉTECTER

- *Cristaux/poudres* (naturalias)
- *Odeur* : d'ail (signe non systématique)
- *Couleur* : vert saturé ou jaune/rouge décoloré et terne
- *Aspect de surface* : aspect cassant (naturalias/ textiles et arts graphiques), miroir (peinture)

DIAGNOSTIC - PIGMENTS

- XRF => le plus pertinent
- Diffraction des rayons X
- SEM-EDX et LIBS
- Spectrométrie de fluorescence X (TXRF)
- Spectrophotomètre Rahman
- Test de Marsh-Berzélius

Outils/méthodes et recommandations

Fluorescence X (XRF)	À grande échelle : château musées (poussières) et chantier des collections. Travail rapide et détecte plusieurs polluants.
Spots tests	Petites échelles car peu fiable et peu rapide. Peu coûteuse, recommandée pour des vérifications mensuelles/annuelles.
Détecteur de gaz toxiques Toxic gas detector TLD1	Petite échelle, plutôt pour la surveillance car détecte que les petites quantités.
Prélèvement d'air sur filtre des particules de gaz	Petite échelle, plutôt pour la surveillance ponctuelle car détection approfondie mais très coûteuse.
Prélèvements lingettes	Petite échelle : convient pour les surfaces de réserve car détecte de petites quantités.

Informier et prévenir

- ✓ EPI : gants nitrile, masque FFP3, blouse tyvek, lunettes
- ✓ Fiches techniques : lavage des mains, règles de manipulation et de transport, nettoyage poste de travail, signalétique, formations du personnel
- ✓ Mesures additionnelles : boîte de rangement, gestion des déchets et tapis autocollant

Intervention de CR

- Isolation temporaire : 3 semaines sous anoxie pour analyser les particules dégagées et déterminer le risque d'exposition
- Intervention de CR : protocole sécurisé en zone de confinement permettant les mesures d'arsine, nettoyage du plan de travail et EPI.
- Décontamination : très coûteuse et effectuée par des entreprises dédiées, encore à l'étude...

- Mise en réserve : entreposage dans des armoires de rangement fermées, avec des draps en coton/housses de Tyvek ou des feuilles de polyéthylènes. Conditionnement individuel ou collectif dans les compactus. Fiches techniques !
- Conditions de conservation : exposition possible (quantités infimes et non volatiles), idéal : 18-22°, 50HR%
- Procédures de traitement passif : filtration de l'air (filtre HEPA) et décontamination passive (Permashob).
- Outils de surveillance : veille visuelle (1f/m), mesures des collections/ réserves + analyses tout les 2/3 ans, suivi.

Démarches : contacts et ressources

Organismes à contacter :

- Le service de santé et de sécurité de la ville (ÉPI)
- La Suva (ÉPI)
- Le CHSCT (ÉPI et gestion des déchets)
- Triades (gestion des déchets)
- Ecoclik/ Clikeco/Ssuez/ Veolia (filiales de gestions des déchets)

Professionnels à contacter :

→ Préventeur des risques professionnels de l'institution ou rattaché à l'institution :

Il est apte à organiser les mesures de protections et leurs suivis. Cette fonction est réglementée par le code du travail en termes de compétence, formation, expérience.

Un conservateur-restaurateur n'a ni la possibilité légale, ni les compétences scientifiques et techniques pour gérer les expositions du personnel.

→ Conservateurs-restaurateurs du patrimoine spécialisés en contamination aux métaux lourds :

- Marie de Beaulieu
- Sandra Leboucher
- Pierre Gamin

→ Exemples d'institutions muséales ayant rencontré des cas de contamination à l'arsenic :

- Muséum nationale d'histoire naturelle de Paris
- Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel, 2014
- Muséum d'Histoire Naturelle du Musée de la Chaux de Fond, 2008

Ressources et bibliographie sur l'identification, la détection et le traitement des collections contaminées :

- PFISTER, Aude-Laurence, *L'influence des biocides sur la conservation des « naturalia »*, [mémoire de fin d'études], La Chaux de Fonds, Haute Ecole d'arts appliqués Arc, 2008.
- DANGEON, Marion, *Conservation des collections naturalisées traitées aux biocides : étude de la collection Mammifères et Oiseaux du Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel*, [mémoire de fin d'étude sous la direction de Tobias Schenkel], Ecole de Neuchâtel, Suisse, 2014.
- DE BEAULIEU, Marion, *Etude et restauration d'un spécimen naturalisé et d'un squelette de lémurien du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN). Etude et mise en place d'un dispositif de protection contre l'arsenic à l'usage des restaurateurs*, [mémoire de fin d'étude sous la direction d'Elisabeth Moggetti], INP, Paris, 2010.

Fiche synthétique type concernant l'arsenic

ARSENIC



Type d'objets

Minéraux arséniés, spécimens naturalisés, herbiers, livres (couverture au vert de paris), textiles et objets (teintés aux pigments verts de paris, vert de schweinfurt et vert de scheele), peinture (pigment à base d'orpiment et de réalgar).

Apparence

Aspect de surface cassant, écaillés, pulvérulents sur les spécimens naturalisés, livres, textiles et objets teintés. Présence de cristaux et de poudre aux joints et coutures des naturalias. Aspect "miroir" de la couleur pour les pigments arséniés utilisés dans les peintures à l'huile. Couleur rouge à jaune (natif) à jaune/gris terne (altérée) pour les pigments en peinture et les minéraux ; couleur verte/ bleu vive à jaune (pigment de teinture) pour les textiles, livres et objets.

L'arsenic est aussi présent sous forme de particules volatiles, dispersées dans l'air et sur les espaces de réserves, une odeur d'ail pouvant être ressentie à la décomposition d'arsine.

Forme toxique

Les particules de décomposition de l'arsine sont dangereuses par inhalation, ingestion mais aussi par contamination via la transpiration.

Protection personnelle

Pour le déplacement/ conditionnement : gants en nitrile, lunettes, blouse en Tyvek, masques.

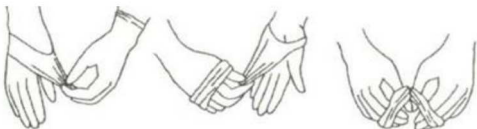
Pour la restauration ou le chantier des collections : gants en nitrile, lunettes, blouse en Tyvek, masques, caisses de transport + mélinex, et chambre de confinement sous sorbonne.

Appareil à disposition : aspirateur à filtre Hépa + médic air filtrer, lingettes Permashob.

Fiche technique informative type – entrée des réserves/ formation du personnel

Règles de manipulation :

- **EPI** : lunettes, gants en nitrile, masque FFP3 (facteur de protection FPA de l'appareil de protection adapté à la concentration), blouse en Tyvek jetable
- **Gestes et protocoles** :
 - Ne **JAMAIS** fumer, boire, manger dans l'espace de réserve et de travail. Évitez dans la mesure du possible de toucher vos lunettes, cheveux, clavier d'ordinateur, nez ou bouche avec vos gants et évitez de mettre votre stylo à la bouche.
 - Éviter de porter bijoux, montre, badge qui peuvent rayer et altérer les œuvres/objets.
 - **Lavage des mains** à l'eau savonneuse froide puis chaude à l'entrée et à la sortie
 - Pas de gestes brusques et rapides, observer l'objet avant de le manipuler (surface fragile, altérations, quel est l'espace où je vais le poser, quels sont les obstacles ?)
 - Prendre les objets de manière sécuritaire à deux mains (par les parties solides, le socle, etc...).
 - Respecter les pictogrammes et protocoles indiqués sur le mobilier ou les fiches de postes.
- **Déplacements** : dans des caisses de transports appropriées ou sur des supports rigides avec une feuille de polyester.
- **Travail terminé** :
 - Nettoyer son poste de travail avec l'aspirateur
 - Jeter les déchets contaminés dans les poubelles dédiées
 - Ranger ses affaires dans la boîte à son nom.



©Odegaa

©Dupont de Nemours



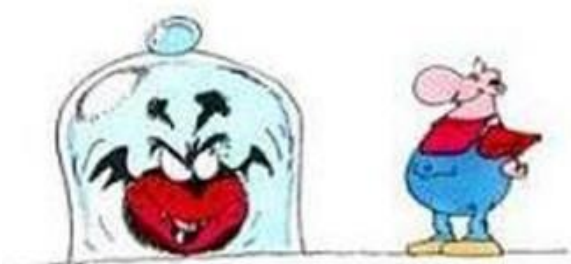
Surveillance et observation :

- Toute présence de **cristaux** suspects (coutures et jointures des spécimens naturalisés), une **décoloration** des plumes/poils ou des éléments teintés à base d'arsenic (vert de paris, réalgar, orpiment) se ternissant ou changeant de couleurs, un aspect de surface de plus en plus **cassant/ pulvérulent** doit être **signalé**. Informez votre responsable qui mettra en œuvre les mesures nécessaires à la détection de l'arsenic et à son traitement de CR.
- Si vous cassez ou constatez un objet cassé, **signalez-le** au conservateur !

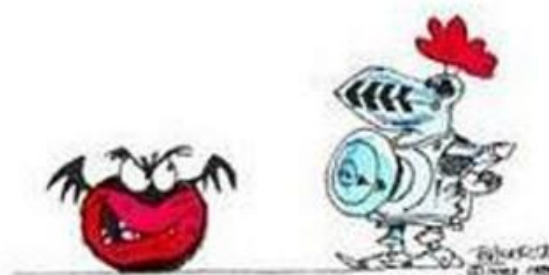
Conduite à tenir en cas d'urgence :

- Si vous ou un de vos collègues se sentent mal où sont confrontés à un danger vital, prévenez immédiatement le **15**, le **18** ou le **112** et prévenez vos supérieurs.

Votre vigilance et votre respect des consignes peuvent sauver votre vie et celle de vos collègues, faites attention !



Protection collective



Protection individuelle

Fiches signalétiques types – à composer et à placer sur les conditionnements à risques

Exemples d'étiquettes à code couleurs signalant les altérations potentiellement dangereuses



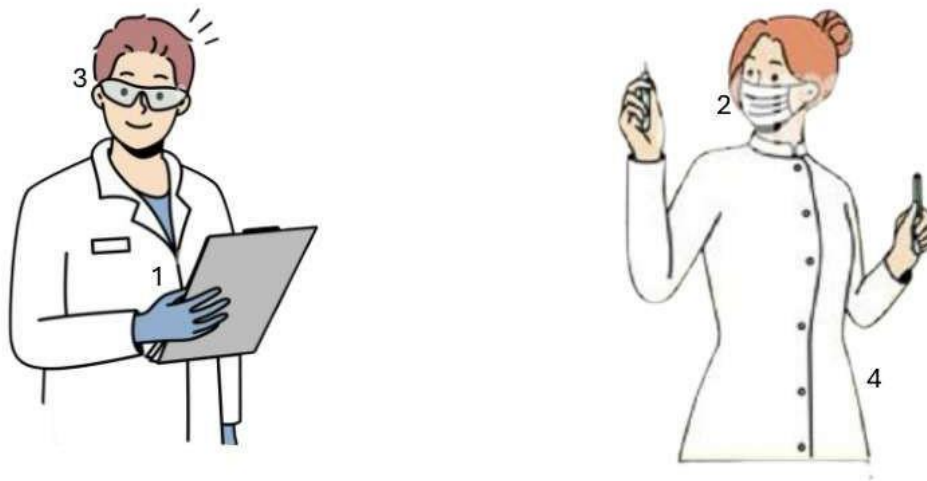
Pictogrammes de danger



Mesures de précaution et de manipulation à suivre



Règles d'entrée en réserves et de manipulation des collections



1. Port des gants : en nitrile, aux normes de perméation

2. Port du masque : FFP3, voir masque à gaz. Il est recommandé de se raser la barbe pour les hommes.

3. Port de lunettes : recommandées lors de contamination active (poussières), sans lentilles.

4. Port de la blouse : en Tyveck, évite le dépôt de particules contaminés sur ses vêtements. A jeter après chaque utilisation.



EPI à ranger après chaque utilisation dans sa boîte nominative et déchets contaminés à jeter !



Illustrations



Figure 1

Firdawsi, Folio *Shahnama* (Book of Kings) (d.1020) ; recto : texte ; verso : *The envoys of Salm and Tur before Faridun*, 1560, Iran (Shiraz). H. x l : 40.2 x 33.3 cm. Aquarelle opaque, encre et or sur papier. Arthur M.Sackler, Smithsonian Institution.

© Arthur M.Sackler, Smithsonian Institution

Illustrations



Figure 2

Anonyme français XVIIIème, *Portrait de Marie-Rose Madey, épouse de Jean-Baptiste Pellet de Lautrec* - Portrait présumé de Madame Mac Day de Givry, (Bx E 1331) – 66x55 cm, Pastel marouflé sur carton, musée des Beaux-Arts de Bordeaux.

Illustrations



Figure 3

Jacopo Tintoretto, Le Tintoret, *Portrait de Vincenzo Morosini*, (NG4004), entre 1575 et 1580, H. x l. : 85.3 × 52.2 cm. Huile sur toile. The National Gallery.

©The National Gallery

Illustrations



Figure 4

Chromolithographie montrant les effets de l'arsenic sur les mains des ouvriers travaillant dans les usines de fleurs artificielles. Maxime Vernois, 1859.

© Wellcome Library, Londres

Illustrations



Figure 5

Robe pour enfant au vert arsenical, vers 1838-1843. Détail du décor brodé.

© Museum of London.

Illustrations

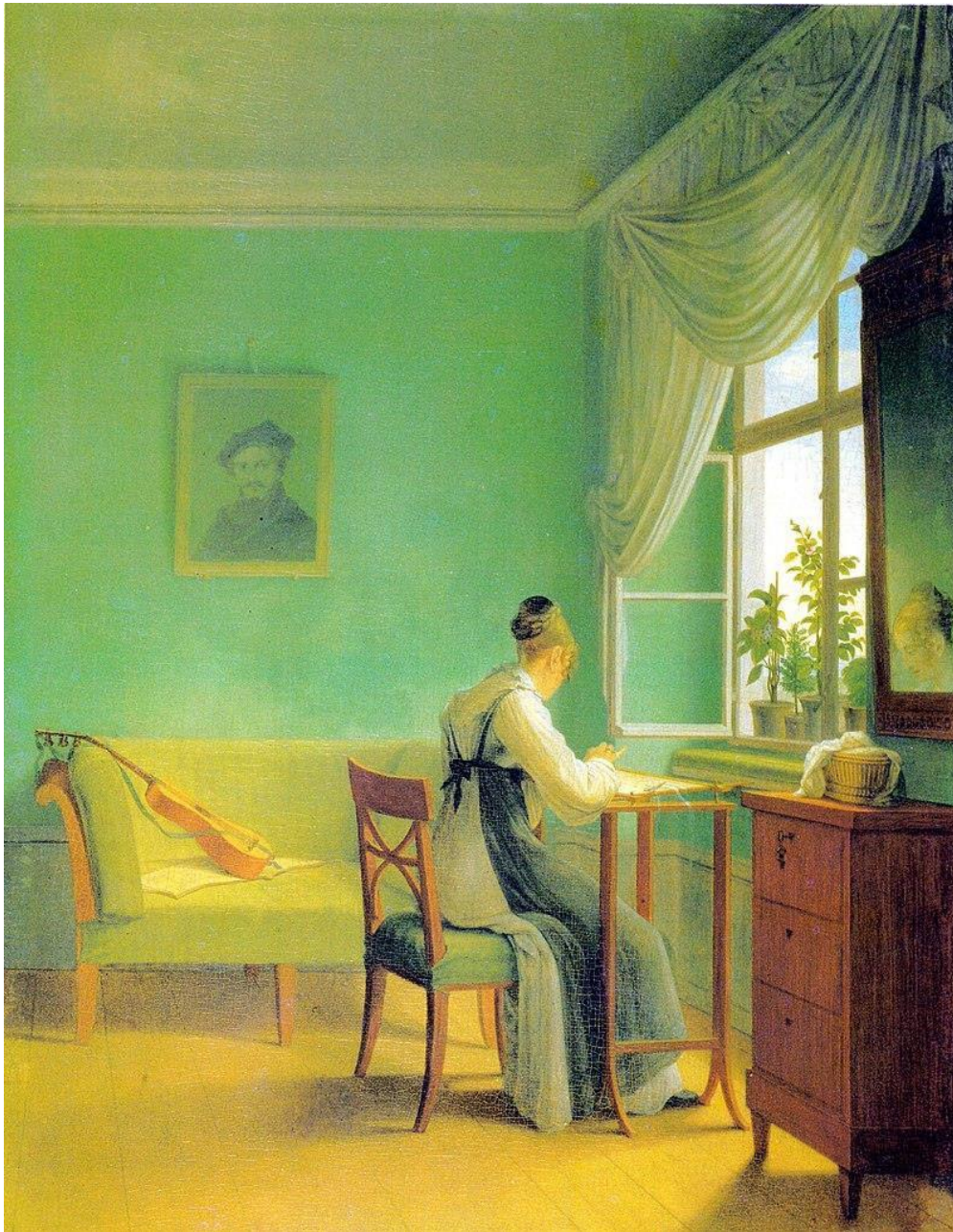


Figure 6

Georg Friedrich Kersting, *Femme à sa broderie*, 1827, huile sur toile, Kunsthalle Kiel.

© Hannelore Gärtner