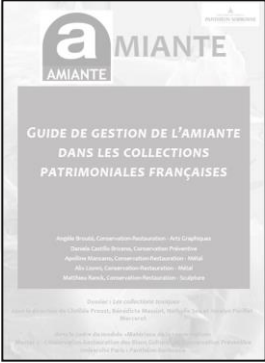


Dossier universitaire

« 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



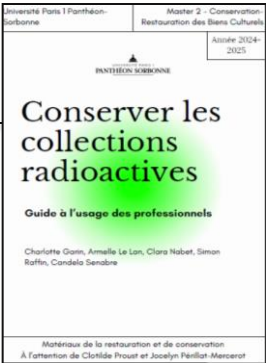
BATISTA Manon, BONNEMASOU-CARRÈRE Claire, DELAHAYE Cassandra, PITTION Julie, REINE Aude, « Les collections de Formaldéhyde - Étude du formaldéhyde dans les collections », *Dossier universitaire Chaîne de conditionnement de collections toxiques*, dir. Clotilde Proust, dir. Jocelyn Périllat-Mercerot, Université 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, Lise BRET, Anne CHAILLOU, Émilie CHECHROUN, Françoise COLLANGES, Jacques CUISIN, El-Bachir DIANE, Jane ECHINARD, Vincent GUERRE, Benoît JENN, Adrien KLAPISZ, Sandra LÉBOUCHER, 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.

Université Paris 1 Panthéon-
Sorbonne

Master 2 – Conservation-
Restauration des Biens Culturels

Année 2024-
2025



Conserver les collections radioactives

Guide à l'usage des professionnels

Charlotte Garin, Armelle Le Lan, Clara Nabet, Simon
Raffin, Candela Senabre

Matériaux de la restauration et de conservation
À l'attention de Clotilde Proust et Jocelyn Périllat-Mercerot

Sommaire

Dossier

Introduction	1
01 Qu'est-ce que la radioactivité?	2
02 Identifier les collections radioactives	4
03 Plan d'action général	6
04 Réglementation	10
05 Mesure de la radioactivité : unités et instruments	13
06 Radioprotection : bonnes pratiques et équipements	14
07 Décontamination et traitement	20
08 Organismes compétents	21
Conclusion	23
Remerciements	24

Annexes

Bibliographie	i
Index des illustrations	vi
Fiche 1 : Les 10 mots de la radioactivité	vii
Fiche 2 : Cahier des charges indicatif	viii
Fiche 3 : Protocole indicatif d'exposition	ix
Fiche 4 : Protocole indicatif de prise de vue	xi
Fiche 5 : Musées ayant des collections radioactives	xii
Fiche 6 : Protocole en cas de contamination	xiii

Introduction

La radioactivité, phénomène naturel ou artificiel, se manifeste par l'émission spontanée d'énergie sous forme de **rayonnements** par certains éléments. Elle peut se retrouver, parfois de manière inattendue, dans des **collections muséales** : objets fabriqués à partir de matériaux naturellement radioactifs, anciens instruments scientifiques, équipements médicaux, peintures luminescentes ou artefacts archéologiques. La gestion de ces objets impose une attention particulière pour garantir à la fois leur **conservation** et la **sécurité** des personnes.

La prise en charge des collections intégrant des objets radioactifs peut faire peur et soulève des enjeux complexes, situés à la jonction de **plusieurs disciplines** : la conservation du patrimoine, la sécurité des personnes et le respect des réglementations en matière de radioprotection.

Ce travail a pour vocation de proposer une série **d'outils pratiques**, de fiches ainsi que des pistes bibliographiques pour **accompagner les professionnels** confrontés à la gestion de collections radioactives. Nous souhaitons toutefois souligner que nous ne sommes pas des experts en radioprotection ni en gestion de substances dangereuses. Ce dossier ne prétend pas fournir une méthodologie exhaustive ou définitive, mais se veut un point de départ vers une réflexion plus globalisante, permettant aux professionnels du patrimoine d'aborder ces questions avec les **bons outils et interlocuteurs**. En élaborant ce dossier, nous espérons également **ouvrir le débat** sur les enjeux spécifiques liés aux collections radioactives, favorisant la collaboration et les échanges entre institutions muséales, experts en radioprotection, et conservateurs afin de préserver ce patrimoine tout en garantissant la sécurité des équipes et du public.

Pour rendre ce dossier pratique et fonctionnel, nous l'avons divisé en **trois parties** :

- Des **chapitres thématiques** comprenant l'ensemble des informations nécessaires à la compréhension et à la prise en charge d'objets radioactifs (les **Chapitres 01 à 08**). Constituant la toile de fond qui sous-tend une bonne connaissance de la question radioactive en musée, ils ne se lit pas nécessairement dans l'ordre mais **encourage les allers-retours** avec les fiches pratiques en annexe.
- Des **annexes** relatives aux **sources employées** par chapitre, acceptant les répétitions pour présenter une bibliographie spécifique à chaque thématique (**Bibliographie**).
- Des **fiches pratiques** associées à des situations particulières comme le nécessité d'écrire un cahier des charges, ou des protocoles de prise de vue ou bien de réaction à une contamination radioactive (**Fiches 2, 4 et 6**).

Qu'est-ce que la radioactivité?

01

Définition

La **radioactivité** est un **phénomène physique** complexe qui résulte de la **désintégration spontanée de noyaux atomiques instables**. Découverte à la fin du XIXe siècle par Henri Becquerel et approfondie par Marie et Pierre Curie, elle repose sur la **transformation** d'un noyau instable en un autre, **plus stable**, par **l'émission d'énergie** sous forme de **rayonnements ionisants**.

Les éléments radioactifs, souvent des **isotopes dits « lourds »**, tels que l'uranium ou le radium, cherchent à retrouver une **stabilité nucléaire**. Ce processus se mesure à travers la **demi-vie** de ces isotopes, qui représente le temps nécessaire pour que la moitié des atomes d'un échantillon se désintègre. Par exemple, la demi-vie de l'uranium-238 est de 4,5 milliards d'années, ce qui explique sa persistance dans l'environnement.

Il existe trois types de rayonnements ionisants :

(ayant suffisamment d'énergie pour arracher des électrons aux atomes, créant ainsi des ions)

α lpha : composé de particules lourdes, il est **peu pénétrant** et peut être **arrêté par une feuille de papier**. Il est cependant **très nocif si inhalé ou ingéré**, car il provoque des dégâts localisés très intenses dans les tissus.

β êta : émettant des particules **légères**, il est capable de **pénétrer** quelques millimètres dans la peau, mais est arrêté par **1 cm de plastique et quelques mm d'aluminium**.

γ amma : composé de **photons pénétrants**, il traverse facilement la matière et nécessite des blindages épais comme le **plomb** pour **limiter** son impact.

Les impacts de la radioactivité sur la santé

La radioactivité est classée comme **risque physique**. Ses effets sur la santé humaine sont importants et préoccupants. Ils dépendent de la **dose**, de la **durée d'exposition** et de la **nature du rayonnement**.

Effets déterministes :

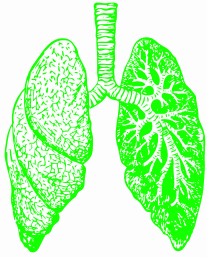
Ils apparaissent **rapidement** après une exposition à **haute dose**. Ils incluent des **brûlures, lésions internes, troubles cardiovasculaires** et syndrome d'**irradiation aiguë**. Ces impacts peuvent être **létaux**. Il existe un **seuil d'apparition** des symptômes et la **gravité augmente avec la dose** (jusqu'à être mortelle).

Effets stochastiques :

Ils sont **aléatoires** et ne **nécessitent pas de seuil** pour se manifester. Ils incluent une augmentation du risque de **cancers** (thyroïde, leucémie) et des **mutations génétiques transmissibles**. Même de faibles doses répétées peuvent avoir à long terme des conséquences graves.

Modes d'exposition

Inhalation



Les particules radioactives comme celles du **radon 222** atteignent les poumons et augmentent le risque de **cancer pulmonaire**. Ce gaz naturel, issu de la désintégration de l'uranium, est particulièrement dangereux dans les **espaces mal ventilés**.

Ingestion



Les **particules**, les **liquides** ou les **aliments** contaminés par des isotopes radioactifs sont **absorbés par le système digestif**. L'iode 131 se concentre dans la **glande thyroïde**, augmentant le risque de **cancers** spécifiques.

Exposition externe



Les **rayons gamma ou x**, très pénétrants, **traversent** la peau et les tissus, causant des **dommages directs** et souvent **irréparables à l'ADN selon la dose reçue**. Ce phénomène peut concerner le **corps entier**.

Types de contamination

On distingue **l'irradiation** (exposition d'un corps à un **rayonnement** ionisant sans contact direct avec la source radioactive, s'arrêtant à la fin du contact) et la **contamination** (présence de substances radioactives sur ou dans un objet, un corps, ou un lieu).

la contamination peut être *fixée* ou *labile*

Fixée : La radioactivité est **liée de manière indissociable** à un **support**. Bien qu'elle ne se disperse pas facilement, elle continue d'émettre des **rayonnements** pouvant provoquer une **exposition externe**.

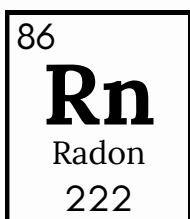
Labile : La radioactivité, sous forme de **particules**, est **facilement dispersable**, par manipulation ou par déplacement d'air. Elle peut être **inhalisée**, **ingérée**, ou **toucher la peau**, provoquant une **exposition interne ou externe**.

et issue d'une source *scellée* ou *non scellée*

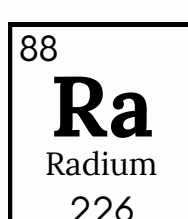
Scellée : Source radioactive **encapsulée**, **empêchant toute dispersion** dans l'environnement. **Non scellée :** susceptible de se **dispenser** dans l'environnement en cas de **manipulation** ou de **fuite**.

Quelques radionucléides présents en milieu muséal

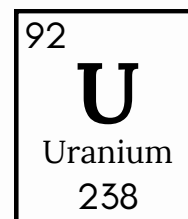
Radionucléide : Les radionucléides sont des substances qui libèrent une énergie portant le nom de **radiation**.



Gaz invisible et inodore, nocif par **inhalation**. 2e cause de **cancer du poumon**.



Contamination par **exposition externe** le plus souvent. Provoque le **cancer des os**.



Contamination par **inhalation** ou **ingestion**. Provoque des **cancers** et **insuffisances rénales**.

Identifier les collections radioactives

02

Cette liste n'est **pas exhaustive**, elle présente simplement les collections principalement concernées par les problématiques de radioactivité. D'autres typologies d'objets à risque pourraient être identifiées dans le futur. Il faut également noter que **tout objet peut avoir été irradié**, ce qui peut parfois le rendre **radioactif à son tour** (comme dans le cas de l'activation par des neutrons). il est donc primordial d'étudier la **provenance** et **l'histoire matérielle** de chaque objet pour évaluer le risque de radioactivité.

Minéraux radioactifs

Certains minéraux présentent naturellement des **radioisotopes**, c'est à dire de isotopes radioactifs.

Objets à risque : autunite, uraninite, zippéite, cuproslodowskite...



figure 1 : cuproslodowskite, Paris, Collection des minéraux de Sorbonne Université.

Mobilier archéologique et spécimens paléontologiques

Certains radioisotopes sont **naturellement présents dans les sols**, en particulier l'uranium, le thorium et le radium, contaminant les objets.

Objets à risque : **matériaux poreux** issus de sites archéologiques contaminés (os, céramique, fossiles, pierres calcaires).

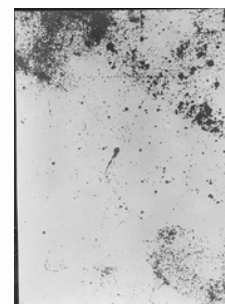
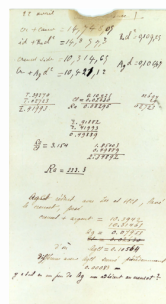


figure 2 : capteur de radon posé sur une ammonite. ©MNHN

Mobilier et objets liés à la recherche sur la radioactivité

Les objets utilisés dans le cadre de la recherche sur la radioactivité sont généralement également contaminés.

Objets à risque: tout **objet**, **bâtiment**, **outil** ou **document d'archive** lié à la recherche.



figures 3 et 4 : fiche radioactive (gauche) et son audiographie (droite), Musée Curie.

Objets radioluminescents

Des **peintures** contenant des éléments radioactifs (Radium 226, prométhium 147, tritium) sont utilisées dès le début du XXe siècle en vertu de leurs **propriétés lumineuses**.

Objets à risque : boussoles, montres et horloges, en particulier **l'équipement aéronautique et militaire**, hameçons, panneaux de sécurités, viseurs d'armes à feu.



figure 5 : montre à gousset, 1900-20, North Lincolnshire Museum

Céramiques

À partir de la fin du XVIIIe siècle, certaines **glaçures** sont enrichies en sels d'uranium 238 pour leur donner des couleurs variées (jaune, rouge, vert, noir). Ces glaçures **fluorescent** sous lumière ultraviolette.

Objets à risque : bijoux et vaisselle en céramique, céramique architecturale (1789-1970)



figure 6 : bol en céramique avec une glaçure à l'uranium, Smithsonian American Art Museum.

Verrerie

L'ouraline est le nom donné à un verre jaune vif ou verdâtre contenant jusqu'à 25% de sels d'uranium 238. Ce verre **fluoresce** sous lumière ultraviolette.

Objets à risque : bijoux et vaisselle en verre de couleur jaune produits depuis la fin du XIXe siècle.



figure 7 : flacon de toilette en ouraline (v.1885), McCord Museum.

Objets techniques et scientifiques

Ces substances radioactives sont souvent en **mélange ou alliage** avec d'autres matériaux.

Objets à risque : paratonnerres dès 1914 (Radium 226), tableaux et composants électriques, lentilles d'appareils photographiques (1930-70, thorium 232), moteurs aéronautiques (Magnésium-thorium), détecteurs de fumée dès 1935 (Américium 241, plutonium 238, krypton 85).



figure 8 : détecteur de fumée (années 70), Oak Ridge, Museum of Radiation and Radioactivity.

Objets médicaux, alimentaires et cosmétiques

Après la découverte du radium en 1898, de nombreux produits sont commercialisés vendant le radium comme **produit miracle**, en particulier entre 1910 et 1940.

Objets à risque : produits cosmétiques et thérapeutiques, aliments contenant des références au radium ou à la radioactivité ; objets associés aux **radio- et curiethérapies** (aiguilles, seringues, capsules).



figure 9 : dentifrice radioactif de la marque Doramad (seconde guerre mondiale), Museum of Radiation and Radioactivity.

Plan d'action général

03

Ce plan d'action offre un cap général pour définir l'ensemble des mesures à mettre en œuvre du très court au long terme et à intégrer dans la planification du musée.

Barre de progression des phases (à cocher au fur et à mesure de votre progression)

0 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 1 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ 2 ☐ ☐ ☐ ☐ 3 ☐ ☐ ☐ 4 ☐ ☐

Phase 0 : découverte d'un objet radioactif !

01 Paniquer ?!

Paniquer est tout à fait normal si un objet radioactif a été touché par accident. Il faut garder son sang froid en se **lavant les mains à l'eau et au savon**, et en **évitant de toucher d'autres parties de son corps**. Pour un protocole en cas de contamination radioactive, cf **Fiche 6**.

02 Se mettre en sécurité et se rassurer

Arrêter au mieux l'exposition en **enfilant immédiatement des EPI** (gants, masque FFP3 si possible, cf **Chap. 06**) et en **remettant l'objet dans son conditionnement** derrière un maximum de barrières et dans un endroit peu fréquenté. Il est très important d'agir **sans précipitation** et de se **rassurer**. Préparer des sacs pour les vêtements et les déchets potentiellement radioactifs (EPI, instruments en contact avec l'objet).

03 Lancer l'alerte

Prévenir immédiatement sa **hiérarchie**. Contacter les **pompiers** qui préviendront la **Préfecture et l'ASNR**. Si l'**ASNR** le juge nécessaire, il pourra envoyer une **équipe d'intervention** avec ou sans pompiers spécialisés pour évaluer les risques. Si la situation n'est pas jugée urgente et qu'il n'est pas souhaité de conserver l'objet radioactif, il est possible de contacter l'**ANDRA** qui se chargera de l'enlèvement de l'objet (01 41 11 83 27 ou collecte-dechetseandra.fr).

04 Informer les autorités compétentes

Le chef d'établissement doit **informer l'inspecteur du travail**, le **comité d'hygiène et de sécurité et des conditions de travail** (CHSCT) et l'**ASNR** ainsi que la **médecine du travail**.

05 Noter les conditions de l'incident

Noter sur un plan l'**emplacement de l'objet** et la **position de la personne**. Décrire le contact : identifier les **parties du corps** touchées ou exposées, et estimer la **durée d'exposition**.

06 Phase d'évaluations des risques

Transmettre à l'**ASNR** les informations relatives à l'**objet** et à l'**incident**. L'**ASNR** procèdera alors à une prise de **mesures** pour identifier la nature des radionucléides, le niveau de radioactivité et la contamination éventuelle des lieux.

Si l'**ASNR** ne s'en saisit pas, **identifier si** les personnes ont reçu des **rayonnements au delà des niveaux admis**, et **s'assurer** si c'est le cas **qu'elles ne soient plus**.

Progression de la Phase 0

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Phase 1 : Premières mesures

01 Informer la direction et les parties prenantes

Si ce n'est pas déjà fait, il faut **informer la direction** afin de garder la maîtrise de la communication interne.

01 Éviter tout contact, et s'équiper systématiquement

S'approcher le moins possible des objets identifiés et suspects. Si le contact ne peut pas être évité, **porter des EPI même rudimentaires** (blouse, gants, masque, cf **Chap. 06**).

02 Contacter les institutions spécialisées

Pour entendre leurs recommandations et expertise. L'ASN pour déclarer un objet radioactif, l'IRSN pour bénéficier de conseil et d'expertise, l'ANDRA pour les déchets radioactifs (cf **Chap. 06 et 08**).

03 Contacter un CRP

Le CRP (conseiller en radioprotection) va **évaluer le risque** (cf **Chap. 04 et 08**). Il vaut mieux tout de suite faire venir un spécialiste pour dialoguer sur la mise en place de la radioprotection. Il pourra donner des **recommandations de base** et **gérer les cas d'urgence**.

04 S'informer

S'informer sur les **normes** en vigueur et les **responsabilités** incombant aux différents acteurs (cf **Chap. 04**).

05 Se renseigner sur l'historique des collections

L'étude approfondie de la datation et des matériaux constitutifs est un très bon point de départ (cf **Chap. 02**). Elle permet **d'établir une liste d'objets potentiellement suspects**.

06 Évaluer l'intérêt de l'objet

Est-il **classé** ou **inscrit**? Est-il **inaliénable**? L'ANDRA est assez stricte en matière d'objets radioactifs et risque d'imposer la décontamination de l'objet ou son retrait de la collection.

07 Lancer le dialogue avec les différentes parties impliquées

Sensibiliser sa hiérarchie et ses collègues : organiser une réunion des équipes avec le CRP pour présenter les enjeux et répondre aux questions.

Informar les services de secours : les pompiers, agents de sécurité, et prestataires d'entretien du risque.

08 Évaluer les besoins financiers

Lever un budget est souvent compliqué par le manque de connaissances initiales. Les projets peuvent être inclus dans des demandes de financement globales pour bénéficier d'un soutien direct.

09 Rédiger un cahier des charges détaillé

Cette étape initiale peut être complexe en raison du manque de connaissances spécifiques à la radioprotection. Il est essentiel d'établir un langage commun avec les CRP (cf **Fiche 2 : Cahier des charges indicatif**).

Progression de la Phase 1

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Phase 2 : Caractérisation du danger et mise en place d'un environnement sûr

- Cette phase s'effectue en s'appuyant sur les compétences techniques et organisationnelles du CRP et nécessite donc la **nomination préalable** d'un conseiller en radioprotection. Les étapes peuvent se faire concomitamment.

01 Mesures radiologiques à l'échelle du bâtiment

Mesures de radon et de radiations dans les espaces du musée et des réserves (cf **Chap. 05**)

02 Mesures radiologiques à l'échelle de l'objet

Mesure des débits de dose à différentes distances des objets identifiés. **Mesures systématiques** de l'éventuelle radioactivité des objets partant en prêt et **lancement d'une campagne** d'identification et de mesures pour le reste de la collection (cf **Chap. 05**).

03 Faire un zonage

Il permet de poser les **conditions d'accès** aux différentes zones, ainsi que les **équipements nécessaires** pour y accéder (cf **Chap. 04 et 06**).

04 Évaluations individuelles de poste

Décrire les activités, le temps nécessaire à chacune, et indiquer la dose qu'un travailleur est susceptible de recevoir à l'année sur **12 mois consécutifs**

05 Définir les conduites en cas d'incident, d'accident et de catastrophe

Définir les **protocoles** en cas de fuite, contamination ou incident radiologique. Intégrer la prise en charge des objets radioactifs dans le **plan d'urgence** et dans le **plan de sauvegarde des biens culturels**.

D'un point de vue pratique, **ne pas placer** d'objets toxiques à proximité des **issues de secours**. **Centraliser** les objets radioactifs dans une **zone dédiée** permet aux secouristes d'identifier clairement les zones à risque, et d'éviter la dispersion des risques radiologiques à une multitude d'espaces.

Progression de la Phase 2 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Phase 3 : Gestion et suivi

01 Formation et sensibilisation

Informar le personnel sur les risques, les protocoles, et l'utilisation des équipements de protection, ainsi qu'à la reconnaissance des signes d'exposition excessive. À renouveler **tous les 3 ans** (cf **Chap. 04**).

02 Audit et inspections régulières

Planifier des inspections périodiques pour vérifier l'état des objets et des espaces. Communication régulières du CRP avec la médecine du travail (cf **Chap. 04**).

03 Conservation et stockage à long terme

Prévoir des réserves adaptées en terme d'équipements de protection collective et veiller au bon conditionnement des collections pour créer un environnement sûr (cf **Chap 06**).

Progression de la Phase 3 ☐ ☐ ☐

Phase 4 : Faire exister le patrimoine radioactif

01 Traitements de conservation adaptés

Identifier et mettre en place des méthodes de décontamination n'altérant pas les objets (cf **Chap . 07**).

02 Exposition des objets

Si une exposition est envisagée, la **conception des vitrines** doit minimiser l'exposition aux radiations pour les visiteurs et le personnel. Les espaces doivent également refléter la **séparation** entre zones d'exposition saines et zones d'émissions radioactives, à travers le **balisage** des zones et la **signalisation**.

Progression de la Phase 4 ☐ ☐

La radioprotection dans le droit

La radioprotection s'inscrit dans la **loi française** au sein de **trois codes**. L'appareil réglementaire est complexe et les articles font parfois exister des **ambiguïtés** ou des **contradictions** surtout lorsqu'il s'agit de collections. Il faut donc bien se familiariser avec les lois pour garantir la sécurité et la conformité.

Code du Travail

Art. R.4451-1 à R.4451-146

Code de la Santé Publique

Art. L.1333-1 à L.1333-32

Code de l'Environnement

art. L.591-1 à L.597-46

● Évaluation des risques professionnels *cf C.d.T. art. R.4121-1*

L'employeur assure l'évaluation des risques professionnels. En s'appuyant sur le CRP, il **identifie les sources** et les modalités d'exposition ainsi que les **doses** que le travailleur est susceptible de recevoir sur les douze mois consécutifs à venir. Il **évalue les mesures et moyens de protection** existant et devant être mis en œuvre, ainsi que les **incidents raisonnablement prévisibles**. Il retranscrit le résultat de son évaluation dans le **Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels (DUERP)**.

● Prise de mesures de protection

Il incombe à l'**employeur** de prendre des mesures pour **supprimer ou réduire au minimum** les risques associés à la radiocativité. Il doit intégrer la prévention **le plus tôt possible**, dès la **conception** du lieu de travail, et privilégier les mesures de **protection collective**, les mesures de protection individuelle constituant un **dernier recours**.

● Nomination d'un Conseiller en Radioprotection

L'employeur doit nommer au moins un **conseiller en radioprotection (CRP)** dans le cas de la présence d'une **source radioactive** ou de **rayonnements ionisants** constituant un **risque pour les travailleurs**.

Le CRP peut être :

- Une **personne physique** : c'est une **Personne Compétente en Radioprotection (PCR)**.
- Une **personne morale** : c'est un **Organisme Compétent en Radioprotection (OCR)**.

Il évalue les risques, conseille l'employeur, effectue des vérifications régulières et communique avec la médecine du travail. Il envoie au CEA les résultats dosimétriques trimestriels des travailleurs.

À noter : Il existe plusieurs mentions pour la formation de CRP. Dans le cadre des collections du patrimoine, il faut privilégier la formation **Niveau 2 - Secteur Industrie - Option sources scellées (objets contenant du radium)** et non scellées (autres types d'objets).

● Valeurs Limite d'Exposition

cf C.d.T. art. R.4451-6 à R.4451-12

Les Valeurs Limite d'Exposition (VLE) sont applicables à **tous les travailleurs (salariés, indépendants, employeurs)** susceptibles d'être exposés. Elles valent en toute circonstance (sauf urgences) et ne **doivent pas être dépassées**.

L'exposition **ne doit pas dépasser 20 mSv sur 12 mois consécutifs**.

● Classement des travailleurs

cf C.d.T. art. R.4451-57

Les travailleurs sont classés en **deux catégories par l'employeur** sur la base des résultats de l'évaluation individuelle de poste (pour les unités de mesure, cf **Chap.05**) :

- **Catégorie A :** travailleurs susceptibles de recevoir **sur 12 mois** une **dose efficace supérieure à 6 mSv** et/ou une **dose équivalente supérieure à 150 mSv** pour la peau ou les extrémités. La femme enceinte a une limite d'**1 mSv** pour l'embryon. Pour cette catégorie, le **suivi médical est annuel**.
- **Catégorie B :** travailleurs susceptibles de recevoir **sur 12 mois** une **dose efficace supérieure à 1 mSv** et/ou une **dose équivalente supérieure à 15 mSv** pour le cristallin et/ou **50 mSv** pour la peau ou les extrémités. Pour cette catégorie, le **suivi médical est biannuel**.

● Zonage et accès

cf C.d.T. art. R.4451-22 et R.4451-28

Les données sur la concentration géographique de radioactivité permettent d'établir un **zonage** en fonction de **seuils d'exposition**. Il entraîne le port obligatoire de différents types de **dosimètres**. Il suit le code couleur suivant :

zone non délimitée	zone surveillée	zone contrôlée verte	zone contrôlée jaune	zone contrôlée orange	zone contrôlée rouge
moins de 80 μ Sv/mois	moins de 1,25 mSv/ mois	moins de 4 mSv/ mois	moins de 2 mSv/ heure	moins de 100 mSv/ heure	plus de 100 mSv/ heure
	dosimètre à lecture différée	lecture différée + opérationnel	lecture différée + opérationnel	lecture différée + opérationnel	lecture différée + opérationnel

Les zones doivent être **matérialisées ou signalisées** (par exemple avec du scotch coloré au sol). L'accès est soumis à **autorisation de l'employeur** (le classement en catégorie 1 ou B **vaut autorisation**). **Les limites entre les zones** doivent comporter un affichage avec les **consignes en radioprotection**, le **nom du CRP** et celui du **médecin du travail** ainsi que les **limites de dose** par zone.

Il est remis à chaque travailleur avant intervention dans une zone contrôlée une **information** comprenant les risques liés au poste occupé ou à l'intervention, les règles de sécurité, et les conduites en cas de situation anormale.

• Formation des travailleurs

cf CdT. art. R.445-47 à R. 445-50

L'employeur se doit **d'organiser la formation** en radioprotection de **tout travailleur susceptible d'intervenir en zone surveillée ou contrôlée**. Elle comporte des informations sur les risques liés aux rayonnements et les mesures de radioprotection mises en place.

Elle est renouvelée **au moins tous les 3 ans**.

• Signalisation

À l'intérieur des zones, toute source radioactive doit impérativement être **signalée par un affichage**, remis régulièrement à jour. **Il doit contenir :**

- Le risque **d'exposition** (interne ou externe)
- Les consignes de travail, adaptées à la nature de l'exposition
- Les **consignes en cas d'urgence**.

Sa **forme** est **règlementée à minima** (forme, couleur, dimension, emplacement) et l'employeur **adapte la situation aux risques**. La convention veut que les zones soient signalées par un **pictogramme trisectoriel** (normalisé par la norme européenne **NF M 60-101**) dont la couleur reprend celle de la zone. Ils peuvent comporter des informations telles que le risque de contamination ou d'irradiation.

Proposition de pictogrammes :

Marqueur de présence



Ce pictogramme signale la présence de **matière radioactive** ou de **rayonnements ionisants**.

Balisage au sol

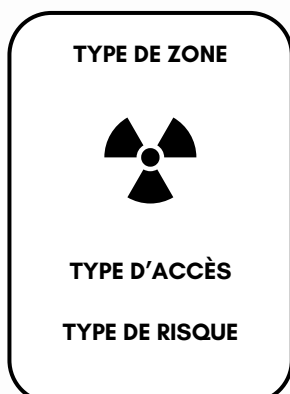


Limite au sol d'une zone verte

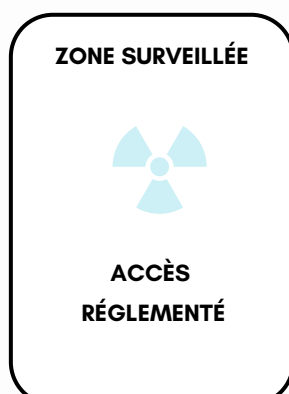


Limite au sol d'une zone orange avec risque d'irradiation

Panneau de signalisation de zone



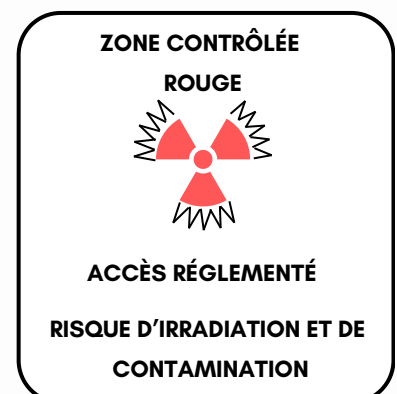
Exemple de **panneau vierge**



Panneau signalant une **zone bleue**.



Panneau signalant une **zone jaune**, avec risque de **contamination**.



Panneau signalant une **zone rouge** avec risque de **contamination** et **d'irradiation**.

Mesure de la radioactivité

05

Unités de mesure de la radioactivité

Bq

Becquerel

Unité de mesure de l'activité

radioactive. Un becquerel correspond à **une désintégration par seconde.**

→ ce qui est envoyé

Gy

Gray

Unité de mesure de la dose de rayonnement

absorbée, qui quantifie l'énergie déposée par le rayonnement dans une matière (ex : les tissus humains), considérant $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

→ ce qui est reçu

Sv

Sievert

Unité de mesure des **effets biologiques des rayonnements sur un organisme** exposé. Elle mesure la **dose équivalente.**

→ les dégâts que cela fait

Ci

Curie

Il s'agit de l'**ancienne** unité utilisée pour exprimer l'activité radioactive. $1 \text{ Ci} = 37 \text{ milliards de Bq}$.

Appareils de mesure de la radioactivité

Les dosimètres

Fonctionnement : mesure l'exposition cumulative aux rayonnements **γ , β et X** sur une période donnée. Il en existe **deux types** : les dosimètres **passifs** (qui enregistrent seulement) et **opérationnels** (qui affichent les mesures en direct, et peuvent émettre des alertes). Ils peuvent être posés sur la poitrine (corps), en bague à la main (extrémités) et sur les lunettes (cristallin).

Utilité : permettent d'opérer le suivi obligatoire et nominatif des travailleurs dans les zones à risque.

Les compteurs Geiger-Müller

Fonctionnement : tube rempli de gaz inerte ionisé par les rayonnements **α , β , et γ** , produisant une impulsion électrique convertie en clics ou en lecture numérique.

Utilité : contrôle de contamination sur les surfaces ou équipements, contrôle des niveaux de radiation en radiologie. Ces appareils mesurent des impulsions par seconde.

Les radiamètres

Fonctionnement : évaluation **quantitative précise** de l'intensité radiative des matériaux et environnements.

Utilité : mesures précises, détection de zones à risque élevé. Ils mesurent des $\mu\text{Sv/h}$.

Compteurs à scintillation

Fonctionnement : matériau scintillant émettant de la lumière sous l'effet des rayonnements α , β ou γ . La lumière est convertie en signal électrique pour une détection fine.

Utilité : détection de faibles niveau de radiation, analyse simultanée de plusieurs échantillons. Ils peuvent aussi bien faire des mesures de contamination qu'être utilisés comme radiamètres.

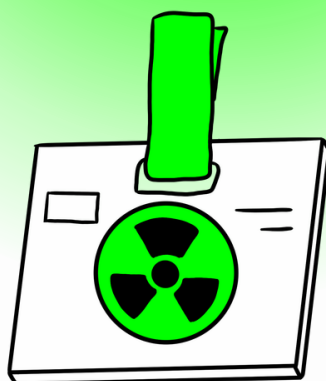
Capteurs de radon

Fonctionnement : mesure la concentration du **gaz radon 222** dans les espaces confinés.

Utilité : surveillance des zones à potentiellement forte concentration en radon (sous-sols, réserves).

Applicabilité en musée

Appareil	Fonction	Rayonnement détecté	Mode d'emploi	Caractéristiques
Compteur Geiger-Müller	Détection instantanée des rayonnements ionisants.	α , β , γ ou χ selon le modèle.	Placer près de la source, lecture en clics ou par un écran.	• Simple d'utilisation. • Rapide. • Bonne sensibilité. • Ne mesure pas la dose absorbée précisément.
Dosimètre	Mesure cumulative (passif) ou en temps réel (opérationnel) de la dose absorbée.	γ et χ principalement.	Porté sur le corps, analyse pendant ou après exposition.	• Idéal pour suivre et limiter l'exposition
Radiamètre	Mesure de l' intensité des rayonnements dans un lieu .	α , β ou γ selon le capteur.	Diriger vers la source, lecture sur l'affichage.	• Rapide. • Spécifique à un environnement donné.



Les bonnes pratiques en radioprotection sont très nombreuses, et s'appliquent **dès qu'il y a simple suspicion de radioactivité**. Devant la grande variété de ces règles, nous en retranscrivons ici un maximum. **Elles ne remplacent pas les préconisations du CRP.**

Principes de la radioprotection

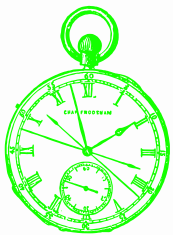
La loi française retient trois **principes** :

cf C.d.SP art. L.1333-1

1. **Justification** : toute activité liée à la radioactivité ne peut être entreprise que si elle se **justifie** par les avantages qu'elle procure.
2. **Optimisation** : une fois l'activité justifiée, l'exposition aux rayonnements ionisant des personnes doit être maintenue au **niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible**.
3. **Limitation** : l'exposition des personnes ne peut dépasser les valeurs limites d'exposition (cf **Chap. 04**).

• Le principe ALARA : "As Low As Reasonably Achievable"

Temps



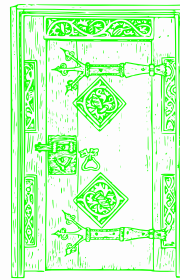
Moins long est le temps d'exposition, **plus faible** sera la dose de rayonnements et moins l'organisme aura de chances de contracter des effets stochastiques. Le travail doit être **rigoureux** et **préparé en amont**.

Distance



L'intensité et les effets des radiations **diminuent avec la distance**. Entreposer les collections **loin** des bureaux ou lieux de passage fréquent, **mettre à distance** le public.

Blindage



Les rayonnements peuvent être **bloqués ou atténués** par des écrans :

- **α** : arrêté par une feuille de **papier**.
- **β** : arrêté par une feuille d'**aluminium** ou 1 cm de **plexiglas**.
- **γ** jamais arrêté mais atténué par le **plomb**.

• L'échelle d'efficacité des mesures de protection

Les mesures de protection sont classées par **efficacité**, du plus efficace au moins efficace :

moins efficace

Il faut en priorité **isoler les personnes du danger**.



Si ce n'est pas possible ou pas suffisant, il faut **prendre des mesures de protection collective** (à l'échelle du bâtiment).



Si ce n'est pas possible ou pas suffisant, il faut **prendre des mesures de protection individuelle** (à l'échelle de l'individu).

plus efficace



À l'échelle du musée

Ces recommandations valent aussi bien pour les **réserves** que pour les **espaces d'exposition**



• Isoler les personnes du danger

• Constructions et rénovations :

La radioprotection se pense **en amont** lors de la conception ou rénovation des locaux. Prévoir des **zones à distance pour le stockage et la manipulation**. Prévoir des **parois écran** (béton, verre, plomb).

• Information du public :

Si les objets sont exposés, informer les visiteurs **à leur arrivée** de la présence de radioactivité et des consignes de sécurité, incluant les distances et le temps à respecter.

• Mesures de protection collective

• Ventilation et contrôle des outils de mesure :

Assurer un renouvellement constant de l'air pour **éviter l'accumulation** de gaz **radon**. Placer des **appareils de mesure ambiante** (cf **Chap. 05**) pour surveiller l'intensité de la radiation.

Faire des **contrôles périodiques** des instruments de mesure continue.

• Documentation nécessaire à la sécurité :

Documentation : Plan de Sauvegarde des Biens Culturels

Plan de l'espace	Pictogrammes trisecteurs aux emplacement des objets radioactifs.
Liste des contacts	Y compris les autorités compétentes (CRP, médecine du travail).
Gestion des urgences	Évacuation des eaux contaminées (ANDRA), notification des autorités.

Documentation : Base de données

Fiche objet	Mention visible de la radioactivité de l'objet, radionucléide concerné, localisation.
Registre des mesures	Dates, appareils, lieu de stockage, nom du personnel, étalonnage, conditionnement.
Précautions particulières	Informations sur les précautions spécifiques et détails importants.

Signalisation

Fiches règles	Rappels des règles et bon comportements via fiches imprimées dans les espaces.
Repérage physique	Matérialisation du zonage.

Focus sur le transport

- Les objets radioactifs appartiennent à la **Classe 7** : les colis doivent être identifiés par un numéro "ONU".
- Ils exigent un **emballage et un étiquetage** en conformité avec les **normes des matières dangereuses**.
- Le transporteur doit être **spécialisé en radioprotection**. **Attention** : les transporteurs sont rarement formés à la manipulation des biens culturels.

À l'échelle de la réserve

Ne pas boire, manger, fumer dans les zones où les objets sont entreposés ou manipulés. Toujours **avoir un plan avant d'entrer** dans les réserves : entrer, cibler ce qu'on vient faire, et **sortir rapidement**.



- **Isoler les personnes du danger**

- **Limiter le déplacement des sources.**
- **Réduire le nombre d'objets entreposés au même endroit :**

Préférer l'utilisation de **plusieurs petites armoires** plutôt qu'une grande pour éviter la concentration excessive en **radon**.

- **Mesures de protection collective**

- **Réaliser des mesures régulières de radon.**
- **Ventiler les lieux :**

Si l'espace n'est pas ventilé, utiliser des armoires filtrantes ou ventilées.

- **Documentation et affichage nécessaires à la sécurité :**

Documentation

Registre des objets contaminés	N° d'inventaire, typologie, localisation, préconisations, liste éventuelle d'objets à risque.
Registre des accès	Suivi des accès (noms, dates, temps passé et motif).

Affichage

Pictogramme trisectoriel	À l'entrée de la réserve et sur le(s) fût(s) de déchets.
Fiches des consignes obligatoires	Personnes habilitées, rappels des risques, contacts en cas d'urgence.
Plan de l'espace	Emplacement des objets radioactifs représentés par le pictogramme trisectoriel.
Liste des principaux contacts	Y compris le CRP, la médecine du travail.

Focus sur le conditionnement

- **Adapter le conditionnement aux objets :**

Le conditionnement choisi doit dépendre du **type de radiation émise**, des **caractéristiques de l'objet** et du **niveau de contamination**.

Rayonnement α : un simple sac de polyéthylène pour contenir la poussière ou une boîte en plastique suffisent.

Rayonnement β : boîtes en aluminium ou en plexiglas (1c d'épaisseur est idéal).

Rayonnement γ : un blindage en plomb est conseillé. En armoire ou en coffre, si possible avec une ventilation intégrée.

À l'échelle de l'objet

- **Isoler les personnes du danger**

- **Principe de confinement :**

Ne **jamais ouvrir une source** pour un traitement qui pourrait l'altérer. Si le confinement doit être brisé lors d'une manipulation, réaliser un **confinement provisoire** correctement ventilé.



- **Mesures de protection collective**

- **Lutter contre la contamination surfacique :**

Utiliser sur les surfaces des **revêtements lisses imperméables** permettant une décontamination aisée en cas d'accident (paillasse, papier de protection Benchkote).

- **Systématiquement tester en premier dès qu'on ouvre un tiroir ou une armoire.**

- **Documentation et signalisation nécessaires à la sécurité :**

Instruments et matériel contaminés

Pictogramme trisectoriel	Sur le matériel utilisé jusqu'à ce qu'il ne présente plus de contamination.
--------------------------	---

Objet

Pictogramme trisectoriel	Visible et suffisamment grand, placé sur l'objet, le conditionnement et l'étagère.
--------------------------	--

Fiche d'information	QR code ou fiche proche de l'objet pour informer des risques et précautions.
---------------------	--

Informations complémentaires	Radionucléide concerné, registre des mesures (dates, appareil, personnel).
------------------------------	--

À noter : il est important si l'on est amené à se placer à l'échelle de l'objet de connaître les risques et les conduites à tenir et mesures à prendre en cas de situation anormale. En cas de contact accidentel, cf **Fiche 1**.

Focus sur la manipulation

- **Toujours tester au préalable les procédures de manipulation :**

N'étant pas quotidiens, les gestes de manipulation ne sont **pas de l'ordre du réflexe**. Tester sur un **objet non radioactif** permet de connaître la procédure et d'**anticiper les problèmes**.

- **Réprimer les gestes réflexes tels que porter les doigts au nez, aux lunettes, à la bouche**

- **Règle main propre/main sale ou personne propre/personne sale :**

Avoir une main **entrant en contact avec l'objet (sale)** et une autre qui **ne le touche jamais (propre)** et manipule les instruments. Pour les objets lourds, **travailler à deux** : la personne propre utilise les instruments et la personne sale manipule les objets contaminés.

- **Surveiller le niveau de contamination en cours de travail.**

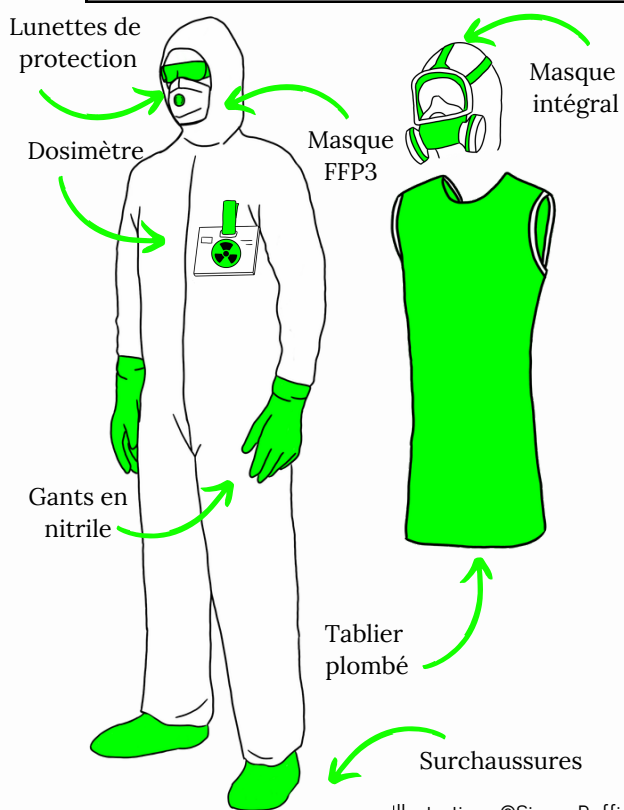
- **S'arrêter dès qu'on fait une erreur, même si on vient de commencer.**

La concentration est primordiale et les risques sont sérieux. Mieux vaut être totalement d'attaque pour manipuler.

• Mesures de protection individuelle

- Porter des équipements de protection individuelle (EPI) :

Équipement	Usage
Gants en nitrile jetables	Protègent la peau et empêchent la contamination croisée. À jeter immédiatement après usage.
Masque FFP3 et masque intégral NRBC	Filtrent efficacement les particules fines pour protéger les voies respiratoires .
Vêtements de protection jetables (combinaisons en Tyvek, blouses, surchaussures)	Protègent l'ensemble du corps de la contamination . À éliminer dans des conditions contrôlées après usage.
Tabliers de radioprotection (plombés ou sans plomb)	Protègent les organes vitaux de l'exposition aux rayonnements γ ou χ en réduisant l'intensité des rayonnements pénétrants. Peu d'utilité pour le radium ou l'uranium.
Lunettes antiradiation	Réduisent les doses reçues par les tissus oculaires sensibles .
Dosimètre	Permet de suivre les doses reçues.
Radiamètre	Vérifie les niveaux de radiation pour ajuster les mesures de sécurité en temps réel .



Illustrations ©Simon Raffin

- Avant de mettre les EPI :

Vérifier que les EPI sont en **bon état** et **adaptés** à l'intervention. Se **laver les mains** soigneusement avant de les toucher.

- Pendant le port des EPI :

Veiller à ce que les **manches de la blouse ne touchent pas** d'éléments contaminés et que les **poignets soient bien couverts**.

Avoir une bonne hygiène des gants : Ne pas les **frotter contre les surfaces** potentiellement contaminées. En cas de contact, **ne rien toucher d'autre** avant de retirer les gants.

- Retrait des EPI :

Retirer les gants et blouses avec précaution, en les **retournant à l'envers** pour éviter de toucher la surface contaminée. **Jeter les EPI jetables** immédiatement dans un conteneur prévu à cet effet. Se **laver les mains** après avoir retiré et jeté les EPI.

Focus sur la gestion des déchets

- Nettoyer les équipements réutilisables (lunettes, masques, etc) à l'**éthanol** et **vérifier la décontamination en mesurant**. Certains équipements ne peuvent pas être nettoyés facilement (**tabliers de plomb**) et seront donc confiés à des professionnels de la décontamination ou mis au rebut.

- **Compacter et stocker les déchets jetables dans un fût de métal ou de béton**

Les déchets concernés sont les équipements usagés du quotidien : **vêtements, combinaisons, gants, flacons, outils, filtres**. Ils sont dits de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC).

- **Transmission des déchets à l'ANDRA**

Les déchets sont pris en charge par l'ANDRA et rejoindront le Centre de stockage de l'Aube (CSA).

Décontamination et traitement

07

Principes généraux

Traditionnellement, les recommandations préconisent de **faire évacuer les collections radioactives** par des organismes spécialisés, et donc de les **détruire**.

La radioactivité fait **partie intégrante de la valeur scientifique et historique** de l'objet, il faut donc la prendre en compte **avant d'envisager tout traitement de décontamination**.

Protocole : radioprotection et intervention

• Mesures de radioprotection avant intervention

- **La collaboration avec le CRP est essentielle.** Elle permet d'évaluer les risques avant l'intervention, en particulier la dose à laquelle sera exposé l'intervenant, et de planifier la gestion des déchets.
- **L'espace de travail** doit être ventilé et contrôlé, et inaccessible pendant toute la durée du traitement. Pensez à préparer les produits nécessaires dans une zone saine avant le traitement, et à protéger la surface de travail avec un matériau protecteur (cf **Chap. 06**).
- **Réaliser une documentation photographique complète** avant et entre les étapes Du traitement, en veillant à ne pas toucher l'appareil photo avec des gants contaminés
- **Porter les EPI nécessaires** : gants en nitrile, combinaison en Tyvek, surchaussures, masque FFP3 et lunettes de protection, dosimètres passifs (poitrine, bague) et éventuellement opérationnel (cf **Chap 05 et 06**).

• Techniques de décontamination

• **Retrait de la matière radioactive (matériaux intrinsèquement radioactifs) :**

Il peut être décidé de retirer l'élément radioactif sur un objet, par exemple une peinture radioluminescente. Ce processus est **complexe** et **dangereux**, nécessitant l'intervention d'entreprises spécialisées. Cette intervention est **invasive et irréversible** et peut **engendrer la perte de certaines valeurs de l'objet**.

• **Retrait de poussières sur matériaux non poreux :**

Utiliser du **coton** imbibé **d'éthanol** pour un nettoyage localisé.

• **Retrait de poussières sur matériaux poreux** (ex. le bois) :

La **décontamination totale est impossible**. Retrait des poussières en surface à l'aide **gommes en latex** (comme la Smoke Sponge) et d'**aspirateurs** équipés de **pots décanteurs**. Le but est de réduire la part labile (particules facilement détachables (cf **Chap. 01**) et de diminuer partiellement les radiations.

• **Fixation des particules radioactives :**

Application d'un vernis ou d'une solution de Paraloid B72 (dans l'acétone) afin de créer **une couche protectrice** limitant les échanges entre l'air et le matériau radioactif. L'**efficacité à long terme** ainsi que l'**impact visuel** de cette intervention sont à prendre en compte.

Organismes compétents

08

Organismes publics



Santé publique France/Médecine du travail

À contacter **dès la découverte** d'objets radioactifs. La médecine du travail peut participer à **l'analyse des niveaux de rayonnement** auxquels les employés pourraient être exposés et aide à identifier les travailleurs les plus exposés.



MINISTÈRE
DE LA CULTURE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Les Directions Générales des Affaires Culturelles (DRAC)

Pour le respect des réglementations et la valorisation du patrimoine irradié.

Structures publiques spécialisées



Autorité de Sûreté Nucléaire

À contacter pour la **déclaration** et le **contrôle** des objets radioactifs présents dans les collections.



Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

Son rôle est de conseiller et d'accompagner. À contacter pour **l'expertise**, la **recherche**, et la **gestion des urgences radiologiques**.



Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs

À contacter pour la **gestion** et la **récupération des déchets radioactifs**. Coût estimé aux alentours de 3000€.

Ressources



Institut National de Recherche et de Sécurité

Propose des **formations** sur les risques professionnels liés aux rayonnements.



Radioprotection Cirkus

Association de professionnels de la radioprotection avec de **nombreuses ressources en ligne**. L'adhésion à l'association coûte 10€.

Organismes compétents en radioprotection (OCR)



Attention!

Le recours à un Organisme Compétent en Radioprotection n'est **pas gratuit** et nécessite souvent la rédaction d'un **cahier des charges détaillé**, que ce soit pour documenter une collection ou répondre à une demande spécifique (cf **Fiche 2**). Les tarifs, parfois disparates, peuvent être élevés.



Groupe APAVE

Inspection des équipements et gestion des risques nucléaires.



ONET

Expertise en inspection et gestion des services nucléaires.



SOCOTEC

Services de maintenance et de conseil en hygiène, sécurité et environnement.



URANUS

Études sur les dangers et les impacts radiologiques.

Liste des fournisseurs en radioprotection



Lemer Pax

Équipements sur mesure de confinement et manipulation sécurisée.



RaySafe

Instruments portables de détection et d'évaluation des rayonnements ionisants.



PCE Instruments

Appareils de mesure.



Promega

EPI et outils de traçabilité.



Landauer

Dosimètres et surveillance des rayonnements.

Conclusion

Au terme de ce dossier, il paraît clair que la question de la gestion des objets radioactifs dans les collections patrimoniales soulève des **enjeux multiples** qui appellent une **réflexion approfondie** et des **actions concrètes**. Ces artefacts, bien que marqués par leur dangerosité intrinsèque, incarnent une **valeur scientifique, historique et culturelle qu'il serait regrettable de négliger**. Leur préservation dépasse les seules considérations techniques de radioprotection pour s'inscrire dans une démarche globale de valorisation du patrimoine.

Les recommandations présentées dans ce dossier esquissent des pistes intéressantes pour structurer cette gestion. La **création d'une commission nationale dédiée**, composée d'experts en radioprotection, muséologie et sciences nucléaires, pourrait jouer un rôle central en évaluant la valeur patrimoniale des objets et en guidant les institutions culturelles sur les pratiques de conservation. Cette instance pourrait également contribuer à **redéfinir le statut juridique** des objets radioactifs pour les extraire de leur classification actuelle de déchets et les intégrer pleinement au champ patrimonial.

L'élaboration d'un **inventaire national ou international** permettrait de recenser et de suivre ces collections spécifiques, favorisant ainsi une **meilleure coordination** entre les différents acteurs impliqués. Associée à un **projet national de récolement radioactif** et à une **adaptation législative**, cette démarche offrirait un cadre clair et cohérent pour garantir la sécurité et la préservation durable de ces artefacts.

Ainsi, loin d'être un simple défi, la gestion des objets radioactifs représente **une opportunité de repenser notre rapport au patrimoine** en intégrant des préoccupations scientifiques et culturelles dans une perspective à la fois préventive et valorisante.

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la réalisation de ce travail, dans le cadre du Master en Conservation-Restauration des Biens Culturels à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Nous remercions chaleureusement **Saskia Van de Voorde** et **Zoe-Joy Vangansewinkel** du Musée de la Guerre de Bruxelles, ainsi que **Laure-Elie Rodrigues**, collaboratrice scientifique chargée des collections du Musée des Beaux-Arts et d'Archéologie Joseph-Déchelette, pour leurs partages d'expériences et leurs conseils avisés.

Nos sincères remerciements vont également à **Céline Paletta**, responsable de la Collection des Minéraux de Sorbonne Université, à **El-Bachir Diane**, assistant ingénieur et assistant de prévention à la Bibliothèque Sorbonne Université (BSU), et à **Noémy Mollaret**, technicienne de collections patrimoniales et conseillère en radioprotection de la Collection des Minéraux de Sorbonne Université. Leur expertise et leur soutien dans la gestion des collections scientifiques et patrimoniales ont été précieux.

Nous tenons également à remercier **Sylvie Maillard**, chargée de la conservation préventive des collections du Musée des Arts et Métiers, ainsi qu'**Adrien Klapisz**, responsable des collections du Musée Curie, pour leurs échanges constructifs et leurs éclairages sur la conservation des collections. Nous remercions également **Marc Ammerich** pour sa précieuse relecture.

Enfin, un merci tout particulier à **Thomas Beaufils**, docteur en anthropologie sociale et ethnologie, pour ses travaux de référence, qui ont constitué une source d'inspiration et d'enrichissement majeure tout au long de ce projet.

À toutes et à tous, merci infiniment pour votre disponibilité, votre engagement et vos précieux partages de savoirs.

Annexes

Annexes

Bibliographie	i
Index des illustrations	vi
Fiche 1 : Les 10 mots de la radioactivité	vii
Fiche 2 : Cahier des charges indicatif	viii
Fiche 3 : Protocole indicatif d'exposition	ix
Fiche 4 : Protocole indicatif de prise de vue	xi
Fiche 5 : Musées ayant des collections radioactives	xii
Fiche 6 : Protocole en cas de contamination	xiii

Bibliographie

1. Qu'est-ce que la radioactivité?

- **ANDRA**, "Protection contre la radioactivité", [en ligne], s.d., consulté le 21 octobre 2024, [<https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/la-radioactivite/protection-contre-la-radioactivite>].
- **Beaufils T.**, "Les objets radioactifs historiques : un patrimoine précieux en grand danger", [en ligne], *Patrimoine Nord-Nord-Ouest*, mis en ligne le 12 août 2023, consulté le 4 décembre 2024, [URL : <https://nordmagnetik.hypotheses.org/1628>].
- **Delacroix D., et.al.**, "Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002", [1998]2e éd., in *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 98, n°1, Nuclear Technology Publishing, s.l.,2002.
- **Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest**, "Les radionucléides", [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.hss.gov.nt.ca/sites/hss/files/resources/contaminants-fact-sheets-radionuclides-fr.pdf>].
- **Gouvernement du Canada**, "Vos objets de collection pourraient-ils contenir du radium?", [en ligne], mis en ligne le 27 mai 2024, consulté le 24 octobre 2024 [<https://www.cnsccsn.gc.ca/fra/resources/radiation/could-your-collectible-item-contain-radium/>].
- **Norquest S., et.al.**, "Working with a collection of radioactive aircraft instruments", in Emily Hamilton *et.al.* (éd.), *Objects Speciality Group Postprints*, vol.22, actes du 43e rendez-vous annuel des groupes Objets et Médias électroniques de l'AIC (1du 13 au 16 mai 2015, Miami), s.l., The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2016, p.169-180.
- **Smeesters P., et.al.**, "Accidents nucléaires et protection de la thyroïde par l'iode stable", Bruxelles, Agence fédérale de Contrôle nucléaire, [en ligne], mis en ligne en février 2018, consulté le 4 décembre 2024, [<https://risquenucleaire.be/sites/default/files/inline-files/accidentnucleaire-iodestable-2018-FR.pdf>].

2. Identifier les collections radioactives

- **Beaufils T.**, "Les objets radioactifs historiques : un patrimoine précieux en grand danger", [en ligne], *Patrimoine Nord-Nord-Ouest*, mis en ligne le 12 août 2023, consulté le 4 décembre 2024, [URL : <https://nordmagnetik.hypotheses.org/1628>].
- **Thomas Beaufils** (Université de Lille), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Armelle Le Lan, 29 novembre 2024.
- **Daval M.**, *La problématique de la radioactivité dans les objets patrimoniaux : identification, évaluation et Gestion*, mémoire de master, Haute École Arc, 2012, [en ligne], s.d., consulté le 23 octobre 2024, [<https://sonar.ch/hesso/documents/313392>].
- **Defendini L.**, « L'impact des collections patrimoniales sur la santé », *La Lettre de l'OCIM* [en ligne], 168 / 2016, mis en ligne le 1er novembre 2017, [<http://journals.openedition.org/ocim/1708>], consulté le 4 décembre 2024.
- **Rowe S.**, « Managing Small Radioactive Collections in the UK: Experiences from the Polar Museum, Cambridge », dans *Journal of Conservation and Museum Studies*, 16, n°1, [en ligne], mis en ligne le 14 novembre 2018, [<https://doi.org/10.5334/jcms.166>], consulté le 23 octobre 2024.

3. Plan d'action général

- **Ammerich M.**, "Initiation à la radioprotection", [en ligne], s.d., URL [https://rpcirkus.org/images/pdf/DOC-FO/DOC-FO-10_1_Condense_Radioprotection.pdf], consulté le 24 novembre 2024.
- **Thomas Beaufile** (Université de Lille), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Armelle Le Lan, 29 novembre 2024.
- **El-Bachir Diane, Noémy Mollaret, Céline Paletta** (Collection des minéraux, Sorbonne Université), propos recueillis lors d'un entretien par Simon Raffin et Clara Nabet, 18 novembre 2024.
- **Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire**, « Découverte d'objets radioactifs : comment réagir? », [en ligne], mis en ligne en octobre 2024, consulté le 10 décembre 2024, [<https://reperes.irs.fr/en-pratique/decouverte-dobjets-radioactifs-comment-reagir>].
- **Rowe S.**, « Managing Small Radioactive Collections in the UK: Experiences from the Polar Museum, Cambridge », dans *Journal of Conservation and Museum Studies*, 16, n°1, [en ligne], mis en ligne le 14 novembre 2018, [<https://doi.org/10.5334/jcms.166>], consulté le 23 octobre 2024.
- **Rowe S.**, "Risk assessment template for work with radioactive collections", [en ligne], s.d., consulté le 14 novembre 2024, [<https://doi.org/10.5334/jcms.166.s1>].
- **RPCirkus**, "Fiches réflexes accident d'exposition externe", [en ligne], s.d., consulté le 24 novembre 2024, [https://rpcirkus.org/images/pdf/DOC-NT/DOC-NT-5_1_Fiches_reflexes_accident_exposition_externes.pdf].
- **RPCirkus**, "Fiches réflexes incident radiologique avec contamination", [en ligne], s.d., consulté le 24 novembre 2024, [https://rpcirkus.org/images/pdf/DOC-NT/DOC-NT-6_1_Fiches_reflexes_incident_radiologique_avec_contamination.pdf].
- **Saskia Van de Voorde et Zoe-Joy Vangansewinkel** (Musée de la guerre, Bruxelles), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Candela Senabre, 13 novembre 2024.

4. Réglementation

- **Adrien Klapisz** (Musée Curie), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Candela Senabre, 21 novembre 2024.
- **ANDRA**, "Protection contre la radioactivité", [en ligne], s.d., consulté le 21 octobre 2024, [<https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/la-radioactivite/protection-contre-la-radioactivite>].
- **Beaufils T.**, "Les objets radioactifs historiques : un patrimoine précieux en grand danger", [en ligne], *Patrimoine Nord-Nord-Ouest*, mis en ligne le 12 août 2023, consulté le 4 décembre 2024, [URL : <https://nordmagnetik.hypotheses.org/1628>].
- **Code du travail**, art. R4451-1 à R4451-146.
- **Code de la santé publique**, art. L.1333-1 à L.1333-32.
- **Code de l'environnement**, art. L. 591-1 à 591-8.
- **El-Bachir Diane, Noémy Mollaret, Céline Paletta** (Collection des minéraux, Sorbonne Université), propos recueillis lors d'un entretien par Simon Raffin et Clara Nabet, 18 novembre 2024.
- **INRS. Santé et sécurité au travail**, "Ce qu'il faut retenir", [en ligne], s.d., consulté le 7 novembre 2024, [<https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-ionisants/ce-qu-il-faut-retenir.html>].
- **INRS. Santé et sécurité au travail**, "Réglementation et démarche de prévention", [en ligne], s.d., consulté le 7 novembre 2024, [<https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-ionisants/reglementation.html>].
- **Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire**, "FAQ Réglementation", [en ligne], s.d., consulté le 22 octobre 2024, [<https://www.irs.fr/node/1690>].

5. Mesures de la radioactivité : unités et instruments

- **Daval M.**, *La problématique de la radioactivité dans les objets patrimoniaux : identification, évaluation et Gestion*, mémoire de master, Haute École Arc, 2012, [en ligne], s.d., consulté le 23 octobre 2024, [<https://sonar.ch/hesso/documents/313392>].
- **Delacroix D.**, *et.al.*, "Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002", [1998]2e éd., in *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 98, n°1, Nuclear Technology Publishing, s.l., 2002.
- **Gouvernement du Canada**, "Vos objets de collection pourraient-ils contenir du radium?", [en ligne], mis en ligne le 27 mai 2024, consulté le 24 octobre 2024 [<https://www.cnscccsn.gc.ca/fra/resources/radiation/could-your-collectible-item-contain-radium/>].
- **Kamath P.R.**, *Le laboratoire de surveillance du rayonnement ambiant. Directives concernant la conception, l'agencement et la dotation en personnel et en matériel*, Genève, Organisation Mondiale de la Santé, 1971.
- **Norquest S.**, *et.al.*, "Working with a collection of radioactive aircraft instruments", in Emily Hamilton *et.al.* (éd.), *Objects Speciality Group Postprints*, vol. 22, actes du 43e rendez-vous annuel des groupes Objets et Médias électroniques de l'AIC (1du 13 au 16 mai 2015, Miami), s.l., The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2016, p.169-180.
- **Smeesters P.**, *et.al.*, "Accidents nucléaires et protection de la thyroïde par l'iode stable", Bruxelles, Agence fédérale de Contrôle nucléaire, [en ligne], mis en ligne en février 2018, consulté le 4 décembre 2024, [<https://risquenucleaire.be/sites/default/files/inline-files/accidentnucleaire-iodestable-2018-FR.pdf>].
- **Vaccarezza J.**, *Contribution à l'étude de la pollution radioactive des eaux, décontamination du cobalt dans les effluents radioactifs*, thèse de doctorat, Université Toulouse 3, 1971.
- **Wastiel C.**, **Kosinski M.**, "Contrôle qualité des produits radiopharmaceutiques par chromatographie liquide HPLC", *Analisis Magazine*, vol. 29 n°2, EDP Sciences et Wiley-VCH, 1998.
- **Vaccarezza J.**, *Contribution à l'étude de la pollution radioactive des eaux, décontamination du cobalt dans les effluents radioactifs*, thèse de doctorat, Université Toulouse 3, 1971.
- **Wastiel C.**, **Kosinski M.**, "Contrôle qualité des produits radiopharmaceutiques par chromatographie liquide HPLC", *Analisis Magazine*, vol. 29 n°2, EDP Sciences et Wiley-VCH, 1998.

6. Radioprotection : bonnes pratiques et équipements

- **Ammerich M.**, "Initiation à la radioprotection", [en ligne], s.d., consulté le 24 novembre 2024, [https://rpcirkus.org/images/pdf/DOC-FO/DOC-FO-10_1_Condense_Radioprotection.pdf].
- **ANDRA**, « Déchets radioactifs. Fini les idées reçues! », s.d., consulté le 10 décembre 2024, [<https://www.andra.fr/dechets-radioactifs-fini-les-idees-recues>].
- **ANDRA**, "Protection contre la radioactivité", s.d., consulté le 21 octobre, [<https://www.andra.fr/les-dechets-radioactifs/la-radioactivite/protection-contre-la-radioactivite>].
- **Beaufils T.**, *Gérer et conserver le patrimoine radioactif du Musée Curie. Préconisations et mise en œuvre d'un plan d'actions préventives*, mémoire de master, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2021.
- **Thomas Beaufils** (Université de Lille), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Armelle Le Lan, 29 novembre 2024.

- **Daval M.**, « Les substances radioactives dans les objets patrimoniaux », *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art*, n°EGG 4 | 2014, [en ligne], mis en ligne le 2 avril 2024, consulté le 22 octobre 2024, [<https://doi.org/10.4000/ceroart.4160>].
- **Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire**, "FAQ Réglementation", [en ligne], s.d., consulté le 22 octobre 2024, [<https://www.irsn.fr/node/1690>].
- **Gouvernement du Canada**, "Vos objets de collection pourraient-ils contenir du radium?", [en ligne], mis en ligne le 27 mai 2024, consulté le 21 octobre 2024, [<https://www.cnsccsn.gc.ca/fra/resources/radiation/could-your-collectible-item-contain-radium/>].
- **El-Bachir Diane, Noémy Mollaret, Céline Paletta** (Collection des minéraux, Sorbonne Université), propos recueillis lors d'un entretien par Simon Raffin et Clara Nabet, 18 novembre 2024.
- **Institut de Radioprotection et de Santé Nucléaire**, « Les principes généraux de la protection contre les rayonnements ionisants et leurs modalités d'application », [en ligne], s.d., consulté le 9 décembre 2024, [https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/actualites_presse/communiqués_et_dossiers_de_presse/IRSN_fiche_principes_radioprotection.pdf].
- **Adrien Klapisz** (Musée Curie), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Candela Senabre, 21 novembre 2024.
- **Laure-Elie Rodrigues** (musée de Roanne), propos recueillis lors d'un entretien par Candela Senabre et Armelle Le Lan, 15 novembre 2024.
- **Sylvie Maillard** (Musée des Arts et Métiers), propos recueilli lors d'un entretien par Candela Senabre, Armelle Le Lan, Charlotte Garin, 15 novembre 2025.
- **Marcé B.**, « Entre santé publique et éthique patrimoniale : le poison dans les collections », *La Lettre de L'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifique et technique*, n°176, 1er mars 2018, [en ligne], mis en ligne le 1er mars 2019, consulté le 22 octobre 2024, [<https://journals.openedition.org/ocim/2033>].
- **Norquest S.**, et.al., "Working with a collection of radioactive aircraft instruments", in Emily Hamilton et.al. (éd.), *Objects Speciality Group Postprints*, vol.22, actes du 43e rendez-vous annuel des groupes Objets et Médias électroniques de l'AIC (1du 13 au 16 mai 2015, Miami), s.l., The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2016, p.169-180.
- **Rowe S.**, « Managing Small Radioactive Collections in the UK: Experiences from the Polar Museum, Cambridge », dans *Journal of Conservation and Museum Studies*, 16, n°1, [en ligne], mis en ligne le 14 novembre 2018, [<https://doi.org/10.5334/jcms.166>], consulté le 23 octobre 2024.

7. Décontamination et traitement

- **Thomas Beaufils** (Université de Lille), propos recueillis lors d'un entretien par Charlotte Garin et Armelle Le Lan, 29 novembre 2024.
- **Daval M.**, *La problématique de la radioactivité dans les objets patrimoniaux : identification, évaluation et Gestion*, mémoire de master, Haute École Arc, 2012, [en ligne], s.d., consulté le 23 octobre 2024, [<https://sonar.ch/hesso/documents/313392>].
- **Daval M.**, « Les substances radioactives dans les objets patrimoniaux », *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art*, n°EGG 4 | 2014, [en ligne], mis en ligne le 2 avril 2024, consulté le 22 octobre 2024, [<https://doi.org/10.4000/ceroart.4160>].
- **Norquest S.**, et.al., "Working with a collection of radioactive aircraft instruments", in Emily Hamilton et.al. (éd.), *Objects Speciality Group Postprints*, vol.22, actes du 43e rendez-vous annuel des groupes Objets et Médias électroniques de l'AIC (1du 13 au 16 mai 2015, Miami), s.l., The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2016, p.169-180.

- **Rowe S.**, « Managing Small Radioactive Collections in the UK: Experiences from the Polar Museum, Cambridge », dans *Journal of Conservation and Museum Studies*, 16, n°1, [en ligne], mis en ligne le 14 novembre 2018, [<https://doi.org/10.5334/jcms.166>], consulté le 23 octobre 2024.

8. Organismes compétents

- **Apave**, “Nucléaire”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.apave.com/fr-FR/Votre-secteur-d-activite/Energies/Nucleaire>].
- **LemerPax**, “Études de radioprotection”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.lemerpax.com/etudes-de-radioprotection/>].
- **Landauer**, “Landauer”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.landauer-fr.com/>].
- **Sylvie Maillard** (Musée des Arts et Métiers), propos recueilli lors d'un entretien par Candela Senabre, Armelle Le Lan, Charlotte Garin, 15 novembre 2025.
- **PCE Instruments**, “PCE Instruments France”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.pce-instruments.com/french/>].
- **Promega**, “Accueil”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.promega.fr/>].
- **ONET**, “Onet Technologies – Services nucléaires”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.onet.fr/ingenierie-services-nucleaires/>].
- **RaySafe**, “Products”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.raysafe.com/products>].
- **Laure-Elie Rodrigues** (musée de Roanne), propos recueillis lors d'un entretien par Candela Senabre et Armelle Le Lan, 15 novembre 2024.
- **RPCirkus**, “RP Cirkus. Le portail de la RP pratique et opérationnelle”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.rpcirkus.org/fr/>].
- **SOCOTEC**, “Nucléaire”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.socotec.fr/votre-secteur/energies/nucleaire>].
- **URANUS**, “Nos implantations”, [en ligne], s.d., consulté le 8 décembre 2024, [<https://www.uranus-tech.net/>].

Index des illustrations

Figure 1 : Cuprosklodowskite, exposée avec les roches radioactives de la Collection de Minéraux de Sorbonne Université. © Clara Nabet.

Figure 2 : Capteur de radon posé sur une ammonite dans les réserves de paléontologie de la Galerie de Paléontologie et d'Anatomie comparée. ©MNHN.

Source : Defendini Laurent, « L'impact des collections patrimoniales sur la santé », *La Lettre de l'OCIM* [en ligne], 168 / 2016, mis en ligne le 1er novembre 2017, consulté le 4 décembre 2024, [<http://journals.openedition.org/ocim/1708>].

Figure 3 : Fiche radioactive portant l'écriture de Pierre et Marie Curie, 1902, Paris, Musée Curie (coll. Institut du radium), © Musée Curie.

Source : Musée Curie [en ligne], mis en ligne le 31 mars 2022, consulté le 4 décembre 2024, [<https://musee.curie.fr/blog/la-fiche-radioactive>].

Figure 4 : Audiographie d'une fiche radioactive portant l'écriture de Pierre et Marie Curie réalisée par Frédéric Joliot en 1956, © Musée Curie.

Source : Musée Curie [en ligne], mis en ligne le 31 mars 2022, [<https://musee.curie.fr/blog/la-fiche-radioactive>], consulté le 4 décembre 2024.

Figure 5 : Montre à gousset, 1900-1920 environ, alliage cuivreux et peinture au radium, Scunthorpe (Angleterre), North Lincolnshire Museum, n°inv : 958612, © Martin Foreman – North Lincolnshire Museum.

Source : Wikimedia Commons [en ligne], mis en ligne le 11 novembre 2020, consulté le 1er décembre 2024, [[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Modern_Pocket_Watch_\(FindID_958612\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Modern_Pocket_Watch_(FindID_958612).jpg)].

Figure 6 : Laura Andreson, *Bowl*, 1939, céramique et glaçure à l'uranium, 10,16 x 30,16 cm, Washington (États-Unis), Smithsonian American Art Museum, n°inv : 2021.98.2, © Smithsonian American Art Museum.

Source : Smithsonian American Art Museum, [en ligne], s.d., consulté le 4 décembre 2024, [https://www.si.edu/object/bowl:saam_2021.98.2].

Figure 7 : Flacon de toilette, vers 1885)1890, verre à l'uranium, 6,3 cm, Montréal (Canada), Musée McCord Stewart, n°inv : M998X.141.1.1-2, © Musée McCord Stewart.

Source : Musée McCord Stewart [en ligne], s.d., consulté le 4 décembre 2024, [<https://www.musee-mccord-stewart.ca/fr/blogue/uranium-dans-une-armoire-pres-de-chez-vous/>].

Figure 8 : Détecteur de fumée, années 1970, Oak Ridge (États-Unis), Museum of Radiation and Radioactivity. ©Oak Ridge Associated Universities.

Source : Oak Ridge Associated Universities Museum of Radiation and Radioactivity, [en ligne, s.d., consulté le 4 décembre 2024, [<https://www.ornl.gov/health-physics-museum/collection/consumer/miscellaneous/smoke-detector.html>].

Figure 9 : Dentifrice radioactif de la marque Doramad datant de la Seconde Guerre Mondiale, Oak Ridge (États-Unis), Museum of Radiation and Radioactivity, © Oak Ridge Associated Universities.

Source : Oak Ridge Associated Universities Museum of Radiation and Radioactivity, [en ligne], consulté le 4 décembre 2024, s.d., [<https://www.ornl.gov/health-physics-museum/collection/radioactive-quack-cures/pills-potions-and-other-miscellany/doramad-radioactive-toothpaste.html>].

Mise en page et graphisme du dossier : © Clara Nabet

Les 10 mots de la radioactivité

Fiche 1

Cette fiche outil donne un aperçu rapide des notions les plus importantes à connaître en matière de radioactivité.

01 Radioactivité

Phénomène naturel ou artificiel où un noyau instable **libère de l'énergie** sous forme de rayonnements ionisants.

→ **Rayonnement ionisant** : type de rayonnement (α , β , γ , χ) ayant suffisamment d'énergie pour **arracher des électrons aux atomes**, créant ainsi des ions.

02 Irradiation

Exposition d'un corps à un rayonnement ionisant **sans contact direct avec la source radioactive**. L'effet cesse **dès que l'exposition s'arrête**.

03 Contamination

Présence de substances radioactives sur ou dans un objet, un corps ou un lieu. Elle peut être :

→ **Fixée** : la radioactivité est liée **de manière indissociable au support**.

→ **Labile** : les particules sont **facilement détachables** et **transférables** par contact (par exemple, via les doigts).

04 Sievert (Sv)

Unité de mesure pour évaluer l'impact des rayonnements ionisants sur la matière vivante.

Microsievert (μSv) : sous-multiple du sievert utilisé pour mesurer les faibles doses de rayonnement ($1 \text{ Sv} = 1\,000\,000 \mu\text{Sv}$). C'est cette unité que l'on retrouve le plus souvent dans les musées.

05 Source scellée

Source radioactive **encapsulée** empêchant toute dispersion dans l'environnement.

06 Source non scellée

Source radioactive susceptible de se disperser dans l'environnement en cas de fuite ou manipulation.

07 Bruit de fond

Radioactivité naturelle mesurée dans un environnement donné, souvent issue du sol.

08 Débit de dose absorbée

Quantité d'énergie transférée par le rayonnement à un matériau en un temps donné. Elle s'exprime en **miligray** (mGy/h) ou en **microgray** ($\mu\text{Gy/h}$).

09 Radiamètre

Outil qui mesure la **radioactivité ambiante**, souvent en microsieverts par heure ($\mu\text{Sv/h}$). Mesure précise des faibles doses de rayonnement, y compris α et χ .

10 Compteur Geiger-Müller

Instrument de mesure des **rayonnements ionisants**, expriment les résultats en coups par seconde (c/s). Détecte les rayons β et γ mais est peu sensible aux faibles doses ou aux rayons α .

Cahier des charges indicatif

Fiche 2

Cette fiche a pour but de faire la liste des points importants à anticiper dans le cas de la rédaction d'un cahier des charges à l'attention d'un OCR (Organisme compétent en radioprotection). Elle s'inscrit dans le cas où vous n'avez pas accès à une personne compétente en radioprotection en interne, spécialisée dans les collections muséales. Il s'agit de ne pas oublier de champs importants lors d'une demande de consultation.

- **Identification** et **évaluation** des **objets radioactifs** et des éventuelles contaminations.
- **Caractérisation** des radionucléides présents et des **risques** pour chaque objet.
- Préconisations pour le **conditionnement**, comme l'achat ou l'aménagement d'un coffre blindé.
- **Mesures d'ambiance** (radon, radiations) et **recommandations** adaptées.
- Détermination de la **fréquence des audits** selon le risque et l'activité des collections.
- **Conseils** sur **l'organisation des espaces**, le **stockage** et le **conditionnement**.
- **Préconisations** sur **l'utilisation des EPI** et des **appareils de mesure** selon les interventions prévues.
- Étude des mesures à prendre **en cas d'accident ou d'urgence**, intégrées au plan général du musée.
- **Formation et sensibilisation** du personnel / formation régulière à l'utilisation des appareils achetés
- Étude de la faisabilité de **décontamination**.

Protocole indicatif pour l'exposition

Fiche 3

Cette fiche présente les premières bases d'actions à mettre en place de vue de l'exposition d'un objet radioactif.

• Recommandations générales pour les vitrines

- Ne pas exposer les objets **les plus émetteurs** sans avoir réalisé une **évaluation des risques préalables** (pour un exemple, cf [Rowe, 2018](#)).
- Les vitres en **acrylique** et en **verre** stoppent les rayonnements **α et β** . Les vitres en **verre plombé** limitent les rayonnements **γ** .
- Pour réduire l'exposition, **éloigner** les objets radioactifs du bord de la vitrine. Maintenir un **périmètre dégagé** suffisamment large autour des vitrines.
- Assurer un excellent **système de sûreté** pour éviter l'effraction et l'exposition.
- **Surveiller** régulièrement le taux de **radon** à l'intérieur des vitrines. En cas de besoin, réviser la **ventilation** ou l'**étanchéité** des vitrines.
- **Informers les personnels** de médiation, surveillance et nettoyage des risques associés.
- **Ne pas inclure** ces vitrines dans les parcours de **visite guidée**.

• Protocole d'installation (cf Norquest *et.al*, 2015)

Étape	Description
1. Anticipation de la disposition	Réaliser une maquette à taille réelle sur des tables protégées. Les objets radioactifs sont manipulés par du personnel formé équipé d'un dosimètre , réduisant ainsi l'exposition lors de la véritable installation.
2. Installation des objets	Installer les objets en vitrine en l'absence de tout personnel non essentiel . Placer des appareils de mesure du radon si nécessaire.
3. Fermeture et contrôle des vitrines	Fermer la vitrine et tester les taux d'exposition à la surface extérieure de la vitrine et à une dizaine de centimètres .
4. Vérification après désinstallation	Vérifier les contaminations résiduelles .

• Information des personnels et des visiteurs

- **Panneau avec trisecteur indiquant la radioactivité** : certains musées placent un **cartel informatif** sur la radioactivité.
- **Gestion sans panneau visible** : si aucun panneau n'est affiché, des **pictogrammes discrets**, visibles uniquement par le personnel, doivent être placés **sur les objets**, vitrines et serrures pour éviter toute exposition accidentelle.
- **Information à l'accueil** : informer les visiteurs à leur arrivée de la présence de radioactivité et des consignes de sécurité, incluant les distances à respecter.

Protocole indicatif de prise de vue

Fiche 4

Cette fiche présente un protocole de prise de vue tel que proposé par le Smithsonian National Air and Space Museum (Norquest et.al., 2015)

Étape	Description
1. Préparation du chariot	Recouvrir le chariot d'une couche de protection (papier Benchkote).
2. Manipulation de l'objet	Déposer l'objet avec des gants jetables , puis les jeter .
3. Prises de vue	Placer le chariot devant le fond photo, tourner pour photographier sans toucher l'objet .
4. Rangement de l'objet	Remettre des gants pour ranger l'objet, jeter les gants et le matériau de protection.
5. Mesures et décontamination	Mesurer les radiations sur le chariot et décontaminer si nécessaire.

Cette fiche répertorie les noms et contacts de musées français étant ou ayant été confrontés à la problématique des objets radioactifs, pouvant servir d'inspiration ou d'éventuels conseils. Cette liste n'est évidemment pas exhaustive.

- **Musée des Beaux-Arts et d'Archéologie Joseph-Déchelette**

Roanne (42)

Site internet : <https://www.museederoanne.fr/musee-des-beaux-arts-et-darcheologie-joseph-dechelette-site-officiel-2017.html>

- **Collection des minéraux de Sorbonne Université**

Paris (75005)

Site internet : <http://www.collection-mineraux.upmc.fr/fr/index.html>

Contact : Noémy Mollaret (Conseillère en Radioprotection – Technicienne de Conservation)

E-mail : noemy.mollaret@sorbonne-universite.fr

- **Musée Curie (Institut Curie)**

Paris (75005)

Site internet : <https://musee.curie.fr>

- **Musée des arts et métiers**

Paris (75003)

Site internet : <https://www.arts-et-metiers.net>

Protocole en cas de contamination radioactive

Fiche 6

Cette fiche reprend le protocole proposé dans son mémoire par Thomas Beaufils (Beaufils, 2021) des premiers réflexes à avoir en cas de contamination radioactive.

- **Identification de la contamination**

- **Identifier** rapidement si la contamination est **externe** (sur la peau) ou **interne** (par ingestion, inhalation ou blessure).

a. contamination externe

Matériel nécessaire : eau, savon, papier absorbant, brosse souple.

- **Laver** immédiatement la zone contaminée avec de l'eau et du savon doux.
- Si nécessaire, utiliser une brosse souple pour **éliminer les particules, sans frotter trop fort** pour éviter de créer une lésion.
- **Sécher** délicatement avec du papier absorbant.

b. contamination interne

- **Contacter immédiatement un médecin** pour une prise en charge d'urgence.
- **Administrer**, selon les directives médicales, des médicaments spécifiques :
 - **Iode stable** (protection contre l'iode radioactif).
 - **DTPA** ou acide diéthylène triamine penta acétique (pour les actinides).
 - **Bleu de prusse** ou ferrocyanure de potassium (contre le césium ou le thallium).

- **Mesures complémentaires**

- **Signaler l'accident** : informer les responsables de sécurité et mettre en place un périmètre pour limiter l'exposition des autres.
- **Évaluer la contamination** : utiliser des instruments de mesure pour confirmer que la zone affectée est décontaminée.
- **Documenter** l'incident et les mesures prises.