



La **désinsectisation** (ou désinfestation) consiste à **éradiquer les insectes nuisibles** présents dans des collections patrimoniales afin d'**arrêter leur processus de dégradation** de la matière et d'**éviter leur propagation** dans un espace abritant d'autres biens culturels. Ce traitement se distingue de la **décontamination** qui s'applique plutôt aux **microorganismes**.

Différentes méthodes peuvent être envisagées après étude de la situation.

Critères de choix

Outre l'efficacité, la sélection d'une méthode de désinsectisation repose sur différents critères à évaluer, à apprécier et à comparer entre eux, parmi lesquels :

- la **sensibilité des matériaux** constitutifs des objets patrimoniaux ;
- le **nombre** et la **volumétrie des collections** à traiter ;
- les **contraintes logistiques et techniques** du lieu de conservation des biens culturels (localisation et accessibilité des collections à traiter, configuration des locaux, installations électriques aux normes, etc.) ;
- le **calendrier** (durée de traitement au regard de l'échéance fixée) ;
- le **budget** disponible ;
- ou encore la **réglementation** en vigueur.

Par ailleurs, des habitudes nationales peuvent être notées : alors que les anglo-saxons privilégient les traitements par le froid ou par la chaleur, la France et l'Espagne ont tendance à recourir à l'anoxie.

Comparaison de méthodes de désinsectisation

Le tableau en pages suivantes propose de comparer les méthodes les plus couramment utilisées dans le domaine patrimonial, à savoir :

- des traitements par **atmosphère modifiée** (anoxie) ;
- des traitements physiques par **modification de température** (froid, chaleur) ;
- des traitements physiques par **ondes électromagnétiques** (rayons gamma) ;
- et des traitements **chimiques** (fumigation ou application localisée de composés liquides ou en gel).

Prudence post-désinsectisation

Quelle que soit la méthode employée, les collections traitées devront être redéployées dans un **espace sain** afin d'éviter d'être réinfestées de nouveau.

Par ailleurs, à la suite d'une désinsectisation, des interventions de **consolidation** peuvent être à prévoir car une partie de la matière constitutive du bien culturel a été consommée par les insectes : il peut donc être **fragilisé**.

Une désinsectisation, action lourde à mettre en place et pouvant avoir des effets sur les objets, ne doit s'envisager qu'en cas d'**infestation avérée**. Il est donc préférable de favoriser les **dispositifs et procédures de prévention** dans le cadre d'une stratégie globale de lutte contre les ravageurs du patrimoine (dite « **IPM** »).

Rédacteur et crédits
photographiques :
Jocelyn Périllat-Mercerot
Relecteurs :
M. Courselaud,
T.-Ph. NGuyen (SIAF),
J. Rémy
C2RMF, 2022

Conservation préventive

	Traitement par anoxie statique	Traitement par anoxie dynamique	Traitement par le froid (congélation)	Traitement par la chaleur	Traitement par radiation gamma	Traitement par fumigation	Traitement par produits insecticides liquides ou en gel
Mécanisme de désinsectisation	<ul style="list-style-type: none"> ■ appauvrissement en oxygène, obligeant les insectes à ouvrir largement leurs stigmates respiratoires sur l'abdomen) pour capter l'oxygène résiduel ■ mort des insectes à la fois par déshydratation (vapeur d'eau s'échappant des stigmates largement ouverts) et par asphyxie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ appauvrissement en oxygène, obligeant les insectes à ouvrir largement leurs stigmates (orifices respiratoires sur l'abdomen) pour capter l'oxygène résiduel ■ mort des insectes à la fois par déshydratation (vapeur d'eau s'échappant des stigmates largement ouverts) et par asphyxie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ transformation de l'eau liquide contenue dans le corps des insectes (90% d'eau) en glace qui s'expand ■ mort des insectes causée par des troubles métaboliques, la glace bloquant le transport de l'oxygène et des éléments énergétiques vers les cellules et le corps de l'insecte devient contraint par son exosquelette (10% de volume supplémentaire pris par la glace) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ évaporation de l'eau contenue dans le corps des insectes (90% d'eau) ■ mort des insectes par assèchement et perturbation du métabolisme (destruction des cellules) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ forte pénétration dans la matière des rayons gamma (rayons ionisants) ■ mort des insectes par irradiation des cellules Précision : la dose énergétique demeurant faible, elle n'entraîne aucun réchauffement de l'environnement et aucune modification de la matière (inocuité du traitement pour les objets). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ emploi de produits biocides (fluorure de sulfuryle, pyréthrinoides, CO₂, éventuellement oxyde d'éthylène), sous forme d'un gaz « fumigant »* ■ mort des insectes par intoxication Attention : ces produits peuvent présenter un risque sanitaire pour l'homme lors de leur mise en œuvre ou en cas de rémanence de résidus déposés sur les objets traités. Leur usage est réglementé.** 	<ul style="list-style-type: none"> ■ emploi de substances actives insecticides (perméthrine), sous la forme liquide (insecticide en solvant) ou émulsion (pâteuse) ■ mort des insectes par intoxication Attention : ces produits peuvent présenter un risque sanitaire pour l'homme lors de leur mise en œuvre ou en cas de rémanence de résidus déposés sur les objets traités. Leur usage est réglementé.**
Objets à exclure du traitement	<ul style="list-style-type: none"> ■ objets volumineux (> 1 m³) ■ objets inamovibles (biens immeubles) ■ certains pigments qui pâlisent (comme le bleu et le vert de Prusse) → cas rarement observé et généralement temporaire (retour à la couleur originale après traitement) ■ métaux, polychromie, dorure et œuvres avec soulèvements car important dégagement de chaleur et d'humidité par certains absorbours d'oxygène 	<ul style="list-style-type: none"> ■ objets inamovibles (biens immeubles) ■ certains pigments qui pâlisent (comme le bleu et le vert de Prusse) → cas rarement observé et généralement temporaire (retour à la couleur originale après traitement) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ verre (perles) ■ surfaces stratifiées (vernies, peintes) : ■ peintures sur toile à base d'huile de lin ou d'acrylique, bois polychromes et dorés (expérimentation à poursuivre) ■ marqueterie ■ matériaux collagéniques (peaux et cuirs, ivoires) ■ objets en cire ■ certaines photographies (dégérotypes, ambrotypes, négatifs sur verre au collodion, ferrotypes) ■ caoutchouc ■ polymères synthétiques (vinyles souples) ■ objets restaurés (résines ou colles devenant cassantes) ■ graines (supprime les capacités germinatives) Attention : la répétition de congélations peut dégrader des objets pouvant supporter le traitement (ex : perte de résistance pour des textiles anciens après des dizaines de congélations). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ objets vernis ■ matériaux collagéniques (peaux et cuirs dégradés, ivoires, biens contenant des corps gras en grande quantité) ■ matériaux à bas point de fusion (cire) ■ objets assemblés par collage ■ objets restaurés (du fait de la présence des résines ou colles) Attention : si le respect du protocole nécessitant une humidification constante n'est pas appliqué, tous les objets hygroscopiques peuvent être ajoutés à cette liste (l'évaporation brutale de la vapeur d'eau entraînant des déformations ou la migration en surface de résidus). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ objets transparents : ■ minéraux, verre, matériaux synthétiques (phénomène d'opacification) ■ objets aux tons clairs et translucide : ivoire, os, corne, nacre, émail blanc, porcelaine, céramique blanche, marbre ■ objets assemblés par collage (jaunissement perceptible pour des doses supérieures à 2.000 Gy, sauf en cas d'objets déjà partiellement oxydés) Précision : la chaîne moléculaire de la cellulose (papier) est susceptible d'être coupée à une dose supérieure à 5.000 Gy, mais aucune dégradation macroscopique ne sera perceptible à moins de 10.000 Gy. Les doses mises en jeu ne dégradent pas l'ADN (mummies). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ objets ayant subi des traitements antérieurs à base de produits halogénés (modification de la maille et de la couleur) ■ métaux (noircissement) ■ liants, pigments Attention : ce traitement est envisageable pour une infestation avérée de grande ampleur - à l'échelle d'une ou de plusieurs salles(s) - mais s'avère inadaptable pour une infestation limitée à quelques objets. Attention : le pouvoir oxydant de l'oxyde d'éthylène empêche toute analyse de l'ADN d'un objet traité (mummies). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L'inocuité chimique des produits insecticides, liquides ou gels, n'est pas nécessairement avérée : l'apparition de blanchiment en surface peut être observée quand le produit a été absorbé et séché. ■ Seuls les bois bruts *** peuvent bénéficier de ce type de traitement (généralement pour des pièces encastrees ou non démontables ou difficilement déplaçables), excluant tout autre matériau, à savoir : <ul style="list-style-type: none"> ■ métaux (noircissement) ■ céramique ■ textile, toile ■ vernis, résines, liants, pigments, polychromie ■ cire ■ documents, livres, herbiers ■ spécimens naturalisés ■ etc.

Conservation preventive

	Traitement par anoxie statique	Traitement par anoxie dynamique	Traitement par le froid (congélation)	Traitement par la chaleur	Traitement par radiation gamma	Traitement par fumigation	Traitement par produits insecticides liquides ou en gel
Localisation du traitement	<ul style="list-style-type: none"> en enceinte étanche (souple ou fixe) <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i> (induisant un risque pour la manipulation d'objets fragilisés ou impossible pour des objets inamovibles) 	<ul style="list-style-type: none"> en enceinte étanche (souple ou fixe) <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i> (induisant un risque pour la manipulation d'objets fragilisés ou impossible pour des objets inamovibles) 	<ul style="list-style-type: none"> en congélateur ou en enceinte frigorifique <i>in situ</i> ou <i>ex situ</i> (induisant un risque pour la manipulation d'objets fragilisés ou impossible pour des objets inamovibles) 	<ul style="list-style-type: none"> en étuve <i>ex situ</i> (induisant un risque pour la manipulation d'objets fragilisés ou impossible pour des objets inamovibles) 	<ul style="list-style-type: none"> en cellule d'irradiation <i>ex situ</i> (induisant un risque pour la manipulation d'objets fragilisés ou impossible pour des objets inamovibles) 	<ul style="list-style-type: none"> en espace clos étanche <i>in situ</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>in situ</i> ou en atelier de restauration
Opérateur	<ul style="list-style-type: none"> par un personnel formé par un prestataire spécialisé 	<ul style="list-style-type: none"> par un personnel formé par un prestataire spécialisé 	<ul style="list-style-type: none"> par un personnel formé par un prestataire spécialisé 	<ul style="list-style-type: none"> par un prestataire spécialisé 	<ul style="list-style-type: none"> par un prestataire spécialisé 	<ul style="list-style-type: none"> par un prestataire spécialisé 	<ul style="list-style-type: none"> par un conservateur-restaurateur du patrimoine, spécialisé uniquement, détenteur du certificat **
Température de traitement conseillée	22°C minimum, idéalement entre 22°C et 25°C	22°C minimum, idéalement entre 22°C et 25°C	-25°C (jusqu'à -30°C)	entre 50°C et 55°C (température de surface maximale de 58°C)	température ambiante (environ 20°C)	température ambiante (environ 20°C) Dans le cas du traitement à l'oxyde d'éthylène, il est recommandé d'atteindre 23°C (25°C maximum) pour gagner en efficacité et écourter l'intervention.	température ambiante (environ 20°C)
Humidité relative (HR) pendant le traitement	hausse importante de l'HR provoquée par l'activité des absorbeurs d'oxygène, ne pouvant pas être maîtrisée (sauf en ajoutant préalablement, à l'intérieur, des matériaux tampons)	fluctuations d'HR pouvant être finement régulée en introduisant le gaz inerte sec soit directement, soit en l'humidifiant (« barbotage »)		humidité relative constante pendant la hausse de température (pour éviter l'assèchement des objets)			humidité relative médiane ; éviter en milieu trop humide pour les gels car ils réagissent avec l'eau (pour la même raison, éviter de l'appliquer sur un matériau trop humide)
Temps de traitement requis	21 jours	21 jours	3 à 7 jours, à -25°C minimum, pour s'assurer de la mort de tous les stades des insectes muséophages (en fonction de facteurs perturbateurs, comme le taux de remplissage du congélateur)	3 heures de traitement (24 à 48 heures d'opération en tout si l'on intègre l'installation des pièces, la montée et la descente en température)	de 1 à 10 heures, souvent 4 heures (selon la dose délivrée et selon l'installation du prestataire)	de quelques heures à plusieurs jours selon la nature du gaz	quelques heures (temps d'application et de séchage)

Conservation preventive

Autres facteurs requis ou jouant sur la réussite du traitement	Traitement par anoxie statique	Traitement par anoxie dynamique	Traitement par le froid (congélation)	Traitement par la chaleur	Traitement par radiation gamma	Traitement par fumigation	Traitement par produits insecticides liquides ou en gel
	faible taux d'oxygène (inférieur à 1 000 ppm, soit 0,1%) obtenu grâce à des absorbants d'oxygène	faible taux d'oxygène (inférieur à 1 000 ppm, soit 0,1%) obtenu grâce à l'emploi d'un gaz inerte (azote, argon) conditionné en bouteilles sous pression ou généré <i>in situ</i> (à l'aide d'un système intégrant un tamis moléculaire) ****			dose de rayonnements délivrés (de 500 Gy minimum contre les insectes jusqu'à 10.000 Gy contre les microorganismes, la dose devant être adaptée selon l'espèce ciblée, la densité des objets et la zone d'exposition des objets afin d'éviter un risque de surdosage)	nature et propriétés du fumigant	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nature de l'insecticide : l'insecticide en gel est plus pénétrant (entrant jusqu'à 2 ou 3 cm maximum dans le matériau) qu'un insecticide liquide (le solvant pétrolier étant plus léger) ▪ propriétés de l'insecticide : la rémance des gels est estimée entre 2 et 5 ans, dépendant du protocole d'application, de la pénétration des substances actives et du milieu de conservation (rémance réduite dans un milieu peu étanche et très perturbé par l'environnement extérieur) ▪ mode d'application : l'injection a une efficacité limitée car la seringue pourrait ne faire que mouiller le trou d'envol, tandis que le bouchon de vermoulure empêcherait une circulation en profondeur, auquel cas les larves au cœur du matériau ne seraient pas touchées (elles ne se situent pas dans les galeries existantes, mais elles forment de nouvelles galeries en grignotant le bois pour trouver de l'amidon, des sucres et de l'eau)

Conservation préventive

	Traitement par anoxie statique	Traitement par anoxie dynamique	Traitement par le froid (congélation)	Traitement par la chaleur	Traitement par radiation gamma	Traitement par fumigation	Traitement par produits insecticides liquides ou en gel
Étapes principales du traitement	<ul style="list-style-type: none"> concevoir la poche pare-vapeur placer les objets infestés placer des bacs de gel de silice placer les absorbeurs d'oxygène fermer hermétiquement la poche augmenter la température de la salle entre 22°C et 25°C contrôler la phase d'inertage contrôler la phase de traitement 	<ul style="list-style-type: none"> concevoir la poche pare-vapeur placer l'équipement d'injection de gaz inerte placer les objets infestés fermer hermétiquement la poche augmenter la température de la salle entre 22°C et 25°C injecter le gaz inerte contrôler la phase d'inertage contrôler la phase de traitement 	<ul style="list-style-type: none"> placer les objets à température ambiante en amont retirer un maximum d'éléments de calage et de rembourrage, dérouler l'objet envelopper les objets dans du papier de soie et les insérer dans une poche de polyéthylène de laquelle on aura extrait le maximum d'air avant de la fermer hermétiquement (limitant ainsi la condensation, absorbée si elle se manifeste par le papier de soie) placer en congélateur déjà froid, réglé entre -25°C et -30°C s'assurer d'un abaissement rapide de la température pour éviter aux insectes de rentrer en diapause obtenir 0°C à cœur de l'objet en moins de 4 heures 	<ul style="list-style-type: none"> élévation très lente de la température à cœur des objets jusqu'à atteindre 52°C (environ 5 à 6 heures) en parallèle, maintien du taux d'humidité constant à l'aide d'humidificateurs (entre 50-60%) 	<p>Concernant ces quatre traitements qui sont réalisés obligatoirement par un prestataire spécialisé, les indications suivantes sont fournies à titre informatif : elles constituent des éléments de compréhension et ne sont pas exhaustives car le déroulement des opérations est variable selon le prestataire et son installation.</p> <ul style="list-style-type: none"> définition de la dose létale en concertation avec le prestataire conditionnement des collections à traiter sur palette selon un protocole convenu avec le prestataire pour favoriser et homogénéiser la pénétration des rayons traitement en cellule d'irradiation par exposition aux sources radioactives 	<ul style="list-style-type: none"> sécurisation et mise en conformité (périmètre de sécurité, évacuation, prestataire habilité, signalisation du traitement en cours) préparation de l'espace à traiter (mise en échafaudage, arrêt de la ventilation, maintien du chauffage) préparation de l'opérateur (équipement de protection individuelle) préparation et activation de la source de gaz 	<ul style="list-style-type: none"> préparation de l'opérateur (équipement de protection individuelle) diagnostic, essais préalables sur le bien culturel à traiter dépoussiérage / bichonnage de la surface à traiter application par badigeonnage au pinceau au revers, sur les parties non polychromées du bois injections complémentaires en profondeur pour les sections épaisses Attention : la pulvérisation à basse pression ne peut s'envisager que dans le cadre de traitement du bâti (charpentes, poutres, planchers, etc.).
Étapes post-traitement, avant de récupérer les objets traités	<ul style="list-style-type: none"> baissier la température de la salle aux environs de 20°C contrôler une hygrométrie de la salle aux environs de 50% d'HR ouvrir la poche (phase de rinçage) 	<ul style="list-style-type: none"> baissier la température de la salle aux environs de 20°C contrôler une hygrométrie de la salle aux environs de 50% d'HR procéder à quelques fentes dans la poche, mais ne pas ouvrir intégralement pour des raisons de sécurité (phase de rinçage progressive) ouvrir la poche intégralement après plusieurs heures 	<ul style="list-style-type: none"> ne pas ouvrir le congélateur aussitôt (pour éviter la condensation) assurer un rythme lent de dégel, en augmentant lentement la température jusqu'à 0°C pendant 8 heures (en plaçant l'objet ensaché dans un réfrigérateur ou en débranchant le congélateur) attendre 2 jours pour ouvrir le congélateur ; ce temps peut être réduit pour les petits objets s'ils sont enfermés dans le sachet avec du gel de silice ou si un second sachet hermétique contient l'objet lui-même déjà enveloppé dans du papier de soie et un sachet étanche. une fois le congélateur ouvert, attendre la disparition des éventuelles gouttelettes de condensation à la surface du plastique, puis ouvrir le sachet pour libérer l'objet 	<ul style="list-style-type: none"> diminution lente de la température jusqu'à 20°C (environ 5 à 6 heures) en parallèle, maintien du taux d'hygrométrie stable (entre 50-60%) 	<ul style="list-style-type: none"> extraction des objets de la cellule d'irradiation manipulation directe des objets possible (absence de rémanence car aucune radioactivité et aucun produit chimique) Précision : si cette opération a également des visées fongicides, outre une augmentation de la dose létale, il est nécessaire de dépoussiérer (avec filtre HEPA si le traitement était fongicide), une avant le conditionnement des collections et une après le traitement. 	<ul style="list-style-type: none"> élimination du gaz par simple aération réactivation de la ventilation nettoyage des espaces (jeter les sources de gaz, aspirer les cadavres d'insectes) dépoussiérage des collections 	<ul style="list-style-type: none"> traitement post-séchage contrôle des résidus Précision : la rémanence des produits insecticides sur plusieurs années incite à l'utilisation de gants pour la manipulation.

Notes de fin de document

* « Fumigants » et « Fumigènes »

Il ne faut pas confondre les « fumigants » (gaz) avec les « fumigènes » qui sont des particules solides imprégnées d'insecticide. Ces derniers sont parfois utilisés abusivement par les prestataires pour une fumigation : ces particules solides, en se dispersant, laisseront des résidus poudreux dans les espaces et sur les collections.

** Réglementation Certibiocide pour le recours aux produits biocides

La réglementation de l'Union européenne REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), relative à l'utilisation des insecticides, est entrée en vigueur le 1er juin 2007 pour mieux protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques liés aux substances chimiques, sans impacter la compétitivité de l'industrie chimique de l'UE. Cette réglementation a interdit la fabrication et la distribution auprès de professionnels des produits à base de solvants pétroliers, désormais retirés des catalogues professionnels.

Par ailleurs, depuis l'arrêté du 09 octobre 2013 (entré en vigueur le 1er juillet 2015), la réglementation française impose d'être détenteur du certibiocide (« certificat à l'utilisation professionnel et la distribution de certains types de produits biocides destinés exclusivement aux professionnels ») pour employer, vendre ou acheter certains types de produits biocides destinés au domaine professionnel. Ce certificat individuel s'obtient au terme d'une formation spécifique délivrée dans un centre de formation habilité à cet effet et enregistré auprès du ministère chargé de l'environnement.

► Références en ligne (consultée le 21/10/2022) :

- <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000028214219&categorieLien=id> ;
- <https://www.ecologie.gouv.fr/produits-biocides>

*** Programme d'étude des gels insecticides

Considérant les avantages des gels insecticides (grande pénétration dans le bois, faible toxicité, facilité d'emploi, faible coût), le CIRCP a mené un programme d'étude entre 2013 et 2022 pour évaluer la possibilité d'étendre leur domaine d'application aux bois enduits (vernis, cire, peintures) : châssis et cadres de peintures, objets ethnographiques et composites, encadrement de céramiques, etc. Dans ce cadre, le CIRCP compare plusieurs formulations d'insecticides pour évaluer leur pénétration dans le bois enduit ou non et les effets induits sur le matériau même ou sur ceux en contact (dommages, modifications de l'aspect).

Les résultats de cette étude n'ont pas été publiés au moment de la rédaction de cette fiche.

**** Dérogation accordée à la France pour l'emploi d'azote généré *in situ*

Une décision d'exécution de la commission européenne autorise la France à recourir à l'azote généré *in situ* à des fins insecticides pour la protection du patrimoine culturel (Bruxelles, 15/07/2020, C[2020] 4715 - art. 1). Cette dérogation fait suite à la législation européenne (règlement UE 528/2012) interdisant l'emploi d'azote auto-généré : si les bouteilles d'azote étaient toujours autorisées pour la réalisation d'anoxie dynamique contre les insectes muséophages, cette dernière ne pouvait plus dès lors s'effectuer avec un générateur d'azote.

Cette dérogation est cependant accordée temporairement : valable jusqu'au 31 décembre 2024, elle devra alors être réévaluée.

► Référence en ligne (consultée le 21/10/2022) :

- <https://www.icom-musees.fr/actualites/utilisation-des-generateurs-de-nitrogene-pour-les-anoxies>