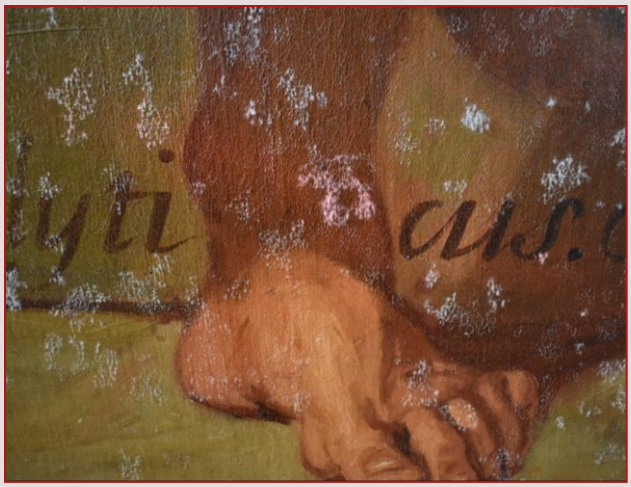
Stratégie et méthodologie analytique pour l'identification des insectes et des moisissures, nuisibles du patrimoine

Version intégrale de l'article publié dans la revue *Musées et collections publiques*, n°307, AGGCPF, 2026

Faisl BOUSTA (LRMH),
Marie COURSELAUD (C2RMF),
Fabien FOHRER (CICRP),
Jocelyn PÉRILLAT-MERCEROT (C2RMF)
Juillet 2026

Le développement des politiques d'acquisition des années 1960 et l'intensification des prêts entre établissements patrimoniaux à l'échelle internationale dans les 1990, associés à l'absence jusque dans les années 2010 d'une stratégie de gestion des infestations (aujourd'hui connue sous le nom d'*Integrated Pest Management* IPM), ont accéléré les infestations et les contaminations fongiques dans les institutions culturelles en Europe. Même si les micro-organismes participent au recyclage des composés organiques (processus dénommé « biodégradation bénéfique »[1]), infestations et contaminations sont des agents nuisibles[2] des biens culturels.



Développement de micro-organismes sur une surface peinte © LRMH / Faisl Bousta

L'émergence de nouvelles espèces, jusqu'alors inconnues dans certaines aires géographiques, est constatée dès les années 1960 par l'entomologiste britannique David Pinniger pour de nombreux musées et demeures historiques du Royaume-Uni[3]. *Attagenus smirnovi* et *Anthrenocerus australis* sont ainsi deux espèces introduites en France et en Europe très récemment. La « vrillette basque » (*Calymmaderus solidus*), semble plus résistante que les grosses et petites vrillettes (respectivement *Xestobium rufovillosum* et *Anobium punctatum*), bien représentée au Portugal, se retrouve depuis de nombreuses années dans la région des Landes, mais a été probablement peu identifiée jusqu'alors ou confondue avec d'autres espèces, pouvant expliquer un sentiment d'apparition sur le territoire depuis ces dernières années.

Face à cet accroissement et cette révision de la répartition des espèces, les institutions conservant des biens culturels sont confrontées à de nouveaux défis, les incitant aussi bien à actualiser leurs connaissances grâce à la tenue de colloques annuels[4] qu'à se rapprocher de professionnels de la conservation pour les accompagner dans leur lutte contre les nuisibles du patrimoine. Aujourd'hui, la stricte démarche d'éradication est de plus en plus écartée pour des raisons environnementales, s'orientant vers la recherche d'un équilibre qui ne compromette pas l'intégrité des collections : autant que possible la surveillance et l'évaluation prennent le pas sur les traitements systématiques. La lutte contre les nuisibles du patrimoine s'appuie sur une compréhension de la menace représentée par les nuisibles et les microorganismes pour mieux sélectionner les actions à entreprendre : des méthodes d'analyses scientifiques, des plus simples et accessibles aux plus sophistiquées, répondent à ces enjeux de connaissance.

1. ROUEBERT Marie-France, *Les contaminants biologiques des biens culturels*, Elsevier, Paris, 2002
2. BOUSTA Faisl, *Micro-organismes, Préserver & transmettre le patrimoine matériel*, SFIIC, 2025
3. PINNIGER David, *Past, present and future: changes in status and distribution of museum insect pests*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Vienne, 2013 ; PINNIGER David, *New pests and future problems*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, 2025
4. https://museumpests.net/conferences/

1/ De l'intérêt des analyses pour l'identification des ravageurs

Une réponse adaptée à un problème spécifique implique une juste analyse de la situation et des risques qu'elle comporte. L'approche méthodologique doit donc partir d'un objectif clairement formulé pour que les préconisations déduites soient opérationnelles et efficaces. Ainsi, le préalable à une étude des ravageurs du patrimoine repose sur une bonne définition des besoins qui doit être exprimée oralement auprès du spécialiste ou figurer dans le cahier des charges qui lui est destiné.

La question qui conditionne l'étude est la suivante : l'analyse doit-elle être quantitative pour dénombrer les unités et/ou qualitative pour identifier le ravageur (ordre, classe, souche, etc.) ? Selon l'orientation de l'analyse, les intérêts divergent.

- L'analyse quantitative permet de définir les axes d'action à mener en priorité en fonction de l'ampleur de l'invasion, de la rapidité de propagation des ravageurs considérés, des lieux les plus atteints et des collections les plus vulnérables qui s'y trouvent. En outre, elle permet d'apprécier l'efficacité des actions de mitigation qui ont été engagées.
- Quant à l'analyse qualitative, elle peut s'avérer pertinente pour déterminer si la souche microbiologique est pathogène ou non et constituer une menace pour les personnels (au-delà des collections). Concernant les insectes, elle aide à appréhender la nature de la menace – si elle existe – pour distinguer l'insecte muséophage d'un insecte « de passage » inoffensif pour les collections : si ce dernier ne nuit pas aux biens culturels, il est en revanche significatif quant à d'autres problèmes de conservation éventuels, telle l'étanchéité du bâtiment ou encore l'existence de pigeons dans les bâtiments engendrant la présence de mouches hématophages Hippoboscidae. L'identification précise du ravageur n'est pas forcément utile pour choisir le mode de traitement qui est généralement à spectre large et est retenu plutôt au regard de la sensibilité des matériaux constitutifs des collections : la désinsectisation physique (chaleur, congélation, anoxie) est adaptée à l'ensemble des insectes, une décontamination par alcool convient contre l'essentiel des souches (éthanol à 70 %, nitrate d'éconazole). Néanmoins, la tendance peut être amenée à changer du fait du dérèglement climatique, les espèces pouvant développer plus de résistances telle la vrillette basque qui tolère mieux les paramètres actuellement acceptés pour l'anoxie ou tels certains poissons d'argent qui n'ont pas les mêmes conditions de développement (le *Lepisma saccharina* « lépisme » préfère les environnements humides alors que le *Ctenolepisma longicaudatum* « lépisme gris » peut se trouver en ambiance plus sèche ou le *Thermobia domestica* « thermobie » requiert des températures plus importantes[5]). Pour l'anoxie par exemple, les nouvelles données scientifiques indiquent que le choix de la température à appliquer lors du traitement est dépendant de l'insecte cible et donc de sa résistance : en fonction de l'insecte identifié, on devrait appliquer une température de 20°C, 24°C ou 27°C[6].



Mise en alcool d'un poisson d'argent collecté
© C2RMF / Jocelyn Périllat-Mercerot

5. HASSLER Doris, QUERNER Pascal, *Do you also have the grey Silverfish (Ctenolepisma longicaudata)? Distribution and first damage to objects in museums in Austria* ;
KNOOP Loes, *There is more to the Zygentoma* ;
PINNIGER David, MANN Darren, *A new silverfish threat in the UK and Europe, Ctenolepisma longicaudata, the brown silverfish*,
international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Paris, 2016
6. ADLER Cornel, FRAUENDORF Harro, LANDSBERGER Bill, PLARRE Rudy, *Capability and limitation of anoxic treatments in museum collections protection*, Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSPP), Berlin, 2018

2/ La nécessité d'une préparation rigoureuse de l'analyse

Une fois l'analyse jugée pertinente, il est indispensable de bien la préparer pour rendre exploitables les résultats qui en seront issus. Une véritable stratégie d'investigation doit s'établir car il est impossible d'étudier tous les espaces de façon exhaustive[7].

Tout d'abord, il convient de réunir la documentation passée, si elle existe (études d'infestation ou de contamination, études climatiques). La consultation des diagnostics précédents permet de comparer l'évolution de l'invasion. Une cartographie d'action peut ensuite s'établir afin de prioriser les zones à investiguer, en fonction de différents facteurs[8] : celles déjà impactées par le passé, celles abritant les collections les plus vulnérables, celles disposant de conditions environnementales propices à une invasion (température et humidité relative importantes, faible brassage d'air, fort empoussièrement, entretien irrégulier des filtres et des surfaces), ou encore celles présentant une forte densité de collections.



Étude et prélèvement par bande adhésive de micro-organismes se développant sur du mobilier en bois
© LRMH / Faisl Bousta

Outre la considération des espaces, la temporalité de l'étude constitue le second paramètre crucial à intégrer pour produire une analyse juste. Les délais ne seront pas les mêmes pour une analyse qualitative que pour une analyse quantitative. Dans le premier cas, un seul spécimen peut permettre d'obtenir la réponse escomptée, si bien que l'étude peut être instantanée, soit sur place avec un compte-fils, soit en laboratoire à l'aide d'un microscope. Dans le second cas, un dénombrement par type implique un « enregistrement » sur plusieurs semaines ou mois (saison après saison) et un équipement de collecte plus conséquent (multiplication des pièges ou des prélèvements en plusieurs zones par exemple). De plus, le moment de l'étude peut impacter les résultats du diagnostic : en automne ou en hiver, les réponses seront moins significatives qu'au printemps ou à l'été, périodes plus chaudes et donc favorables au développement des ravageurs du patrimoine.

Par ailleurs, l'anticipation passe aussi par garantir la sécurité des personnes et des biens culturels. Dans le cas d'une contamination, l'analyse doit prévoir le port d'un équipement de protection individuel (gants, masque FFP3, blouse jetable), pouvant être associée à des mesures de protection collective tel l'isolement de l'espace ou des biens concernés. L'analyse peut aussi induire un risque pour les collections si elle est invasive par la nécessité de prélèvements ou si l'opérateur n'est pas sensibilisé à la fragilité des biens culturels (risque d'écrasement, de choc ou de déchirures).

En tout état de cause, les moyens budgétaires et humains de l'établissement déterminent les possibilités de procéder à des analyses ponctuelles ou sur la durée, en interne – de fait plus modestes – ou par un prestataire spécialisé.

7. Le site MuseumPests suggère une stratégie et des outils pour la veille sanitaire [https://museumpests.net/monitoring-introduction/] .
8. PÉRILLAT-MERCEROT Jocelyn, *Grille d'inspection dédiée aux infestations*, C2RMF, 2021 [https://c2rmf.fr/media/document/grille-dinspection-insectespdf]

3/ Des techniques analytiques éprouvées pour la détection et l'identification des infestations

L'analyse des infestations peut s'établir en deux temps, en interne pour un suivi en continu et par une mission externalisée pour une étude plus fine.

En interne, l'analyse quantitative et qualitative repose sur une inspection rigoureuse et régulière. Elle s'appuie sur l'observation des espaces (spécimens vivants, cadavres, exuvies, vermoulures[9]) et des dégradations subies par les collections (nature des matériaux attaqués, galeries, forme et dimensions des vermoulures et des trous d'envol, etc.). Les outils employés sont de natures différentes, qu'il s'agisse :

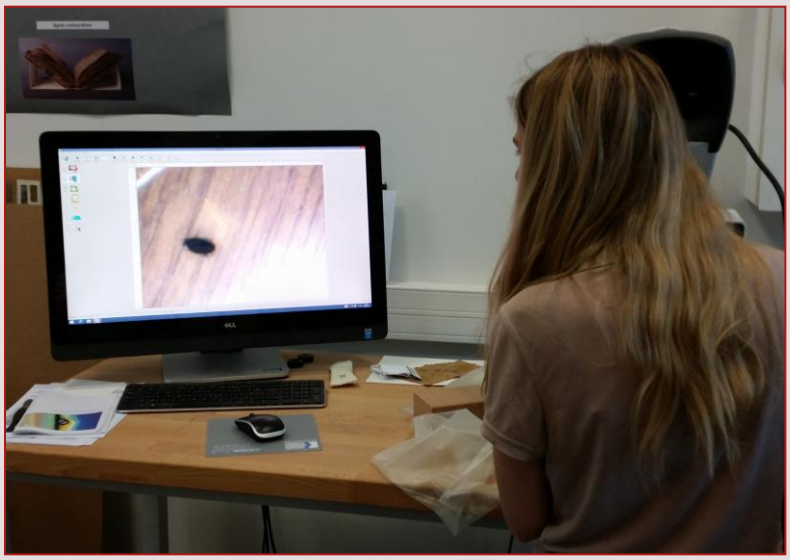
- de pièges pour favoriser l'identification et le comptage, à condition d'adopter le bon piège selon le spécimen ciblé (pièges à appât alimentaire pour les rampants, à phéromones pour les mites, lumineux pour les insectes ayant une phase volante dans leur cycle de développement) et de bien le positionner (recoins, zones obscures, sans être gênées par des souffles d'air intempestifs, etc.) et laissés assez longtemps pour établir un comparatif pertinent (aux saisons les plus propices), sinon un piège vide risquerait d'être mal interprété comme le témoin de l'absence d'insecte ;
- de grilles de relevés[10] ;
- d'affiches avec l'image des insectes muséophages[11] ;
- de référentiels d'insectes en format numérique (base de données pouvant être internationale[12], britannique[13] ou française[14]) ou conservés pour constituer une collection d'insectes (en fluide ou en boîte entomologique) ;
- ou de programmes informatiques pour analyser l'ensemble des données recueillies et éditer des rapports illustrés réguliers, tels *Airtable-IPM*[15] ou *ZPest Trackers*[16]. À défaut de disposer de ce type de programme, certaines structures constituent leur propre système de pondération avec un indice de bio-détérioration, calculé en fonction de valeurs attribuées à la présence de ravageurs et à celles relatives à l'état de préservation des objets, devant aider à quantifier la menace et à prioriser les actions à entreprendre salle par salle[17].

9. DURAND Aline, FOHRER Fabien, TORITI Magali, *L'analyse des vermoulures de bois : une aide à l'identification de quelques espèces d'insectes Ptinidae (Coleoptera)*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Paris, 2016
10. PÉRILLAT-MERCEROT Jocelyn, *Grille d'inspection dédiée aux infestations*, C2RMF, 2021 [https://c2rmf.fr/media/document/grille-dinspection-insectespdf]
11. *Insectes ravageurs – Demeures historiques et musées*, English Heritage, 2021 [https://www.english-heritage.org.uk/siteassets/home/learn/conservation/collections-advice--guidance/2021-eh-bugs-poster-french.pdf]
12. Base « MuseumPests.net » [https://museumpests.net/identification/]
13. PINNIGER David, THOMPSON WEBB Jane, *What is eating your collection?*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Paris, 2016
    Base « What's Eating Your Collection? » [https://www.whatseatingyourcollection.com/]
14. FOHRER Fabien, MARTINEZ Michel, MEUSNIER Isabelle, « Une base de données dédiée aux insectes nuisibles rencontrés dans les collections patrimoniales » in *La lettre de L'Ocim*, 174, 2017 ;
    Base « Insectes du patrimoine culturel » [https://journals.openedition.org/ocim/1871]
15. BRADY Meghan, GRANT Colleen, *Airtable as a Collaborative Tool for Integrated Pest Management in Cultural Heritage Institutions* ; KELLEY Patrick, *How to get the most out of the MuseumPests Airtable*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Paris, 2025
16. QUERNER Pascal, ZAK Leon, *Optimising data collection and documentation with the new Zpest Tracker for portable devices*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Paris, 2016
    Base « Zpest Tracker » [https://museumpests.net/zpest-tracker/]
17. QUITRAL Yerko, SILVA Leslie, *Estandarización Del Nivel De Biodeterioro Por Plaga Presente En Una Colección De Madera Mapuche*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, Paris, 2022

Certaines prestations menées par des spécialistes, exigeant des équipements idoines, peuvent compléter les observations et le suivi établis en interne, tout en aidant la communauté scientifique dans son ensemble pour étudier le déplacement des populations d'insectes sur les territoires ou l'évolution des spécimens. Les appareils employés peuvent servir à la détection des insectes, à l'instar des caméras endoscopiques pour inspecter les zones difficilement accessibles ou le système *ATAX*® (Analyse des Traces d'Activité Xylophage) développé par le laboratoire de Recherche et de restauration du musée de la Musique de Paris afin de repérer la présence active de larves d'insectes xylophages dans le bois par l'analyse des signaux sonores qu'elles émettent lors de la dégradation du bois[18]. D'autres équipements, quant à eux, sont destinés à identifier les spécimens. La constitution d'une boîte d'entomologie de référence avec les espèces les plus représentées des lieux patrimoniaux peut s'avérer très utile pour déterminer rapidement l'espèce qui aura été collectée. Cela peut aussi s'effectuer plus finement (identification taxonomique) à partir du prélèvement de l'ADN des insectes collectés[19] réalisé par des centres de séquençage (tels le Centre Canadien de Barcoding d'ADN ou la société française *GenoScreen*), ensuite comparé à une base de données[20]. Une autre méthode d'identification aux différents stades de développement repose sur la spectrométrie de masse MALDI-TOF MS, expérimentée par le CICRP en collaboration avec les universités de Marseille, directement sur les molécules protéiniques du corps des insectes retrouvés sans avoir à extraire leur ADN[21].

18. LOEPER-ATTIA Marie-Anne, *Maintenance et conservation-restauration sur des objets patrimoniaux avec une fonction d'usage : le cas particulier des instruments de musique*, Conservation restauration des biens culturels, 40, 2023 [https://hal.science/hal-04448577/document]
19. LANDSBERGER Bill, VON RINTELEN Thomas, *Genetic variability of Gray Silverfish Ctenolepisma longicaudata and Ghost Silverfish C. calva in infested collections worldwide (GEVAFISH)*, international IPM Conference in Museums, Archives, Libraries and Historic Buildings, 2021
20. Base de données internationale de *Boldsystems* [http://www.boldsystems.org/]
21. ALMERAS Lionel, BENAKHLA Ahmed, BÉRENGER Jean-Michel, FOHRER Fabien, HAMADOUCHE Dikra, PAROLA Philippe, ZAN DIARRA Adama, *Assessment of MALDI-TOF MS for the identification of cultural heritage insect pests*, International Biodeterioration & Biodegradation, 199, 2025 [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830525000037X]





Observation de vermoulure d'insectes xylophages à l'aide d'une lampe DinoLite® [haut] ; Observation du cadavre d'un insecte au microscope binoculaire numérique [bas]
© C2RMF / Jocelyn Périllat-Mercerot

4/ Des techniques analytiques éprouvées pour la détection et l'identification des moisissures

La présence de moisissures sur un support ne signifie pas nécessairement qu'un développement actif est en cours. Il peut s'agir d'une contamination ancienne, de spores déposées en surface ou d'un développement encore viable lié à des conditions environnementales favorables, notamment l'humidité et une ventilation insuffisante. C'est pour cette raison que la caractérisation microbiologique ne peut pas reposer sur un seul indicateur, mais sur le croisement de trois niveaux d'analyse complémentaires – la vérification, la quantification et l'identification – selon une démarche graduée qui évite de conclure trop rapidement à partir d'une simple observation visuelle ou de techniques simples.

La vérification permet de confirmer la présence d'un développement biologique potentiellement actif. Elle commence par une observation attentive du support et de son environnement, à l'œil nu. Plusieurs indices permettent d'orienter le diagnostic : présence de taches colorées, d'auréoles, de la structure filamenteuse des champignons, d'un aspect duveteux, poudreux ou cotonneux, d'odeurs de moisi ou encore de traces d'humidité. Néanmoins, ces indices restent insuffisants pour confirmer la viabilité des micro-organismes. Une moisissure visible peut être inactive si les conditions de développement ne sont plus réunies. C'est pourquoi l'observation seule n'est pas suffisante. La vérification doit se poursuivre par des prélèvements ciblés sur les recouvrements suspects par des méthodes simples, comme le prélèvement de surface à l'aide d'un écouvillon stérile[22]. Le prélèvement par écouvillonnage consiste à frotter une zone définie du support afin de récupérer les spores, les fragments de mycélium ou les cellules fongiques présents en surface. L'échantillon peut ensuite être mis en culture sur un milieu nutritif adapté. Si des colonies se développent après incubation, cela indique la présence de micro-organismes cultivables, donc potentiellement viables. Cette approche est utile pour confirmer qu'une contamination observée n'est pas seulement résiduelle, mais qu'elle peut encore correspondre à une activité biologique. Cette vérification peut être confrontée à des modèles de prédiction qui ont été développés pour anticiper le risque de croissance microbienne, tels les programmes *WUFI-Bio®* ou *Climate-Notebook®* (ce dernier proposant un indice de risque de prolifération de moisissures en fonction de la température de l'air et de l'humidité relative)[23].



Kit pour un prélèvement surfacique, comprenant :
1. *des écouvillons stériles,*
2. *du sérum physiologique,*
3. *et des boîtes de Pétri*

© C2RMF / Jocelyn Périllat-Mercerot





Prélèvement surfacique sur un fragment de toile moisi [à gauche] et report des informations contextuelles sur la boîte de Pétri ensemencée [à droite]
© C2RMF / Jocelyn Périllat-Mercerot

22. BOUSTA Faisl, COURSELAUD Marie, NGUYEN Thi-Phuong, *Auto-diagnostic en cas de suspicion de contamination par les moisissures*, C2RMF, LRMH, SIAF, 2020 [https://c2rmf.fr/media/document/auto-diagnostic-en-cas-de-suspicion-de-moisissures]
23. LANKESTER Paul, PEREIRA PARDO Lucia, THICKETT David, *Testing damage functions for mould growth*, ICOM-CC 17th Triennial Conference, 2014 [https://www.icom-cc-publications-online.org/1385/Testing-Damage-Functions-for-Mould-growth]

Après cette phase de vérification de la viabilité des micro-organismes, il convient de quantifier leur activité fongique, c'est-à-dire d'évaluer l'ampleur et l'activité métabolique en mesurant le niveau de contamination microbiologique d'une surface, d'un matériau ou de l'air ambiant. La quantification estime de la charge fongique à un moment donné et peut être réalisée à partir de prélèvements de surface, déjà évoqués, ou de prélèvements d'air. Les résultats s'expriment en unités formant colonies (UFC), par surface prélevée dans le cas d'un prélèvement surfacique ou par mètre cube d'air dans le cas d'un prélèvement d'air. Ces données sont particulièrement utiles pour comparer une zone contaminée à une zone témoin (ou plusieurs zones d'un même site), suivre l'évolution temporelle d'un foyer fongique ou vérifier l'efficacité d'une opération de nettoyage, de dépoussiérage ou de traitement. Cependant, la quantification à partir de l'incubation sur substrat nutritif doit être interprétée avec prudence : les résultats dépendent fortement de la méthode de prélèvement, du type de milieu de culture utilisé, de la température et de la durée d'incubation, ainsi que de l'état physiologique des micro-organismes. Certaines moisissures peuvent être présentes, mais ne pas se développer sur le milieu choisi. D'autres peuvent être non cultivables tout en laissant des traces, comme des spores ou des fragments d'ADN, détectables par d'autres techniques plus coûteuses, telles que la biologie moléculaire. La quantification ne donne donc pas une image totalement exhaustive de la contamination, mais elle constitue un indicateur utile pour apprécier l'importance relative d'une activité fongique. La quantification de l'activité biologique peut alors être menée plus précisément à l'aide d'équipements spécifiques. Dans l'air, la présence de moisissures actives dans un espace clos peut être détectée par l'analyse des composés organiques volatils (COV) émis par ces dernières (CSTB - société *Bioguess®*)[24]. Sur les supports, un ATPmètre peut être employé pour mesurer l'adénosine triphosphate (ATP), témoin de l'état physiologique des micro-organismes. Cette molécule est présente dans toutes les cellules vivantes en quantité plus ou moins importante en fonction de leur état métabolique : une très faible quantité d'ATP traduit une activité métabolique très limitée ou la présence de spores (et inversement, une quantité importante d'ATP indique un fort développement des micro-organismes sur les matériaux).

Enfin, l'identification des micro-organismes permet de déterminer le genre ou l'espèce des moisissures observées, selon le niveau de précision recherché, ce qui peut orienter sur l'origine d'un développement fongique, sur l'évaluation des risques associés ou sur le choix des produits les plus adaptés pour stopper leur développement. Cette étape nécessite généralement l'intervention d'un laboratoire spécialisé, car elle repose sur des compétences en mycologie et sur des techniques d'analyse adaptées. L'identification peut s'appuyer sur l'observation macroscopique des colonies (couleur, texture, vitesse de croissance, forme et aspect du revers de la colonie) et sur l'examen microscopique des structures fongiques, comme les spores ou les filaments. Dans certains cas, des méthodes moléculaires (ATP) peuvent être utilisées pour obtenir une identification plus précise.

24. MOULARAT Stéphane, « La détection précoce des moisissures dans les monuments historiques » in *Monumental*, 2021 [https://cstb.hal.science/hal-03840130v1/file/Monumental_Detection-precoce-des-moisissures-dans-les-monuments-historiques.pdf]
25. Ce sujet est étudié par Bénédicte Peyre dans le cadre de son mémoire de conservation préventive à l'Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne, en 2026.

Les techniques analytiques pour caractériser et/ou mesurer la population de nuisibles du patrimoine sont nombreuses. La fiabilité des résultats obtenus dépend du mode de collecte des informations retenues par l'opérateur, des compétences de ce dernier et des conditions environnementales au moment de l'étude.

Ces méthodes sont encore aujourd'hui amenées à évoluer, à se perfectionner ou à explorer d'autres voies. Ainsi, de nouvelles approches analytiques sont expérimentées à l'ère de l'intelligence artificielle et de la reconnaissance automatique d'images ou en s'inspirant de procédés employés dans d'autres domaines que celui de la Culture, comme la sollicitation de chiens-renifleurs pour déceler les insectes muséophages[25], leur flair ayant été utilisé il y a une quarantaine d'années pour détecter la mérule et les autres basidiomycètes dans le patrimoine bâti en Angleterre.

