



# Projet de recherche et de développement de matériaux biosourcés adaptés au transport, à la conservation et à l'exposition des collections de musées : une étude de cas française

**Caroline Biro**

Image © Caroline Biro

Article © 2024, International Council of Museums (ICOM)



**Caroline Biro** est Cheffe de projet à la Réunion des musées métropolitains de Rouen (France). Elle pilote depuis 2021 le projet de Centre de conservation et de restauration, les chantiers de collections externalisés et participe au projet Beauvoisine. Depuis 2023, elle y est également référente du Développement durable.

Diplômée de l'École du Louvre et de l'Université Sorbonne-Paris I, elle a participé à la fin du chantier Grand Louvre (1998-2000) avant d'être chargée du récolement au ministère de la Culture. En 2007, elle devient régisseuse, puis cheffe de service de la régie du département des Antiquités égyptiennes du Louvre.

Depuis 2022, elle enseigne au Diplôme universitaire « Recherche de provenances des œuvres » de l'Université Paris-Nanterre.

Mots-clés : innovation, caisses, biosourcé, conservation, transport, matériaux, conditionnement, nouveaux matériaux, recherche et développement industriel, bilan carbone, ACV, prototype, tests, analyse, alternatives, Rouen

**E**n 2021, la Réunion des musées métropolitains de Rouen (RMM) a lancé un projet de recherche et de développement de matériaux biosourcés adaptés au transport, à la conservation et à l'exposition des collections de musée. Ce projet, lancé en partenariat avec l'Institut polytechnique UniLaSalle de Rouen, s'inscrit dans un contexte exceptionnel : celui de la rénovation globale du musée des Antiquités et du Muséum d'Histoire Naturelle de Rouen – dit projet « Beauvoisine » – et de la création d'une réserve externalisée. Plus largement, il prend racine dans une démarche de développement durable déjà fortement engagée tant au niveau des musées que de la Métropole de Rouen.

Malgré l'engagement de la région dans le domaine du développement durable, l'utilisation des plastiques d'origine fossile reste la règle à Rouen, à l'instar de nombreux musées en cours de construction ou de rénovation qui ont été invités à transférer leurs collections. Les propriétés avantageuses de ces plastiques, que nous rappellerons, en font des matériaux adaptés aux contraintes de la conservation mais qui ne sont pas durables d'un point de vue environnemental. Les matériaux biosourcés, qui représentent une potentielle alternative à ces plastiques, suscitent depuis quelques années un engouement croissant, en particulier dans le domaine de l'emballage industriel. Le développement de ces matériaux mérite notre intérêt.

L'idée d'un projet de matériaux biosourcés adaptés aux musées, et en premier lieu destiné aux emballages et au conditionnement des œuvres, a ainsi germé. La démarche de cette initiative, exposée ici avec la description des différentes phases du projet, se positionne en complément aux travaux d'analyse déjà engagés dans d'autres institutions patrimoniales en s'inscrivant dans une méthodologie différente. Le musée tient ici le rôle de prescripteur de nouveaux matériaux en collaborant avec un partenaire scientifique éloigné du monde patrimonial.

En 2022, ICOM France consacrait une séance de leur cycle soirée-débat déontologie à la question « Les musées, acteurs crédibles du développement durable ? ». Dans la suite de ce questionnement se pose alors celui-ci : les musées peuvent-ils être porteurs d'innovation dans le domaine environnemental ? Nous analysons dans cet article, à travers un premier retour d'expérience sur le projet des matériaux biosourcés, les défis et les avantages que représente la recherche de solutions innovantes.

## **Le projet Beauvoisine et la création d'une réserve externalisée**

La Réunion des musées métropolitains a été créée en 2016 et regroupe 11 musées organisés autour de quatre pôles : les musées de beaux-arts, Beauvoisine (histoire naturelle, archéologie, art médiéval et de la Renaissance, ethnologie), les musées littéraires et les musées du patrimoine industriel. La RMM est aujourd'hui engagée dans deux projets structurants autour du musée Beauvoisine, entité qui fusionne le musée des Antiquités et le muséum d'Histoire naturelle de Rouen. La rénovation globale de ces deux musées, qui devrait s'achever en 2028, portera tant sur l'architecture que le parcours muséographique qui a été totalement repensé en mélangeant de façon innovante les collections d'histoire naturelle et d'antiquités, jusqu'à celles de la Renaissance. Les travaux débiteront en 2025 et, dans cette perspective, les chantiers des collections de Beauvoisine, estimées entre 700 000 et un million d'items, ont débuté en 2018. Parallèlement, un projet de nouveau Centre de Conservation dédié regroupera bientôt les collections de réserve de Beauvoisine ainsi que le stockage provisoire de ses collections exposées. La livraison est prévue pour début 2025 et l'installation permanente ou provisoire des collections du musée Beauvoisine pour mi-2025<sup>1</sup>.

## **Le développement durable dans les musées de Rouen**

Le musée Beauvoisine sera un musée de demain, profondément ancré dans le développement durable. Les enjeux sociétaux, écologiques et économiques seront évoqués en questionnant les rapports de l'humain à la nature, l'importance du territoire et de son ouverture au monde et à l'« autre ». Beauvoisine se veut être un lieu qui sera inclusif, avec une approche à la fois émotionnelle et intellectuelle aux collections, et un espace participatif grâce à un programme de médiation renouvelé (Flâner 2022, pp. 8-9).

En cela, le projet Beauvoisine s'inclut dans une démarche globale de la RMM impliquée dès sa création en 2016 dans la mise en valeur du territoire et de ses liens au monde, en particulier dans sa programmation d'expositions temporaires (pour ne citer que les dernières expositions : *Normands* et *Esclavage, Mémoires normandes* en 2023, *Fleuves* en 2024). Le musée a également priorisé la question de l'égalité hommes-femmes en rédigeant la première chartre dédiée au sujet dans un musée.

Au sein de la RMM, un groupe de travail a été créé début 2022 pour définir un ensemble d'objectifs prioritaires de responsabilité sociétales, écologiques et environnementales. Un référent développement durable a été nommé et des indicateurs de suivi ont été créés. Les objectifs ODD 2030 et ses déclinaisons proposées dans l'Agenda Culture 2021 ont servi de base à l'identification de critères d'évaluation, du type : nombre d'actions éducatives auprès des écoles/nombre d'actions en faveur des enfants (cible ODD2030 4.7), ou encore taux de l'investissement en rénovation des bâtiments et d'œuvres inventoriées et récolées (cible 11.4). Parallèlement, le bilan carbone des différentes directions de la Métropole est évalué et affiné depuis 2015 et permet d'avoir des suivis des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les différents secteurs, et en particulier pour ce qui relève de l'impact des visiteurs et des transports d'œuvres. Cette politique muséale s'inscrit dans un programme très actif de la Métropole Rouen Normandie – qui inclut l'ensemble des directions de la collectivité – sur les questions de sobriété énergétique, de transition écologique et de sensibilisation des agents aux écogestes.

### L'utilisation de matériaux pétrochimiques dans le cadre des chantiers de collections Beauvoisine

Malgré leur engagement pour le développement durable, les musées de Rouen utilisent une quantité massive de matériaux pétrochimiques comme les bacs, boîtes et mousses plastiques, qui servent au conditionnement et à l'emballage lors des chantiers de collections préalables au déménagement. Comme mentionné précédemment, la collection globale de Beauvoisine est estimée (au minimum) à 700 000 objets. Entre 2020 et juillet 2023, 1647 caisses plastiques de norme Europe ont été utilisées pour préparer le déménagement, et 2300 caisses plastiques supplémentaires devraient s'ajouter fin 2023-2024 selon l'estimation actuelle.

Une grande part de ces conditionnements sont à usage pérenne et ne constituent pas des déchets à court et moyen terme. Certaines collections seront cependant déballées à leur arrivée dans le futur centre de conservation et la question du recyclage ou de la réutilisation de ces plastiques se posera alors.

Les équipes soucieuses de l'environnement adaptent cependant au mieux leurs pratiques pour limiter l'impact environnemental des chantiers. Selon la règle des 3 R (Réduire-Réutiliser-Recycler), les déchets de mousses plastiques sont réduits au maximum grâce à une gestion des « chutes » de découpes utilisées en calage et leur usage est, quand c'est possible, remplacé par l'utilisation de sachets en plastique gonflés d'air. Par ailleurs, l'impact carbone des transports vers les réserves de transit et le futur centre de conservation est minimisé par une distance courte de moins de 7 km et par la commande de véhicules électriques dès cette année.

Cependant, l'absence de disponibilité de matériaux vertueux adaptés à la conservation reste un frein important. Si, depuis une vingtaine d'années, le monde des musées s'intéresse aux matériaux biosourcés, la question de leur capacité à remplacer les matériaux en plastiques pétrochimiques actuellement utilisés reste en suspens.

### L'usage des plastiques, bien qu'utile à la conservation des œuvres, doit être réduit

Pourtant, jusque dans les années 80, le plastique était peu utilisé pour préserver et déplacer les œuvres. Les matériaux utilisés dans les musées étaient principalement des emballages non alimentaires comme les boîtes en carton, souvent issues de la récupération (boîtes d'allumettes, de cigarillos), ou des caisses en bois souvent récupérées du transport des objets au musée, ou encore des bannettes de boulanger en osier. Les caractéristiques recherchées pour ces contenants étaient avant tout la résistance mécanique, la durabilité, la protection à la lumière, et le faible coût financier. Les contenants en verre et en métal, n'offrant pas l'ensemble de ces propriétés, étaient rarement utilisés.

Les avancées de la conservation préventive, particulièrement à partir des années 1990, ont fait entrer très largement dans les musées les matières plastiques issues des ressources fossiles, et en premier lieu celles à usage alimentaire pour leurs propriétés adaptées à la conservation pérenne des collections : résistance à l'humidité et



Fig. 1. Caisses en plastique utilisées pour les collections de Beauvoisine et prêtes à être déplacées.  
© Caroline Biro

aux attaques biologiques, étanchéité à l'oxygène, légèreté et faible émission de composants organiques volatiles. Leur durabilité et leur résistance exceptionnelle, grâce aux liaisons fortes entre les monomères (qui créent des polymères) s'accordent avec le temps long de la conservation du patrimoine. Par ailleurs, il faut rappeler ici que les principaux matériaux plastiques utilisés dans les musées sont des polyoléfines (polyéthylène PE, polypropylène PP) qui font partie de la catégorie des plastiques thermoplastiques, malléables quand ils sont chauffés puis durs lorsqu'ils reviennent à température ambiante, qui ont donc l'avantage d'être recyclables. Le polyuréthane, utilisé principalement dans un usage temporaire comme le transport, est quant à lui thermodurcissable c'est-à-dire qui durcit de façon irréversible, le plus souvent sous l'action de la chaleur en présence de réactifs. Le produit fini ainsi obtenu n'est plus transformable, et n'est donc pas du tout recyclable (sur la définition de ce qu'on appelle communément le plastique ou les polymères, voir Aufray n. date).

Les qualités indéniables de ces matériaux ont conduit la consommation mondiale à atteindre 460 millions de tonnes de plastique consommé selon l'OCDE (OCDE 2022), et de générer 1,8 milliard de tonnes d'émissions de gaz à effet de serre, soit 3,4 % des émissions mondiales en 2019. La crise pétrolière de 1973, associée aux premières critiques citoyennes sur la toxicité du plastique et sur la pollution qu'elle provoque dans l'environnement, ont amorcé la remise en cause de ce matériau miracle.

Les recherches sur les matériaux biosourcés s'intensifient alors dans l'optique cette fois de remplacer le plastique, en premier lieu pour les emballages. Les qualités des matériaux biosourcés en font une excellente alternative aux matériaux pétrochimiques : leur production émet beaucoup moins de dioxyde de carbone, ils sont naturels et sont pensés pour être compostables. Par ailleurs, par la photosynthèse, les végétaux transforment le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère en carbone dit biogénique et permettent de diminuer le stock global de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Les produits biosourcés, qui intègrent une matière première produite par photosynthèse, peuvent donc participer à la diminution du réchauffement climatique.

Un véritable engouement pour la recherche d'emballages biosourcés a eu lieu dès les années 2000 (Richel 2021). En 2022, la moitié des brevets liés aux emballages concernent les matériaux biosourcés et, autre fait important à souligner, la plupart des recherches menées sur les emballages alimentaires ont lieu dans les centres de recherche des grands groupes de l'agroalimentaire, plutôt que dans les laboratoires des universités (Richel 2022). Durant les années 1980 et 1990, les musées ont largement incorporé le plastique dans leurs pratiques ; peut-on imaginer la même chose arriver aujourd'hui, cette fois avec les matériaux biosourcés ?



Fig. 2. Test de vibration sur la caisse biosourcée conduit par Sandie Le Conte, Laboratoire de recherche de l'INP. © Caroline Biro

## **Les matériaux biosourcés existants peuvent-ils représenter une solution alternative pour les musées ?**

Si la sobriété et le recyclage restent les approches à privilégier, est-il possible d'envisager les matériaux biosourcés comme solution alternative lorsque, comme dans un chantier de collections, l'utilisation massive de matériaux d'emballage reste aujourd'hui inévitable ?

Réputés à juste titre pour attirer les attaques biologiques et être peu résistants à l'humidité, l'usage des matériaux biosourcés au musée ne va pas de soi. Cependant, certains emballages biosourcés sont pleinement entrés dans nos vies quotidiennes (PLA, sac à base de maïs, etc.) et les recherches en cours visent à les rendre toujours plus résistants. Les musées et les centres de conservation et restauration patrimoniales, de par leur expertise dans le champ des matériaux de conditionnement, sont bien placés pour conduire les recherches sur le sujet.

Depuis quelques années, les chercheurs du domaine de la conservation suivent deux approches principales pour explorer la problématique des matériaux biosourcés : la première consiste à questionner les matériaux traditionnels, comme le coton ou le lin, à l'aune de l'assouplissement actuel des normes de conservation préventive (Perrichon 2021) ; la seconde consiste à opérer une veille sur les nouveaux matériaux apparaissant sur le marché en général, et en particulier ceux biosourcés. Nous pouvons citer à titre d'exemples de ces efforts de recherche, en France, plusieurs mémoires menés par des étudiants de l'École du Louvre (Vincent 2021, Caillaud 2019), et la formation continue proposée par le C2RMF depuis 2022 intitulée « Développement durable : les nouveaux matériaux de conditionnement ».

Une des difficultés majeures à laquelle semblent être confrontées ces approches est l'identification précise des additifs pouvant être présents dans ces matériaux usinés, car ceux-ci ne sont pas toujours indiqués par les industriels. Ces recherches démontrent en tout cas que les outils pour évaluer les matériaux, biosourcés ou non, existent et sont en place.

Dans ce cadre, il nous est apparu intéressant d'être au cœur de ces recherches en proposant une approche cependant légèrement différente. Pour contourner certaines difficultés, l'idée émergea d'envisager le musée non plus seulement comme expert de matériaux existants mais comme prescripteur de nouveaux matériaux adaptés aux normes actuelles de conservation. Il s'agissait en quelque sorte de changer de paradigme en agissant dès le stade de la recherche et de la conception d'un nouveau matériau, en exprimant dès le départ les besoins



Fig. 3. Test utilisateur sur des coussins biosourcés (de gauche à droite Y. Zerarka, étudiante à UniLaSalle, A. Cousin, M. Pilate, L. Lyncée, régisseurs de Beauvoisine). © Caroline Biro

du musée en matière de transport, de stockage et d'exposition du patrimoine culturel, et en développant des matériaux adaptés à ces besoins.

### **Mandater des spécialistes en agro-ressources pour créer un nouveau matériau biosourcé**

Pour mener ce projet, une approche singulière a été choisie : le musée a souhaité mandater des chercheurs et ingénieurs spécialisés dans les matériaux biosourcés pour développer un matériau correspondant aux exigences de la conservation patrimoniale. Cet objectif devait être soutenu par la mise en place d'un consortium pluridisciplinaire rassemblant acteurs du patrimoine, de l'ingénierie et de la production, ancrés localement et à l'échelle nationale.

La Réunion des musées métropolitains de Rouen a prospecté des centres spécialisés dans la région Normandie. En octobre 2021, à l'issue de cette prospection, la RMM a mandaté l'Institut polytechnique UniLaSalle de Rouen, école d'ingénieurs spécialisée dans les sciences de la Terre, du vivant et de l'environnement, pour l'accompagner dans son projet.

Ce qui a particulièrement retenu l'attention de la RMM, c'est le projet BIO-PAWVAL (2020-2023), « Designing Bio-based and Biodegradable Packaging through Agriculture Waste Valorization » d'UniLaSalle. L'Unité Transformation et Agro-ressources d'UniLaSalle travaille sur la transformation et la valorisation de plantes entières dans une perspective de développement durable, depuis l'étude des mécanismes de leurs structures jusqu'à l'étude de leurs propriétés et fonctionnalités lors de leur utilisation finale, que celle-ci soit à vocation alimentaire et/ou non alimentaire. Cette unité est scindée en deux équipes : l'équipe PETALES (transformations à vocation alimentaire et effets santé) et l'équipe VAM<sup>2</sup>IN (transformations à vocation non alimentaire). C'est avec la collaboration du responsable de cette dernière, Richard Gattin, que le projet décrit dans cet article a pris forme.

### **Définir le contour et la méthodologie de la recherche et du développement**

La première étape du projet a consisté à confronter les besoins du musée aux possibilités offertes par les matières premières disponibles et le laboratoire d'UniLaSalle. Nous partions dans l'inconnu, une première phase de relative courte durée et de montage simplifié a donc été définie afin d'expérimenter dans un premier temps la faisabilité d'un tel projet et d'en délimiter les contours : la modestie était de mise.

## Les différentes phases du projet

### Phase 1 (2021-2022) : le prototypage d'une caisse de transport en matériaux biosourcés

La première phase du projet s'est concentrée sur l'identification d'un usage temporaire du matériau biosourcé, afin de contourner ses faiblesses : sa faible résistance à l'eau et aux attaques biologiques. Cela excluait dans un premier temps le développement d'un contenant ou d'un matériau muséographique pérenne. D'un commun accord, la réalisation d'un prototype de caisse de transport d'œuvres d'art en matériaux biosourcés a ainsi été décidée.

Dans le cadre de la collaboration entre la RMM et UniLaSalle, la RMM a recruté une étudiante en 5<sup>e</sup> année agro-alimentaire à UniLaSalle pour un stage de quatre mois (d'avril à juillet 2022), donnant lieu à un mémoire de stage et à la réalisation d'un prototype de caisse co-tutoré par les deux parties prenantes. Le financement des tests de laboratoire (utilisation des équipements et de l'ingénieur d'étude) et des matériaux nécessaires à la caisse a été pris en charge également par la RMM, UniLaSalle mettant à disposition la supervision du travail par un enseignant-chercheur.

Dans un premier temps, la RMM a établi le cahier des charges du prototype souhaité. Celui-ci diffère peu de celui établi pour les caisses de transport d'œuvres d'art traditionnelles :

- Résistance mécanique
- Absorption des chocs et vibration
- Isolation thermique
- Résistance à l'humidité sur une courte durée
- Résistance au feu
- Innocuité
- Poids réduit ou optimisé
- Résistance aux attaques biologiques
- Matériaux non abrasifs et compacts
- Durabilité
- Praticité
- Matières issues de plantes provenant de surplus ou déchets agricoles locaux, économes en eau et en pesticides

La difficulté à définir des seuils chiffrés pour chacune des qualités demandées a orienté la méthodologie vers une comparaison systématique avec les caisses et matériaux actuellement utilisés. Une caisse LP Art en possession de la RMM a donc été fournie et les mêmes tests ont été conduits conjointement sur les matériaux issus de cette caisse et les nouveaux matériaux.

La deuxième étape de cette première phase a été de définir les tests à conduire et leur méthodologie.

Outre la fabrication du matériau et de la caisse biosourcés, l'équipe du laboratoire d'UniLaSalle a effectué les tests suivants sur leur site afin de recueillir diverses données, et notamment :

- La détermination biochimique des constituants (cellulose, hémicellulose, composés solubles, lignines, cutines)
- La détermination du taux d'humidité
- La mesure de la densité
- La granulométrie par tamisage
- La détermination de la cinétique de sorption/désorption
- Les mesures de la conductivité thermique
- Les analyses thermogravimétriques
- Les mesures de la résistance à la compression et à la flexion
- La détermination du taux d'humidité
- Les tests au feu
- Les tests de vieillissement
- Les mesures de COV



Fig. 4. Prototype de caisse de transport d'œuvres d'art en matériaux biosourcés fabriqué par Y. Zerarka dans le cadre du projet RMM Rouen/ UniLaSalle. © Caroline Biro

Le laboratoire UniLaSalle ne disposant ni des compétences, ni des équipements nécessaires pour tester la résistance des matériaux aux insectes et aux chocs/vibrations, nous avons sollicité des partenaires institutionnels du patrimoine pour mener à bien ces tests. Le Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine (CICRP) a accepté de conduire des études de résistance aux insectes sur des échantillons envoyés par la poste. Le laboratoire de recherche de l'Institut national du patrimoine (INP) a, pour sa part, accepté de réaliser des tests de comportement aux vibrations, en laboratoire et en conditions réelles (voir Fig. 2.).

Dans le même temps, les régisseurs d'œuvres de la RMM ont participé aux tests utilisateurs du système de calage, qui consistait en des coussins remplis de billes en moëlle de tournesol (voir Fig. 3.). Neuf types de coussins différents ont été testés pour déterminer leur praticabilité et leur capacité à protéger efficacement des objets de poids et de tailles variés. Trois tailles ont été testées (petite, moyenne et grande), chacune contenant des quantités différentes de billes ; les diamètres des billes mesuraient soit 2, soit 4 mm. Un questionnaire relatif à chaque type de coussin a été soumis aux régisseurs pendant le test.

Il a fallu plusieurs essais de différents matériaux, avec des formulations ou des taux de compression divers avant d'obtenir le résultat souhaité. À partir de ces éléments, l'étudiante Yousra Zerarka a créé un prototype de caisse (voir Fig. 4.). La méthode et les résultats de tests ont été présentés à l'European Registrars Conference en novembre 2022 (Zerarka, Biro, Gattin *et al.* 2022).

Le prototype est composé de trois parties : les parois extérieures en chènevotte (hemp) consolidées par des barres en sapin récupérées de la caisse traditionnelle, l'habillage intérieur en moëlle de tournesol (sunflower pith) ou de maïs (corn pith), et enfin le calage sous forme de coussins en Tyvek® remplis de fragments plus ou moins gros de moëlle de tournesol, selon les recommandations issues du test utilisateurs.

Ci-dessous est présentée la synthèse des résultats de comparaison entre le prototype et la caisse traditionnelle (composée de contreplaqué et de plaques de mousse de polyuréthane, les barres en sapin ayant été retirés de la comparaison car elles sont communes aux deux caisses). Les scores sont au moins équivalents, voire en faveur du prototype. Ainsi, les parois extérieures (en chanvre) présentent une résistance au feu bien supérieure, émettent moins de composés organiques volatiles (COV) tels que le formaldéhyde (HCHO) et l'acide

acétique, et résistent mieux aux chocs et aux vibrations que la caisse traditionnelle. Les coussins en moelle de tournesol, en particulier, absorbent mieux les chocs et les vibrations que la caisse traditionnelle, surtout à basse fréquence, et émettent moins de COV que la mousse de polyuréthane traditionnellement utilisée dans les caisses de transport.

Conclusion		Our crate is adapted to transport					
The crate parts	Materials	Mechanical resistance	Thermal isolation	Vibrations transmission	Resistance to humidity	Resistance to fire	VOC emissions
The rigid outer walls	Hemp panel HP	+	+	+	+	+	+
	Plywood PW	+	-	-	+	-	-
The inner insulation layer	Sunflower pith panel SPP	+	+	+	+	+	+
	Corn pith panel CPP	+	+	+	+	+	-
	Extruded polystyrene	-	+		-	-	+
Wedging	Cushions			+			+ <sup>(4)</sup>
	Flexible PU			+			-

(4) Curran *et al.* 2017.

Fig. 5. Le tableau ci-dessus présente un récapitulatif des résultats obtenus, dans Zerarka, Y., Biro, C., Gattin, R., *et al.* 2022. Projet RMM Rouen / UniLaSalle. © Caroline Biro

### Phase 2 (2022-2023) : l'adaptation du matériau biosourcé à un usage muséal pérenne

Les résultats positifs de la première phase ont confirmé la poursuite du projet en 2023. L'objectif de cette deuxième phase est de développer un matériau capable de servir à un usage pérenne et adapté aux collections patrimoniales, que ce soit en réserve ou en salle d'exposition, sous forme de contenant, de cimaise, d'étagères ou de podium.

Pour ce faire, les matériaux ont été développés avec deux objectifs : l'amélioration de la résistance à l'eau et aux attaques biologiques. Nous avons eu la chance de pouvoir poursuivre notre travail avec Yousra Zerarka, qui passait en 6<sup>e</sup> année à UniLaSalle dans un double cursus de recherche et de développement en agroressources. Le projet était toujours activement soutenu par le CICRP, au cœur des enjeux de cette phase, ainsi que par l'INP. Par ailleurs, les coûts de cette deuxième phase ont été partagés entre la RMM et UniLaSalle.

### Phase 3 (fin 2023-2025) : le développement, la création d'un consortium et la poursuite de la recherche

Aujourd'hui entré dans sa troisième phase, le projet poursuit simultanément deux axes :

- Le développement de la caisse de transport en matériaux biosourcés afin d'accompagner la création d'une filière sur le territoire
- La poursuite de la recherche et le développement d'un matériau biosourcé à usage pérenne, avec un axe dédié aux emballages dans les milieux du luxe et de l'art

Après ces deux ans qu'on pourrait qualifier de « phase d'essai » quant à la faisabilité et aux perspectives du projet, celui-ci va porter dans sa troisième phase sur la consolidation des résultats en lançant la fabrication de plusieurs types de caisses issues du prototype, afin d'expérimenter leur production et leur utilisation en conditions réelles. Cette étape du projet, activement soutenu par la Région Normandie, va également marquer la formalisation des différents partenariats autour d'une convention de consortium et la recherche de financements complémentaires.

Aux partenaires déjà présents dans les premières phases du projet s'ajoutent, au sein du consortium, les acteurs indispensables au développement industriel de la caisse. Ont été identifiés : un fournisseur local de matières premières, un industriel possédant le savoir-faire et l'équipement nécessaires au façonnage de plaques en matériaux biosourcés, des emballeurs-layetiers pour la mise en œuvre de la caisse, des transporteurs d'œuvres d'art locaux et nationaux (qui ont déjà apporté à plusieurs reprises leur expertise et suivi précieux au projet), des représentants des usagers, (musées locaux et nationaux) et enfin, une entreprise de compostage. Parallèlement, UniLaSalle et la RMM poursuivront leur collaboration de recherche pour améliorer les caractéristiques des matériaux.

Enfin, une quatrième phase sera programmée autour de l'évaluation précise de l'impact environnemental d'un ou plusieurs types de matériaux et de caisses sur l'ensemble de leur cycle de vie, afin de déterminer lesquels sont les plus adaptés à l'usage dans le secteur muséal.

### **Évaluer les résultats**

S'il est encore trop tôt pour présenter des résultats consolidés, un premier retour d'expérience sur la démarche muséale d'accompagnement à l'innovation liée à la transition écologique paraît utile pour faire un point, tant sur les difficultés rencontrées que sur les bénéfices d'un tel projet.

Il est tout d'abord difficile de quantifier les bénéfices concrets que le projet peut apporter à l'environnement et, plus largement, au développement durable. Par exemple, calculer l'empreinte carbone d'un matériau biosourcé utilisé dans un musée est à ce stade quasiment impossible. Comme le souligne Olivier Lerude, haut fonctionnaire chargé du développement durable au ministère de la Culture, « il existe trop d'outils complexes et peu fiables » (ICOM France 2022, p. 50), et il faudra sans doute attendre le résultat des futurs lauréats de l'appel d'offre du Ministère pour concevoir des calculateurs de carbone destinés à devenir des outils de référence.

En effet, l'évaluation de l'impact sur l'environnement prend en compte un ensemble de données à la fois complexes et encore peu disponibles, et il peut être difficile pour les institutions muséales de se retrouver dans un domaine aussi complexe et éloigné de leurs propres domaines d'expertise. Nous pouvons néanmoins nous inspirer de la réglementation environnementale française RE2020 pour la construction, qui vise non plus seulement à réduire l'impact énergétique de la construction des bâtiments mais également leur impact carbone tout au long de leur cycle de vie, depuis la production des matières premières jusqu'à la fin de vie de ces dernières et du bâtiment lui-même. La prise en compte, dans les calculs, des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de leurs équivalents carbonés se fait en regard d'une analyse du cycle de vie (ACV).

La norme européenne NF EN 15804+A2 relative à l'évaluation environnementale de la catégorie de produits des travaux de construction (intitulée « Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction ») décompose l'analyse du cycle de vie en quatre modules :

- Le module A contient les impacts environnementaux de la production, du transport et de la mise en œuvre.
- Le module B présente les impacts liés à la phase d'utilisation du produit.
- Le module C décrit les impacts liés à la fin de vie du produit.
- Enfin, le module D permet de calculer les bénéfices environnementaux au-delà des limites du système, c'est-à-dire les bénéfices liés à la réutilisation, la valorisation ou le recyclage du produit.

Cependant, le calcul de l'ACV lui-même est rendu très complexe par l'existence de plusieurs méthodes de calcul parallèles (en particulier les méthodes d'évaluation dites 0/0 ou -1/+1) qui ne sont pas toujours favorables aux matériaux biosourcés, puisque ceux-ci ont la propriété de stocker le dioxyde de carbone sur une longue durée. Certains experts ont ainsi proposé une « ACV dynamique simplifiée », qui consiste à réduire la valeur d'une émission en équivalent CO<sub>2</sub> si cette émission a lieu dans le futur (à ce sujet voir Peuportier 2022).

Le scénario en fin de vie doit également être pris en compte, celui-ci ayant un très fort impact sur l'indicateur carbone des matériaux biosourcés, puisque ces derniers libèrent à ce stade précis le CO<sub>2</sub> qu'ils stockaient jusqu'ici. En tant que matière fermentescible, les matériaux issus de la biomasse peuvent être compostés et

utilisés comme compost pour enrichir les sols en améliorant leur structure et leur fertilité. Selon l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie : « Le compostage est un procédé de transformation aérobie (en présence d'oxygène, contrairement à la méthanisation qui est une réaction anaérobie) de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost, susceptible d'être utilisé, s'il est de qualité suffisante, en tant qu'amendement organique améliorant la structure et la fertilité des sols. Le compostage s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de gaz, essentiellement du gaz carbonique si l'aération est suffisante. » (ADEME, 2015, p. 3).

Malheureusement, la détermination d'un bilan carbone précis pour l'ACV des matériaux biosourcés se heurte au manque de données sur leur fin de vie. Selon l'ADEME, les premiers gros volumes de matériaux biosourcés à traiter en fin de vie n'apparaîtront qu'à l'horizon 2025/2030 du fait de la mise en œuvre récente de la filière biosourcée. Cela explique qu'il n'existe pas encore de données sur l'empreinte carbone du traitement des déchets issus des matériaux biosourcés. Lors du calcul de l'empreinte carbone ACV d'un matériau biosourcé, il faut donc veiller à choisir des données existantes aussi représentatives que possible sur l'empreinte carbone générée lors de la phase de fin de vie. Les données les plus proches à ce jour des matériaux utilisés dans notre projet proviennent de la célèbre base de données mondiale d'ACV Ecoinvent, qui détaille l'empreinte carbone en fin de vie des déchets de bois (« waste wood ») (Karibati 2018).

D'autres facteurs de dégradation environnementale doivent également être pris en compte. Les risques propres aux matériaux biosourcés, notamment ceux liés à une utilisation excessive de l'eau et de pesticides, à une pression sur les ressources agricoles ou encore au compostage à grande échelle (en particulier les éventuels risques sanitaires liés au compostage – voir ADEME 2014), sont en cours de quantification voire en cours d'identification. Les études, souvent très pointues, sont parfois difficiles d'accès ; heureusement, leurs résultats sont régulièrement vulgarisés par des spécialistes férus de valorisation de la recherche<sup>2</sup> ou par les instances nationales dédiées, en premier lieu l'ADEME et l'ANAH (Agence nationale de l'habitat).

En constante évolution, le rythme de ces recherches est parfois en décalage avec celui des innovations. À cette difficulté s'ajoute l'existence de différents types de matériaux biosourcés, notamment les « plastiques » biosourcés tels que les polylactides (type PLA, matériau non utilisé dans le présent projet) qui occupent une large place dans la littérature au détriment des biosourcés non plastiques. Or l'impact écologique d'un « bio-plastique » (polymère) d'origine biosourcée et celui d'un matériau biosourcé non-polymère sont très différents (Voir ADEME 2014).

Pour illustrer l'impact éventuel que peuvent avoir les matériaux biosourcés sur l'environnement, hors GES (émissions de gaz à effet de serre), nous pouvons nous référer à l'empreinte des plastiques biosourcés sur les ressources en eau citée par Richel (2021) : la production d'une bouteille en plastique biosourcé utilise 1,7 litre d'eau, contre 0,3 litre pour une bouteille en plastique d'origine fossile. Il faut noter cependant que les matériaux biosourcés non plastiques (ne présentant pas de liaisons fortes qui les classeraient dans la catégorie des polymères) n'ont pas besoin d'autant d'eau, mais le volume d'eau reste à quantifier précisément.

Face à cette complexité, et dans l'attente de critères et méthodes validés, il a été décidé à ce stade du projet de ne pas calculer l'empreinte carbone et l'ACV des matériaux biosourcés adaptés aux musées et de confier ces évaluations à des partenaires spécialisés à la fin de la phase de développement. Cependant, un soin particulier est apporté tout au long du projet à la prise en compte de toutes les phases du cycle de vie du matériau, notamment en s'inspirant des quatre modules mentionnés ci-dessus et en se concentrant en particulier sur les choix et stratégies suivants :

- Le choix de plantes naturellement peu gourmandes en eau, résistantes aux insectes, et dont la culture n'appauvrit pas les sols et n'augmente pas la pression sur l'agriculture alimentaire. Les ressources naturelles renouvelables sont privilégiées (cultures annuelles) afin de préserver le réservoir carbone global de la biomasse.
- Le choix d'espèces et/ou de cultures locales, tout comme le choix de sites de production locaux afin de réduire l'impact environnemental du transport et de soutenir l'économie locale.
- Le choix d'un mode de production qui minimise l'utilisation de l'eau et les émissions de GES.

Par ailleurs, l'évaluation des bénéfices du projet est également entravée par le manque de chiffres de référence concernant l'impact actuel des musées et permettant d'évaluer les impacts réels. À ce stade du projet, nous n'avons pas pu trouver de données sur le pourcentage de l'empreinte carbone des musées que représentent les emballages en plastique d'origine fossile, car ce chiffre est généralement combiné avec l'utilisation globale de plastique jetable (y compris la vaisselle et les bouteilles jetables) par les musées. En revanche, plusieurs musées ont conduit un audit sur l'empreinte carbone de leurs scénographies, domaine auquel notre projet s'intéresse également. Le travail du Design Museum de Londres, conduit en 2021 et qui a inspiré leur exposition *Waste Age*, est à ce titre exemplaire.

Les données les plus accessibles aujourd'hui concernent l'étude de l'impact des caisses dans le transport d'œuvres d'art, qui pourra servir de référence à notre projet durant la phase d'évaluation de son bénéfice environnemental.

Cependant, les résultats peuvent là encore varier en fonction des critères et modes de calcul utilisés. Les études conduites par l'I2M à l'Université de Bordeaux (Pompidou *et al.* 2019 et 2022) sur le cycle de vie des transports d'œuvres d'art, estiment que les caisses représentent environ 12 % de l'impact environnemental total engendré par un trajet aller-retour de 500 km.

Un autre chiffre clé est donné par le transporteur Chenue (Bonnard 2022) qui quantifie l'empreinte carbone de la fabrication de caisses à 7% de son empreinte carbone totale en 2021. Cette proportion pourrait augmenter à partir de 2023 à cause de l'utilisation de nouvelle solution de carburant (XTL) annoncée sur le réseau social LinkedIn du transporteur en 2023, qui aura pour effet de réduire l'impact du transport sur l'empreinte carbone totale de l'entreprise Chenue et d'augmenter donc proportionnellement celui des caisses.

Une donnée supplémentaire est à prendre en compte, à savoir la quantité de caisses à usage unique fabriquées par l'entreprise chaque année. Sur la page d'accueil du site internet de Chenue est annoncée une production annuelle de 3000 caisses par an, ce qui, par extrapolation, signifie que plus de 10 000 caisses sont probablement produites annuellement par l'ensemble des entreprises de transport d'œuvres d'art en France.

Ces dernières données nous permettent de définir un objectif environnemental chiffré pour notre projet de caisses biosourcées, cet objectif étant de réduire de 7 à 12% l'impact carbone des transports d'œuvres d'art dans les institutions au sein desquelles elles sont utilisées.

Cette diminution peut sembler négligeable mais il convient de noter que, s'il est difficile pour les musées d'avoir un impact sur la technologie du transport elle-même ou sur d'autres domaines plutôt liés aux services du bâtiment, ils ont en revanche un rôle à jouer dans la conception des emballages et des conditionnements. À ce titre, l'effort des différentes institutions muséales sur cette thématique doit être soutenu activement, quelle que soit la proportion des réductions qu'elles réalisent en termes d'empreinte carbone globale.

### **Les difficultés liées au pilotage d'un projet d'innovation**

Au-delà des questions d'évaluation environnementale, le pilotage d'un projet lié à l'innovation se confronte à d'autres problématiques. Nous pouvons citer la question de la propriété industrielle, à laquelle une institution publique comme un musée est rarement confrontée. En effet, les musées publics, tout comme les collectivités territoriales, sont au service des citoyens, et ne peuvent donc pas déposer de brevet puisque celui-ci est basé sur le secret et la vente d'information, et restreint donc son utilisation. Un service public protège généralement l'innovation intellectuelle en la valorisant et en la diffusant. Les institutions publiques doivent alors composer avec leurs partenaires qui, de leur côté, peuvent être habilités à déposer des brevets et doivent s'assurer que ceux-ci ne freinent ni le développement du projet, ni l'appropriation de ses résultats par le plus grand nombre – ce qui serait somme toute en contradiction avec les critères de développement durable.

La recherche de financements demande également une part de prospection dans des domaines potentiellement mal connus, et peut prendre un temps non négligeable. Enfin, le temps long de la recherche s'accorde difficilement avec la rapidité à laquelle les musées développent leurs projets opérationnels, et cette différence peut créer un décalage entre les composantes de recherche et opérationnelles d'un projet, décalage qu'il convient de minimiser pour ne pas perdre certains partenaires.

S'aventurer dans des domaines complexes, parfois éloignés des compétences habituelles d'un musée, et

fonctionnant avec des méthodes, un vocabulaire et des objectifs parfois différents, présente évidemment des difficultés. Ce type de partenariats et d'interactions est cependant une source d'enrichissement mutuelle pour les parties impliquées, qui s'ouvrent à des mondes différents et, en somme, élargissent leur impact social.

### L'innovation au cœur de la culture et du développement durable

Les musées, malgré leur complexité, sont parfaitement légitimes pour conduire de tels projets d'innovation. Depuis quelques années, les musées ont contribué à des développements innovants dans les domaines des outils numériques et des pratiques sociales (cf. le dossier « Musées et mondes numériques » dans *Culture & Musées*, 35 | 2020), en particulier Appiotti et Sandri (2020) : « La croisée du musée et des injonctions au numérique conduisent à l'élaboration d'un "musée laboratoire" qui imite les fonctionnements entrepreneuriaux actuels en termes d'innovation et d'incubation de projets ».

La promotion de l'innovation est par ailleurs désignée comme un des vecteurs fondamentaux dans les objectifs de développement durable 2030 (ODD2030) édictés par les Nations unies en 2015. L'objectif 09 (ODD9), en particulier, appelle à « bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tou-te-s et encourager l'innovation » (Nations unies 2015). L'agenda Culture 21 souligne d'ailleurs le rôle de la culture dans cet objectif : « Les artistes et les professionnel-le-s de la création peuvent être impliqués dans les processus destinés à la recherche, au développement et à l'innovation dans un large éventail de domaines industriels » (CGLU et Agenda 21 2018, objectif 09).

**E**n 2019, l'UNESCO réaffirme le rôle que la culture peut jouer dans les ODD, entre autres par la création de passerelles entre patrimoine et sciences, et par l'innovation. En 2019 puis en 2022, l'ICOM a également confirmé le rôle des musées comme acteurs du développement durable par le biais de leur soutien à l'innovation : « The mission of museums has been significantly enriched in recent years. Care, preservation and display of heritage will always be their core function. However, today museums are increasingly recognising their role as agents of social and economic change. They generate knowledge for and about society, are a place for social interaction and dialogue, and a source of creativity and innovation for the local economy. » (OECD/ICOM 2019 p.12).

Le projet de matériaux biosourcés adaptés à la conservation et à l'exposition des collections porté par la Réunion des musées métropolitains de Rouen tente ainsi de s'inscrire dans cette dynamique d'innovation vertueuse du monde de la culture. Si les résultats et les bénéfices de ce projet sur l'environnement restent encore incertains, la démarche en elle-même a toute sa place dans le principe même de développement durable que portent désormais les musées, et exprime une volonté d'accompagner et de soutenir une industrie responsable et locale.

### Notes

1 Ces dates sont celles indiquées dans la version anglaise de l'article, mais le calendrier a depuis glissé : la livraison est maintenant prévue pour fin 2025 et l'installation pour début 2026.

2 Nous pouvons citer le site <<http://www.chem4us.be>> fondé par un professeur en Biomasse et Technologies Vertes de l'Université de Liège.

La traduction anglaise de cet article est disponible sur le site de Routledge : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13500775.2023.2343202>

Les membres de l'ICOM peuvent accéder gratuitement à l'article via leur espace membre. Pour plus d'informations, veuillez contacter [publications@icom.museum](mailto:publications@icom.museum)

## Remerciements

Un tel projet ne peut exister sans le soutien et la participation de nombreuses personnes. Nous tenons à adresser nos plus chaleureux remerciements aux personnes et aux institutions suivantes :

- En premier lieu à UniLaSalle, pour sa collaboration active au projet et en premier lieu, Richard Gattin, Amir Shehzad, Yousra Zerarka pour son travail indispensable, K. Laval, directrice, et N. Leblanc, responsable.
- À mes collègues de la Métropole Rouen Normandie, et particulièrement à la RMM : Robert Blaizeau, Directeur, Murielle Grazzini, Administratrice, pour son soutien indéfectible, et, pour leur accompagnement au projet, Mathilde Schneider, Directrice du musée Beauvoisine, les régisseurs d'œuvres (Margot Pilate, Laurence Lyncée, Alice Cousin), ainsi qu'au Pôle Développement et Transitions Économique et au Service juridique.
- À la Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC) de Normandie à travers notre conseillère musée V. Notin, qui suit d'un œil attentif et bienveillant nos projets.
- À la région Normandie pour leur intérêt et soutien actif qui permet le développement du projet.
- À nos partenaires du projet et tout particulièrement Sandie Le Conte (INP) qui, au-delà de son accompagnement sur les tests de vibrations, a prodigué généreusement ses conseils sur le pilotage de projet scientifique et patrimonial. Également, à Fabien Fohrer (CICRP) dont l'implication dans le projet le rend tout simplement possible.
- Pour leur intérêt et analyse critique du projet : les transporteurs d'œuvres d'art : Christophe Piette et Valérie Bonnard d'A. Chenue SA et Sébastien Giguière de Cadre en Seine.
- Pour tous les échanges fructueux et amicaux, et pour leur précieuse expérience qu'ils ont bien voulu partager sur le sujet, à nos collègues des différents musées : Hélène Vassal (Louvre, ICOM), Florence Bertin (MAD), Eléonore Kissel, Vincent Saporito et Sarah Puech (MQB), Ludovic Chauwin (musées de Strasbourg).
- Enfin, pour cet article et leur travail éditorial de haute qualité, Alice Guillard et Courtney Traub à l'ICOM.

## Références

ADEME 2014. [En ligne]. *Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie en France*. Accessible à cette adresse : <[https://expertises.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/identification\\_gisements\\_valorisation\\_materiaux\\_biosources.pdf](https://expertises.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/identification_gisements_valorisation_materiaux_biosources.pdf)> [Consulté 01 septembre 2023].

ADEME 2015. [En ligne]. Fiche technique : Le compostage. Accessible à cette adresse : <<https://www.syndicat-azur.fr/sites/default/files/fiche-technique-le-compostage-201511.pdf>> [Consulté 18 janvier 2024].

Appiotti, S., et Sandri, E., 2020. [En ligne]. « Innovez ! Participez ! » Interroger la relation entre musée et numérique au travers des injonctions adressées aux professionnels », *Culture & Musées*, 35 | 2020. Accessible à cette adresse : <<http://journals.openedition.org/culturemusees/4383>> ; DOI: <<https://doi.org/10.4000/culturemusees.4383>> [Consulté 01 août 2023].

Aufray, M., n. date. [En ligne]. « Vous avez dit plastique ? », entretien de Maëlen Aufray, enseignante-chercheuse de Toulouse INP, au Centre inter-universitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux (CIRIMAT). Accessible à cette adresse : <<https://exploreur.univ-toulouse.fr/vous-avez-dit-plastique>> [Consulté 01 septembre 2023].

Bonnard, V., 2022. [En ligne]. 'Logistics of works of art: where are the options to minimize our environmental impact?', CHENUE/LP Art', *12th European Registrars Conference*, 4 novembre 2022, Strasbourg. Accessible à cette adresse : <<https://www.erc2022.org/programme/programme/>> [Consulté 01 septembre 2023].

Caillot, A. 2019. *Matériaux de conservation et développement durable : les enjeux écologiques de la conservation préventive*. Mémoire de l'École du Louvre [non publié].

Chenue, site internet, n. date. [En ligne]. Accessible à cette adresse : <<https://www.chenue.com/>> [Consulté 01 septembre 2023].

CGLU, Culture 21, 2018. La Culture dans les objectifs de développement durable : un guide pour l'action locale.

Ecoinvent, site internet, n. date. [En ligne]. Accessible à cette adresse : <[www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)> [Consulté 01 septembre 2023].

Flâner 2022. *Programme annuel des musées métropolitains de Rouen 2022-2023*, Rouen.

ICOM 2022. « Les musées, acteurs crédibles du développement durable ? », *Cycle soirée-débat déontologie*, 17 février 2022 - 18h-21h. Accessible à cette adresse : <<https://www.icom-musees.fr/index.php/ressources/les-musees-acteurs-credibles-du-developpement-durable-0>> [Consulté 01 septembre 2023].

Karibati, 2018. [En ligne]. Matériaux biosourcés, gardiens du carbone. Accessible à cette adresse : <<https://www.karibati.fr/mdiathque>> [Consulté 01 septembre 2023].

Karibati, 2023. [En ligne]. Fin de vie des matériaux biosourcés. Brico-ressources.fr, 22 décembre 2023. Accessible à cette adresse : <<https://brico-ressources.fr/eco-materiaux/fin-de-vie-des-materiaux-biosources-leur-gros-atout/#:~:text=Les%20b%C3%A2timents%20biosourc%C3%A9s%20arriv%C3%A9s%20en,appara%C3%ACtre%20entre%202025%20et%202045.>>> [Consulté 01 janvier 2024].

Nation Unies. 2015. *Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030, Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 25 septembre 2015*. Nations Unies.

Norme Européenne NF EN 15804+A2. 2019. Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction.

OCDE. 2022. [En ligne]. *Les Perspectives mondiales des plastiques : Scénarios d'action à l'horizon 2060*, rapport de l'OCDE. Accessible à cette adresse : <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c5abcbb1-fr/index.html?itemId=/content/publication/c5abcbb1-fr> [Consulté 01 septembre 2023].

OECD/ICOM 2019. *Culture and Local Development: Maximising the Impact a guide for local governments, communities and museums*. OECD/ICOM.

Perrichon, A. D., 2021. *Vers une évaluation écoresponsable des matériaux de conservation*, mémoire de l'École du Louvre [non publié].

Peuportier, B., 2022. [En ligne]. Note sur l'analyse du cycle de vie des matériaux biosourcés. Publication en ligne sur le site [lab-recherche-environnement.org](http://lab-recherche-environnement.org). Accessible à cette adresse : <<https://www.lab-recherche-environnement.org/fr/article/note-sur-lanalyse-du-cycle-de-vie-des-materiaux-biosources/>> [Consulté 01 septembre 2023].

Pompidou, S., Berger, N. et Perry, N. 2019. [En ligne]. « Transport et emballage des œuvres d'art, étude de l'impact environnemental d'une exposition du musée d'Orsay par l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux », *Compte-rendu de la journée professionnelle régie des œuvres et développement durable*, Paris. Accessible à cette adresse : <<https://site.assoconnect.com/services/storage?type=document&id=2027519&secret=QHUNUB6UepcLTOUMgZ7XgF0UWjoru8HYtT8N6iJR&timestamp=1647702312&download=1>> [Consulté 01 septembre 2023]storage?type=document&id=2027519&secret=QHUNUB6UepcLTOUMgZ7XgF0UWjoru8HYtT8N6iJR&timestamp=1647702312&download=1

Pompidou, S. et Berger, N. 2022. 'The environmental role of the crate in the transportation of works of art,' *12th European Registrars Conference*, 3-5 November 2022, Strasbourg. [Communication non publiée].

Richel, A., 2021. [En ligne]. « Plastiques et bioplastiques : retour sur 200 ans d'histoire de recherche et développement », publication en ligne du site Chem4us, novembre 10, 2021. Accessible à cette adresse : <<http://www.chem4us.be/materiaux/histoirebioplast/>> [Consulté 01 septembre 2023].

Richel, A., 2022. [En ligne]. « Les emballages alimentaires biosourcés: outils d'innovation ou arnaques pour les consommateurs ? », publication en ligne du site Chem4us, juin 3, 2022. Accessible à cette adresse : <<http://www.chem4us.be/materiaux/histoirebioplast/>> [Consulté 01 septembre 2023].

UNESCO. 2018. *Culture for the 2030 Agenda*. UNESCO.

UNESCO. 2019. Indicateurs thématiques pour la culture dans le programme de développement durable à l'horizon 2030, note de synthèse document provisoire 15 mai 2019, UNESCO.

Vincent, L., 2021. *Le liège et le musée : étude de compatibilité et applications d'un matériau biosourcé en contexte muséal*. Mémoire de l'École du Louvre [non publié].

Zerarka, Y., Biro, C., Gattin R., et al. 2022. [En ligne]. 'Developing Eco-responsible And Biobased Prototype for Transport and Preservation of Museum collections.' *12th European Registrars Conference*, 4 novembre 2022, Strasbourg. Accessible à cette adresse : <<https://www.erc2022.org/programme/programme/>> [Consulté 01 septembre 2023].