



Communiqué de presse – 15 novembre 2021

## Etudier les toiles du passé pour comprendre le vieillissement des éco-matériaux du futur

La conception de nouveaux éco-matériaux à partir de sources organiques renouvelables, comme le lin, pose la question de leur vieillissement et de leur durabilité dans le temps. Pour y répondre une équipe d'INRAE, de l'université Bretagne-Sud, du CNRS<sup>1</sup>, de l'université de Montpellier, du synchrotron SOLEIL, de l'université de Camerino (Italie) et du laboratoire de résonance magnétique « Capitani-Segre » du CNR (Italie), a étudié les fibres de lin issues des toiles de quatre tableaux italiens datés entre le XVII<sup>e</sup> et le XVIII<sup>e</sup> siècle. Leurs résultats, publiés le 7 novembre dans *Journal of Cultural Heritage*, montrent que les changements environnementaux (température, taux d'humidité) mais aussi certains traitements de conservation qu'ont pu subir les tableaux au cours des siècles, ont dégradé les fibres de lin. Ces résultats permettent de mieux comprendre le comportement que pourraient avoir les fibres dans les écomatériaux mais donnent également de précieuses informations pour la préservation et la conservation d'objets historiques.

L'utilisation de ressources végétales renouvelables, comme les fibres de lin, pour concevoir des matériaux durables est un jalon essentiel pour une transition vers la bioéconomie se basant sur l'utilisation raisonnée de la biomasse. Mais ces nouveaux écomatériaux sont souvent confrontés à de la méfiance sur leur résistance et leur durée dans le temps comparés aux matériaux issus de pétro ressources. L'étude du vieillissement extrême pose des problèmes d'échelle de temps aux scientifiques qui sont souvent contraints de recourir à accélérer artificiellement les processus au laboratoire, au risque de s'écarter de la réalité. Le lin est une plante cultivée et utilisée pour la confection de divers objets depuis des millénaires, et notamment pour la confection de toiles de maître. C'est pourquoi l'équipe de recherche a étudié les fibres composant les toiles de quatre tableaux de la période Baroque, datés entre le XVII<sup>e</sup> et le XVIII<sup>e</sup> siècle et exposés à la pinacothèque d'Ascoli Piceno, en Italie, et dont les modalités de conservation ont été tracées. Ces travaux complètent ceux parus en septembre dans *Nature Plants* sur l'analyse de linge mortuaire égyptien daté de 4000 ans, de la même équipe française en collaboration avec le musée du Louvre, de FEMTO-ST (Besançon), du LMGC (Montpellier) et l'université de Cambridge.

### Des méthodes d'analyse préservant l'intégrité des tableaux

L'un des défis de cette étude était les contraintes liées au prélèvement et l'analyse d'échantillons qui devaient impérativement préserver les toiles historiques, tout échantillon étant issu d'un objet patrimonial devant être restitué. 4 cm<sup>2</sup> ont été prélevés au dos de chaque toile dans des zones non visibles et qui ne dégradait pas l'œuvre. Par la suite,

<sup>1</sup> Les laboratoires CNRS impliqués sont l'Institut de recherche Henry Dupuy de Lôme (CNRS/Université de Bretagne-Sud/Université de Bretagne Occidentale/Ecole nationale supérieure de techniques avancées Bretagne) et le Laboratoire de mécanique et génie civil (CNRS/Université de Montpellier)

les chercheurs ont utilisé plusieurs méthodes d'analyse optique à très haute résolution pour étudier la structure des fibres des échantillons sans les dégrader. Ils ont utilisé la microscopie à force atomique<sup>2</sup> pour topographier la surface des échantillons et cartographier la rigidité des fibres à l'échelle nanométrique. Ils ont également eu recours à la microscopie biphotonique<sup>3</sup>, la spectroscopie RMN<sup>4</sup> et la spectroscopie par infrarouge<sup>5</sup> pour analyser l'organisation, l'évolution de la biochimie et de la structure des fibres de lin composant les toiles.

### **Les variations dans l'environnement : le principal facteur de vieillissement**

De façon contre-intuitive, les résultats montrent que les fibres issues de toiles âgées de quelques centaines d'années ont subi des dégradations plus marquées que celles millénaires des linges mortuaires d'Égypte. Un raidissement général a été mis en évidence dans presque toutes les fibres anciennes par rapport à un fil de lin moderne. Mais les fils des tableaux ont aussi montré d'autres défauts structuraux tels que des fragmentations de fibres à cause de l'oxydation mais aussi des attaques par des champignons qui ont fortement dégradé la structure des fibres en formant des « tunnels » et des fractures dans les fibres.

En termes de vieillissement, les fibres des tableaux ont vécu une mise en tension constante, mais elles ont aussi été exposées aux variations d'humidité et de température, à la pollution de l'air, pendant leur exposition dans des églises ou des collections privées avant leur acquisition par la pinacothèque. A ces facteurs s'ajoutent les effets d'autres agents de vieillissement comme de la colle, du plâtre et de la peinture qui peuvent plus les rapprocher aux objets de nouvelle génération comme les composites, chez lesquels plusieurs matériaux coexistent- souvent de nature très différente – pour former un nouveau matériau combinant et améliorant les propriétés des matériaux d'origine. Les scientifiques ont notamment mis en évidence que certaines techniques de conservation appliquées au XIXe siècle, comme le rentoilage fait à la colle de pâte, à base de farine et colle animale, ont contribué à dégrader les tableaux au long terme. Au final les tableaux ayant subi le plus de variations dans leur environnement ou ayant subi des traitements au cours de leur conservation sont les plus dégradés.

Ces travaux apportent de précieuses informations sur le comportement et l'évolution des performances des fibres naturelles. Ils sont à la fois utiles pour la conception d'éco-matériaux robustes et durables dans le temps, mais donnent également de précieuses informations sur l'état de conservation d'objets historiques. Si ces travaux portent sur le lin, la méthode est également applicable à d'autres fibres utilisées au cours de l'histoire, notamment le chanvre qui était utilisé pour le cordage et les voiles des navires. L'équipe étudie à présent des textiles en lin d'autres périodes et origines. En 2022, démarrera le projet ANR ANUBIS piloté par l'IRD, en collaboration avec le Synchrotron SOLEIL, l'université de Cambridge, le musée égyptien du Caire et INRAE qui vise à caractériser le vieillissement de plusieurs objets d'art en lin plus ou moins âgés pour retracer leur histoire mais aussi comparer les méthodes d'extraction actuelles avec celles de l'antiquité.

### **Références**

Alessia Melelli, Graziella Roselli, Noemi Proietti, Alain Bourmaud, Olivier Arnould, Frédéric Jamme, Johnny Beaugrand, Alice Migliori, Giuseppe Di Girolami, Paolo Cinaglia, Carlo Santulli. Chemical, morphological and mechanical study of the ageing of textile flax fibres from 17th/18th-century paintings on canvas. *Journal of Cultural Heritage*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.10.003>

---

<sup>2</sup> La microscopie à force atomique repose sur le balayage de la surface d'un échantillon à analyser par une pointe très fine de quelques micromètres. Après un traitement informatique important du signal, il est possible d'établir la topographie de l'échantillon.

<sup>3</sup> La microscopie biphotonique est une technique d'imagerie optique qui combine la fluorescence pour imager des échantillons de manière non destructive jusqu'à environ un millimètre de profondeur. Elle permet de visualiser la structure et l'orientation interne des chaînes de cellulose qui confèrent la résistance mécanique en traction aux fibres de lin.

<sup>4</sup> La spectroscopie RMN repose sur la résonance magnétique nucléaire, une propriété de certains noyaux atomiques à relâcher de l'énergie, c'est-à-dire se relaxer, après avoir été soumis à un rayonnement électromagnétique. La signature de relaxation récupérée correspond à une fréquence très précise, qui permet de décrire sous certaines conditions la composition et l'état d'organisation des molécules d'un échantillon à analyser.

<sup>5</sup> La spectroscopie par infrarouge est une méthode non destructive qui traite de la région infrarouge du spectre électromagnétique. Cette technique est employée pour l'identification indirecte de la composition chimique d'un échantillon.

Alessia Melelli, Darshil U. Shah, Gemala Hapsari, Roberta Cortopassi, Sylvie Durand, Olivier Arnould, Vincent Placet, Dominique Benazeth, Johnny Beaugrand, Frédéric Jamme & Alain Bourmaud. Lessons on textile history and fibre durability from a 4,000-year-old Egyptian flax yarn. *Nature Plants*, 2021, 7, 1200-1206.

<https://doi.org/10.1038/s41477-021-00998-8>

**Contact scientifique :**

Johnny Beaugrand – [johnny.beaugrand@inrae.fr](mailto:johnny.beaugrand@inrae.fr)

Unité de recherche BIA

Département scientifique TRANSFORM

Centre INRAE Pays de la Loire

**Contact presse :**

Service de presse INRAE : 01 42 75 91 86 – [presse@inrae.fr](mailto:presse@inrae.fr)

Service de presse CNRS : [presse@cnr.fr](mailto:presse@cnr.fr)

---

INRAE, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, est un acteur majeur de la recherche et de l'innovation créé le 1er janvier 2020. Institut de recherche finalisé issu de la fusion entre l'Inra et Irstea, INRAE rassemble une communauté de 12 000 personnes, avec 268 unités de recherche, service et expérimentales implantées dans 18 centres sur toute la France. L'institut se positionne parmi les tout premiers organismes de recherche au monde en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal, et en écologie-environnement. Il est le premier organisme de recherche mondial spécialisé sur l'ensemble « agriculture-alimentation-environnement ». INRAE a pour ambition d'être un acteur clé des transitions nécessaires pour répondre aux grands enjeux mondiaux. Face à l'augmentation de la population, au changement climatique, à la raréfaction des ressources et au déclin de la biodiversité, l'institut construit des solutions pour des agricultures multi-performantes, une alimentation de qualité et une gestion durable des ressources et des écosystèmes.

Le Centre national de la recherche scientifique est une institution publique de recherche parmi les plus reconnues et renommées au monde. Depuis plus de 80 ans, il répond à une exigence d'excellence au niveau de ses recrutements et développe des recherches pluri et inter disciplinaires sur tout le territoire, en Europe et à l'international. Orienté vers le bien commun, il contribue au progrès scientifique, économique, social et culturel de la France. Le CNRS, c'est avant tout 32 000 femmes et hommes et 200 métiers. Ses 1000 laboratoires, pour la plupart communs avec des universités, des écoles et d'autres organismes de recherche, représentent plus de 120 000 personnes ; ils font progresser les connaissances en explorant le vivant, la matière, l'Univers et le fonctionnement des sociétés humaines. Le lien étroit qu'il tisse entre ses activités de recherche et leur transfert vers la société fait de lui aujourd'hui un acteur clé de l'innovation. Le partenariat avec les entreprises est le socle de sa politique de valorisation. Il se décline notamment via près de 200 structures communes avec des acteurs industriels et par la création d'une centaine de start-up chaque année, témoignant du potentiel économique de ses travaux de recherche. Le CNRS rend accessible les travaux et les données de la recherche ; ce partage du savoir vise différents publics : communautés scientifiques, médias, décideurs, acteurs économiques et grand public.

Pour plus d'information : [www.cnr.fr](http://www.cnr.fr)