

## La gélatine dans les modèles Brendel

### Étude et conservation-restauration de modèles pédagogiques au Botanisches Museum UZH Zurich



Mémoire présenté par :

Alice Gerber

Pour l'obtention du

Master of Arts HES-SO in Conservation-restoration  
Orientation objets archéologiques et ethnographiques

Année académique 2020-2021

Remise du travail : *19.07.2021*

Jury : *25/26.08.2021*

Nombre de pages : *118*

*Les modèles botaniques, en tant que représentations visuelles, partagent avec les œuvres d'art qui leur sont contemporaines une démarche d'imitation de leur référent ; ils sont donc évalués selon des critères communs avec celles-ci : perfection de l'imitation, compétences techniques exigées par leur réalisation, et bien sûr aspect esthétique.*

Sanders, 2011



## Engagement

*« J'atteste que ce travail est le résultat de ma propre création et qu'il n'a été présenté à aucun autre jury que ce soit en partie ou entièrement. J'atteste également que dans ce texte toute affirmation qui n'est pas le fruit de ma réflexion personnelle est attribuée à sa source et que tout passage recopié d'une autre source est en outre placé entre guillemets. »*

Date et signature :

## Remerciements

De nombreuses personnes ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement du présent travail. Je remercie donc chaleureusement :

Dr. Habil. Alexander Kocyan, directeur du Botanisches Museum UZH et responsable des objets étudiés, qui a toujours été d'une grande aide, notamment pour organiser des visites dans d'autres collections ou pour trouver des documents historiques, et qui a su mettre beaucoup d'énergie dans l'avancement de ce projet.

Mme Sabina Carraro, restauratrice à la Moulagensammlung UZH et M. Marc Egger, restaurateur indépendant et enseignant en conservation-restauration de matériaux et médias modernes à la HKB Berne, respectivement la responsable de stage et le mentor de ce travail, pour l'encadrement, l'aide, la mise à disposition de matériel, les conseils, l'accompagnement lors des recherches bibliographiques et leur disponibilité.

Le collège des enseignants, Mme Hortense de Corneillan, Dr. Régis Bertholon, Dr. Christian Degrigny, M. Tobias Schenkel, et M. Valentin Boissonnas, pour l'encadrement, l'aiguillage dans le projet, l'aide tant pour des questions simples que très complexes et la disponibilité. Une attention particulière va à M. Boissonnas, grâce à qui j'ai eu la chance de travailler sur ces magnifiques objets.

Mme Anouck Gehrig, restauratrice de tableaux et enseignante à la HE-Arc, pour l'aide précieuse dans le domaine de la conservation-restauration de vernis altérés.

Mme Anne Cuenat et toute l'équipe de la bibliothèque HE-Arc, pour leur réactivité et leur aide dans les recherches de livres, articles et autres supports documentaires. Et pour leur capacité à toujours obtenir les documents les plus introuvables.

Mme Miria Germano, créatrice indépendante de masques et de costumes pour le monde du spectacle et le domaine médical universitaire, pour l'avis d'expert dans la mise en œuvre de moulages à la gélatine.

M. Stéphane Ramseyer et Mme Catherine Cséfalvay, pour leurs conseils précieux et leur aide professionnelle pour la préparation des échantillons enrobés, en particulier leur polissage complexe.

Dr. Nadim Scherrer, Dr. Stefan Zumbühl, Mme Brigitte Lienert et Mme Rita Hofmann, équipe de recherche du laboratoire de la HKB Berne, pour l'aide dans la démarche scientifique, la préparation des échantillons, les analyses FTIR et Raman, la cabine de vieillissement artificiel à la lumière, l'interprétation des résultats et les réponses à mes très nombreuses questions.

Dr Edith Joseph, enseignante et chercheuse à la HE-Arc, pour les cartographies FTIR et Dr Patrick Eppenberger, chef adjoint et analyste à l'Institute of Evolutionary Medicine (IEM) Zurich, pour les radiographies de rayons X.

Mme Tracey Seddon, restauratrice au Liverpool National Museum (GB), Mme Sonja Bulker, restauratrice indépendante à Vienne (AU), Mme Caroline Mottais, restauratrice de céramique et de verre, et Mme Anaïs Gailhbaud, restauratrice spécialisée en matériaux organiques et sculptures, toutes deux mandatées par le Musée de la chasse et de la nature à Paris (FR), Mme Jenny Truran, restauratrice de modèles à la Gallery Oldham (GB) : toutes des personnes ayant travaillé sur des modèles Brendel et qui ont eu la gentillesse de partager leur expérience avec moi.

Toutes les autres personnes qui ont eu la gentillesse de répondre à mes questions, qui m'ont offert leur aide à travers des documents et des conseils avisés : Mme Franziska Parakenings, historienne qui a travaillé sur les modèles Osterloh, Dr. Michael Markert, enseignant à la Georg-August-Universität Göttingen, Dr. Tilde Bayer, responsable des collections à la Friedrich-Schiller-Universität Jena, Mme Heide-Maria et M. Hans-Jürgen Poppe, propriétaires de l'entreprise de modèles de botanique Osterloh-Modelle à Leipzig, Marion, Melissa et Florian, collaboratrices en conservation-restauration et collaborateur-technicien au Botanisches Museum UZH, pour l'environnement de travail très sympathique, leur intérêt pour mon travail et leurs conseils. Un remerciement particulier va à Marion Dangeon pour les corrections et l'aide précieuse durant tout le travail.

Tous mes camarades d'études, les étudiant.e.s des autres volées, pour l'entraide et tous les bons moments durant cette formation et ce travail de diplôme.

Ma famille et mes amis pour avoir contrebalancé l'exigence de ces études et la difficulté d'un tel travail avec beaucoup de patience, d'amour et de bonne humeur. Sans leur soutien, je ne serai pas arrivée jusqu'ici.

## Résumé / Zusammenfassung / Abstract

(Français)

Le présent travail de master a pour sujet la gélatine telle qu'elle est rencontrée dans les modèles anatomiques de plantes Brendel. Datés du milieu du XIXe au début du XXe siècle, ces modèles pédagogiques en trois dimensions de fleurs et autres végétaux, avaient pour but de transmettre sur une large échelle les connaissances en lien avec la botanique. Si à la même époque de nombreuses productions de modèles anatomiques existent, les œuvres Brendel comptent parmi celles qui ont connu une reconnaissance et une diffusion internationale d'envergure déjà au XIXe. Aujourd'hui ces objets sont de plus en plus étudiés. En Suisse, plusieurs collections patrimoniales et hors-musées de modèles sont peu à peu découvertes. Une des particularités Brendel, que l'on ne retrouve pas chez les autres artisans de modèles, est l'utilisation d'une membrane de gélatine pour créer des pièces translucides en volume. Le but de ce travail est d'étudier la technologie de ces pièces en gélatine et de développer puis appliquer un protocole d'intervention de conservation-restauration pour une partie des altérations les plus souvent rencontrées.

L'étude technologique de 19 modèles en gélatine conservés au Botanisches Museum UZH à Zurich a amené à une meilleure connaissance de la matérialité de cette membrane. Elle est composée d'une base en gélatine probablement modifiée à l'aide d'additifs (plastifiants, durcisseur, pigment). Parfois la gélatine est décorée avec de la peinture à l'huile et recouverte d'un vernis diterpénique. L'étude des objets a permis d'émettre plusieurs hypothèses concernant leur mise en œuvre. Deux techniques semblent avoir été utilisées : le moulage par thermoformage d'un film de gélatine pour créer des pièces relativement simples et le moulage par trempage pour créer des volumes complexes. Un essai pratique a permis de confirmer que la technique de moulage par trempage permet d'obtenir des pièces similaires aux objets Brendel en gélatine.

Du point de vue de la conservation-restauration, les modèles en gélatine présentent avant tout des dégradations d'ordre mécanique, notamment des cassures, ainsi que des encrassements des surfaces et des anciennes réparations. Les altérations chimiques varient fortement d'un objet à l'autre en fonction de l'histoire matérielle de chaque pièce (utilisation, conservation) ; généralement la gélatine est stable et le vernis est jauni, craquelé et peu adhérent. Au travers de l'étude d'un objet représentatif, le modèle *Brachythecium rutabulum* (Nr 1), les problématiques de retrait de réparations au ruban adhésif, de nettoyage des surfaces de la gélatine vernie et de collage des cassures ont été abordés. Le gel de silicone KSG 350 Z a été utilisé de deux manières différentes : il a permis, en émulsion avec des solvants, le retrait des résidus de rubans adhésifs, et, en émulsion avec une eau ajustée, le nettoyage contrôlé de la surface en gélatine vernie. Pour le collage des cassures, deux adhésifs ont été retenus, un mélange de Paraloid® B72/B48-N et la colle d'esturgeon. Ceci afin de disposer de plusieurs options lors de la restauration des modèles en gélatine Brendel, en fonction des types de cassures, des contraintes d'application et du résultat recherché.

(Deutsch)

Das Thema dieser Masterarbeit ist die Gelatine, wie sie in Brendels anatomischen Pflanzenmodellen zu finden ist. Aus der Mitte des 19. bis zum frühen 20. Jahrhundert stammend, sollten diese dreidimensionalen pädagogischen Modelle von Blumen und anderen Pflanzen botanisches Wissen in großem Maßstab vermitteln. Obwohl es zur gleichen Zeit zahlreiche Produktionen von anatomischen Modellen gab, gehörten Brendels Kreationen zu denjenigen, die bereits im 19. Jahrhundert internationale Anerkennung und Verbreitung fanden. Heute werden diese Objekte zunehmend untersucht, und in der Schweiz wurden mehrere museale und nicht-museale Sammlungen von Modellen entdeckt. Eine Besonderheit bei Brendel, die bei anderen Modellbauern nicht zu finden ist, ist die Verwendung einer Gelatine-Membrane, um transluzente Volumenteile zu erzeugen. Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Technologie dieser Gelatinemodelle zu untersuchen und ein konservatorisch-restauratorisches Interventionsprotokoll für einige der am häufigsten auftretenden Schäden zu entwickeln und anzuwenden.

Die technologische Untersuchung von 19 Gelatinemodellen, die im Botanischen Museum UZH in Zürich konserviert sind, hat zu einem besseren Verständnis der Materialität dieser Membrane geführt. Sie besteht aus einer Gelatinebasis, die wahrscheinlich mit Zusatzstoffen (Weichmacher, Härter, Pigment) modifiziert ist. Manchmal wird die Gelatine mit Ölfarbe verziert und mit einem diterpenischen Lack überzogen. Die Untersuchung der Objekte hat zu mehreren Hypothesen über ihre Herstellung geführt. Es scheinen zwei Techniken verwendet worden zu sein: das Thermoformen einer Gelatinefolie, um relativ einfache Stücke zu schaffen, und das Tauchformverfahren, um komplexe Volumen zu schaffen. Ein Praxistest bestätigte, dass die Tauchformtechnik ähnliche Teile wie Brendels Gelatine-Objekte erzeugt.

Aus konservatorisch-restauratorischer Sicht weisen Gelatine-Modelle vor allem mechanische Schäden, insbesondere Brüche, sowie Verschmutzung der Oberflächen und alte Reparaturen auf. Die chemischen Schäden sind von Objekt zu Objekt sehr unterschiedlich und hängen von der Materialgeschichte des jeweiligen Stücks ab (Verwendung, Konservierung); im Allgemeinen ist die Gelatine stabil und der Lack vergilbt, rissig und wenig haftend. Durch die Untersuchung eines repräsentativen Objekts, dem Modell *Brachythecium rutabulum* (Nr. 1), wurden die Probleme der Entfernung von Klebebandreparaturen, der Reinigung von lackierten Gelatineoberflächen und der Verklebung von Brüchen behandelt. Das Silikongel KSG 350 Z wurde auf zwei verschiedene Arten verwendet: In Emulsion mit Lösemitteln ermöglichte es die Entfernung von Klebebandresten und in Emulsion mit einer gepufferten Wasserlösung die kontrollierte Reinigung der lackierten Gelatineoberfläche. Für die Verklebung der Brüche wurden zwei Klebstoffe gewählt, eine Mischung aus Paraloid<sup>TM</sup> B72/B48-N und Störleim. Dies geschah, um bei der Restaurierung von Brendel-Gelatine-Modellen mehrere Möglichkeiten zu haben, je nach Art des Bruchs, der Anwendungseinschränkungen und des gewünschten Ergebnisses.



(English)

The subject of this master's thesis is gelatin as found in Brendel's anatomical plant models. Dating from the mid-19th century to the early 20th century, these three-dimensional educational models of flowers and other plants were intended to provide broad knowledge of botanical matter. Although there were numerous productions of anatomical models during the same period of time, Brendel's creations gained international recognition and were already distributed in the 19th century. Today, these objects are increasingly being studied. Several museum and non-museum collections of models have gradually been discovered in Switzerland. A defining attribute found in Brendel's work, that is not found in other model makers' work, is the use of a gelatin membrane to create translucent volume parts. The aim of this master's thesis is to investigate the technology of these gelatin models and to develop and apply a conservation-restoration intervention protocol for some of the most commonly encountered damages.

The technological study of 19 gelatin models preserved in the Botanical Museum UZH in Zurich has led to a better understanding of the materiality of this membrane. It consists of a gelatin base that has presumably been modified with additives (plasticizers, hardeners, pigments). At times the gelatin is decorated with oil paint and covered with a diterpenic varnish. The study of the objects has led to several hypotheses about their fabrication. Two techniques seem to have been used: thermoforming of a gelatin sheet to create relatively simple pieces, and dip molding to create complex volumes. A practical test confirmed that the dip molding technique creates pieces similar to Brendel's gelatin objects.

From a conservation-restoration point of view, gelatin models mainly show mechanical damage, especially fractures, as well as soiling of the surfaces and old repairs. Chemical damages vary greatly from object to object and depend on the material history of the particular piece (use, conservation); the gelatin is generally unchanged, but the varnish has yellowed, cracked, and has become poorly adherent. Through the examination of a representative object, the model *Brachythecium rutabulum* (No. 1), the problems of removing tape repairs, cleaning varnished gelatin surfaces and bonding breaks were addressed. The silicone gel KSG 350 Z was used in two different ways: in an emulsion with solvents it allowed the removal of adhesive tape residues and in an emulsion with a buffered water solution it allowed the controlled cleaning of the lacquered gelatin surface. Two adhesives were chosen for bonding the fractures, a mixture of Paraloid™ B72/B48-N and sturgeon glue. The reason for choosing these was to have several options when restoring Brendel's gelatin models, depending on the type of fracture, the application restrictions, and the desired result.

# Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>3</b>
<b>Résumé / Zusammenfassung / Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Partie I – Contexte historique et cadre théorique.....</b>	<b>12</b>
1.1 Le Botanisches Museum UZH .....	12
1.2 Les modèles Brendel.....	14
1.2.1 <i>Histoire des maquettes de botanique .....</i>	<i>14</i>
1.2.2 <i>L'entreprise Brendel .....</i>	<i>22</i>
1.2.3 <i>Les collections aujourd'hui.....</i>	<i>26</i>
1.3 La gélatine .....	29
1.3.1 <i>Définition et production.....</i>	<i>29</i>
1.3.2 <i>Propriétés.....</i>	<i>31</i>
1.3.3 <i>Utilisations.....</i>	<i>33</i>
1.3.4 <i>Stabilité.....</i>	<i>34</i>
<b>2 Partie II - Etude technologique des modèles en gélatine .....</b>	<b>35</b>
2.1 Corpus d'objets étudiés.....	35
2.2 Utilisation de la gélatine dans les modèles Brendel .....	37
2.3 Approche historique.....	40
2.3.1 <i>Sources du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles .....</i>	<i>40</i>
2.3.2 <i>Additifs d'époque pour la gélatine .....</i>	<i>42</i>
2.4 Identification des matériaux .....	43
2.4.1 <i>Matériaux principaux.....</i>	<i>44</i>
2.4.2 <i>Autres matériaux rencontrés sur les modèles.....</i>	<i>49</i>
2.5 Etude approfondie de la fabrication des objets .....	54
2.5.1 <i>Observations de mise en œuvre.....</i>	<i>54</i>
2.5.2 <i>Trois différents types de pièces.....</i>	<i>62</i>
2.6 Approche expérimentale .....	70
2.6.1 <i>Modification des propriétés de la gélatine.....</i>	<i>70</i>
2.6.2 <i>Essai de mise en œuvre par trempage .....</i>	<i>72</i>

<b>3</b>	<b>Partie III – Conservation-restauration de <i>Brachythecium</i></b>	<b>75</b>
3.1	Examen diagnostique	75
3.1.1	<i>Description</i>	76
3.1.2	<i>Constat d'état</i>	83
3.1.3	<i>Diagnostic et pronostic</i>	88
3.1.4	<i>Valeurs culturelles associées</i>	91
3.2	Proposition d'intervention	93
3.2.1	<i>Dépoussiérage et nettoyage à sec</i>	93
3.2.2	<i>Protocole de nettoyage aqueux</i>	94
3.2.3	<i>Protocole de retrait des réparations au ruban adhésif</i>	102
3.2.4	<i>Protocole de collage</i>	105
3.3	Interventions de conservation-restauration	106
3.3.1	<i>Retrait des rubans adhésifs</i>	107
3.3.2	<i>Dépoussiérage et nettoyage</i>	108
3.3.3	<i>Collage</i>	110
3.3.4	<i>Bilan des interventions</i>	112
3.3.5	<i>Suivi de l'objet</i>	115
<b>4</b>	<b>Discussion</b>	<b>116</b>
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>118</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>119</b>
<b>7</b>	<b>Annexes</b>	<b>130</b>
7.1	Glossaire	130
7.2	Liste des figures et tableaux	131
7.2.1	<i>Figures</i>	131
7.2.2	<i>Tableaux</i>	136
7.2.3	<i>Autre</i>	137
7.3	Patentes	138
7.4	Corpus de modèles Brendel en gélatine étudiés	141
7.4.1	<i>Botanisches Museum UZH</i>	141
7.4.2	<i>Kantonsschule Küsnacht</i>	152
7.4.3	<i>Kantonsschule Rämibühl</i>	158
7.4.4	<i>Kantonschule Burgdorf</i>	159
7.4.5	<i>Écoles visitées</i>	160
7.5	Photographies	163
7.6	Etude sur les collections Brendel en Suisse	169

7.7	Recensement des modèles en gélatine dans les catalogues.....	172
7.8	Prises d'échantillons.....	173
7.8.1	<i>Protocole d'échantillonnage .....</i>	<i>173</i>
7.8.2	<i>Cartographie des prélèvements.....</i>	<i>173</i>
7.8.3	<i>Description des échantillons.....</i>	<i>176</i>
7.9	Coupes enrobées.....	178
7.9.1	<i>Préparation.....</i>	<i>178</i>
7.9.2	<i>Description des coupes.....</i>	<i>178</i>
7.10	Tests .....	184
7.10.1	<i>Solvants utilisés .....</i>	<i>184</i>
7.10.2	<i>Test de réactivité aux solvants sous microscope .....</i>	<i>185</i>
7.10.3	<i>Test de solubilité .....</i>	<i>187</i>
7.10.4	<i>Spot-test Amino Black 3 .....</i>	<i>188</i>
7.11	Mesures de pH et conductivité.....	190
7.12	Techniques d'imagerie et analyses.....	194
7.12.1	<i>Radiographie rayons-X .....</i>	<i>194</i>
7.12.2	<i>Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier .....</i>	<i>198</i>
7.12.3	<i>Spectroscopie Raman.....</i>	<i>213</i>
7.13	Essais de modification de la gélatine à l'aide d'additifs .....	216
7.14	Constat d'état.....	222
7.14.1	<i>Cartographie complète Brachythecium (Nr 1) Botmus .....</i>	<i>222</i>
7.14.2	<i>Etat de conservation du corpus étudié.....</i>	<i>223</i>
7.14.3	<i>Constat d'état du corpus étudié .....</i>	<i>229</i>
7.15	Tests de collage et de nettoyage .....	230
7.15.1	<i>Création des éprouvette-test .....</i>	<i>230</i>
7.15.2	<i>Protocole de vieillissement artificiel .....</i>	<i>231</i>
7.15.3	<i>Test de nettoyage.....</i>	<i>234</i>
7.15.4	<i>Test de collage .....</i>	<i>236</i>
7.16	Contacts et entretiens.....	245
7.17	Fiches techniques .....	247

## Notes au lecteur

Toutes les images et illustrations : ©Alice Gerber/BOTMUS et HE-ARC, les exceptions sont signalées

Les mots mis en évidence par une \* sont définis dans le glossaire en Annexe 7.1, p.130

# Introduction

Dans le cadre effervescent des sciences naturelles au XIXe siècle, les modèles anatomiques sont des témoins fascinants et colorés d'une époque marquée par cette exaltation scientifique. Ces modèles, maquettes et spécimens artificiels, ont répondu à un besoin croissant de transmettre et faire comprendre à un public de plus en plus large, dans des auditoriums toujours plus grands, le fonctionnement des organismes vivants les plus complexes. Cette forte demande a entraîné l'émergence d'une grande variété de productions de modèles anatomiques artisanaux ou manufacturés en séries. Le but premier de ces objets étant la transmission des connaissances, ils seront peu à peu oubliés au cours du XXe siècle, remplacés par d'autres supports d'enseignements ou d'autres productions plus industrialisées. Aujourd'hui, ces objets anciens sont revalorisés en tant que biens patrimoniaux. Ils témoignent en effet des sujets enseignés au XIXe siècle et surtout de l'ingéniosité sans limite que les artisans ont développé pour concevoir et fabriquer des œuvres aussi exactes scientifiquement qu'intrigantes et belles visuellement. Certains ateliers de modèles du XIXe, comme Blaschka et Auzoux, sont aujourd'hui célèbres et leurs créations ont été étudiées en détail. Les autres productions restent en revanche peu connues. Les modèles en papier-mâché et autres matériaux des allemands Robert et Reinhold Brendel ont éveillé l'intérêt du domaine patrimonial depuis déjà quelques dizaines d'années. Malgré le peu d'informations disponibles à leur sujet, ces modèles fascinent car ils présentent certaines caractéristiques uniques, notamment l'utilisation de gélatine comme matériau de base pour créer des pièces en trois dimensions translucides.

Mis à part quelques objets anecdotiques, père et fils Brendel sont les seuls à avoir utilisé cette membrane de gélatine pour produire une large gamme de modèles complexes, aux formes aériennes et à l'étrange beauté. Le Botanisches Museum de l'université de Zurich (Botmus) possède une importante collection de modèles Brendel et a établi de nombreux contacts avec des écoles possédant encore ce type d'objets pédagogiques.

Dans ce contexte, le but premier du présent travail de master est de tenter de comprendre la technologie de ces objets peu étudiés et de trouver des traces de fabrication sur les modèles Brendel en gélatine qui permettraient de mieux saisir cette production. Ceci se fera principalement au travers de recherches historiques, d'une étude approfondie des objets à disposition et d'essais pratiques. Ensuite sera abordée la problématique de la conservation-restauration de ces modèles en gélatine. Ce matériau pose de nombreux défis de par sa fragilité mécanique et sa sensibilité à de nombreux facteurs, comme la chaleur ou l'eau. La rareté et l'état de conservation souvent précaire de ces objets rendent nécessaire le développement de techniques adaptées au nettoyage de ces surfaces sensibles, au collage de pièces complexes faites d'un matériau organique fragile et au retrait de réparations de fortunes, plus particulièrement d'anciens rubans adhésifs. Cette partie sera illustrée au travers du traitement d'une pièce en gélatine du modèle *Brachythecium rutabulum* (Nr 1).



# 1 Partie I – Contexte historique et cadre théorique

## 1.1 Le Botanisches Museum UZH

Le Botanisches Museum der Universität Zürich (Botmus) est un musée universitaire rattaché au campus de la ville de Zurich en Suisse. Il a été fondé en 1895 par Hans Schinz (1858 - 1941), un explorateur et botaniste zurichois, qui, cette même année, est nommé professeur titulaire de botanique systématique et directeur du jardin botanique<sup>1</sup>. Schinz a pris à cœur de collecter tout ce qui avait un lien avec la botanique. En quelques dizaines d'années, la collection se développe et se compose alors d'un herbier de plusieurs milliers de fascicules, de nombreuses préparations sèches et humides, d'une bibliothèque spécialisée et de plusieurs modèles anatomiques. Le musée se trouvait initialement dans l'ancien jardin botanique, à la Pelikanstrasse.



*Fig. 1 Jardin botanique de Zurich ©Botanica Suisse*

Il déménage en 1976 vers le nouveau jardin botanique (Fig. 1, ci-dessus). Il est alors rejoint par deux instituts universitaires (Botanique systématique et Biologie végétale) qui ajoutent plusieurs objets à la collection. Par manque de place, le musée botanique va déménager plusieurs fois ses collections entre le bâtiment de l'institut de botanique, situé à la Zollikerstrasse 107, et la Villa Rainhof, bâtiment historique de la Zollikerstrasse 137, au sein même de ce nouveau jardin botanique<sup>2</sup>.

Actuellement, le musée ne possède pas d'espace d'exposition qui lui soit propre. La configuration des réserves n'est pas adaptable en dépôt visitable. Les seules occasions où les collections sont montrées au public sont les expositions organisées dans d'autres locaux, les prêts ou les collaborations avec d'autres institutions. Les précieuses fleurs antiques séchées égyptiennes du Botmus ont par exemple été présentées lors de l'exposition « Fleurs des pharaons » au Laténium (2013 – 2014) (Fig. 2, p.13).

---

<sup>1</sup> Honegger, 2018, p.11

<sup>2</sup> Ibid., p.12-14

La situation actuelle est un compromis, avec des réserves qui se situent dans un abri de la protection civile de l'Institut de botanique et dans le sous-sol de la Villa Rainhof. Des dépôts centralisés pour toutes les collections liées à l'Université de Zurich sont en cours de conception ; la situation du musée pourrait changer dans les années à venir.

Aujourd'hui, les collections du Botmus sont très diversifiées. Elles comprennent bien sûr des herbiers, des collections de plantes ou d'organes de plantes séchées ou en fluide, des arts graphiques (dessins, impressions, diapositives, photographies), divers objets en lien avec la botanique et l'utilisation des plantes (microscopes, boîtes de récolte, ethnobotanique), des pièces d'archéobotanique mais aussi de nombreux supports didactiques tels que des tableaux explicatifs ou les modèles anatomiques. Ceux-ci font partie des œuvres très précieuses du musée.

La collection comprend environ 90 modèles pédagogiques Brendel, PhyWe et Osterloh, et a récemment été agrandie grâce à des prêts permanents ou des dons d'écoles de la région zurichoise. L'actuel conservateur est le Dr. Habil. Alexander Kocyan.



Fig. 2 Affiche de l'exposition  
« Fleurs des Pharaons »  
©Laténium



Fig. 3 Exemples de collections du Botanisches Museum UZH : Boîtes didactiques de fibres filées, collections de graines, spécimens en fluide et modèles pédagogiques ©Honegger 2018/BOTMUS

## 1.2 Les modèles Brendel

### 1.2.1 Histoire des maquettes de botanique

Le XIXe siècle est une époque où les sciences naturelles sont en grande effervescence. La biologie est définie comme une science à part entière qui a pour but d'expliquer « les phénomènes que manifestent les divers corps de la nature ». La botanique, quant à elle, se concentre sur l'étude des plantes, de leurs structures, de leurs activités et de leurs modes de développement, notamment grâce aux perfectionnements de la microscopie<sup>3</sup>. A partir de 1850, apparaissent des collections et matériels dédiés aux sciences dans les catalogues d'équipement pour l'enseignement<sup>4</sup>. Le milieu académique cristallise cette exaltation scientifique. Les universités allemandes, véritables centres de recherches, rassemblent des biologistes de réputation internationale.



*Fig. 4 Auditoire de botanique Université de Namur, carte, Jean Lemaire, 1948 ©Bogaert-Damin 2007*

Ce contexte mène à une forte demande de supports d'enseignement adaptés à une transmission du savoir à large échelle. En effet, l'apprentissage de la biologie et de la médecine se heurte à quelques difficultés. Les organismes vivants, parfois de très petites tailles, ne sont pas toujours à disposition et certains stades de développement sont trop fugaces pour être capturés à l'œil nu<sup>5</sup>. Les dessins présentent l'inconvénient d'être en deux dimensions tandis que les herbiers perdent leurs couleurs avec le temps et ne peuvent pas être agrandis (Fig. 5, p.15). Les collections en fluide posent le problème d'un affaissement et/ou d'une décoloration des organismes fragiles (Fig. 6, p.15), et les spécimens ne peuvent pas être manipulés directement. Là encore, les éléments les plus petits restent imperceptibles. La photographie, bien que connaissant des avancées spectaculaires, notamment au niveau des prises de vue microscopiques<sup>6</sup>, présente les mêmes désavantages que les autres reproductions graphiques en deux dimensions.

---

<sup>3</sup> Bogaert-Damin, 2007, p.147

<sup>4</sup> Ibid., p.147

<sup>5</sup> Sanders, 2011, p.5-7

<sup>6</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.35





Fig. 5 Herbier XVIIe siècle ©Université Lorraine



Fig. 6 Spécimen en fluide dégradé ©M.Dangeon 2016

En botanique, les fleurs sont particulièrement difficiles à enseigner, car infiniment complexes, fragiles et disponibles uniquement à certaines périodes de l'année ou dans certains lieux précis<sup>7</sup>. Elles se dégradent en outre rapidement une fois cueillies et perdent leurs couleurs lorsqu'elles sont séchées.

Les maquettes en trois dimensions, les modèles anatomiques, se sont dès lors très rapidement imposées comme supports didactiques idéaux, pour compléter les moyens décrits précédemment (Fig. 7, ci-dessus).



Fig. 7 Viola Tricolor : Planche anatomique ©Reichenbach 1834 et modèle anatomique Brendel ©Alice Gerber/BOTMUS

<sup>7</sup> Bogaert-Damin, 2007, p.148

Véritables œuvres complexes et sophistiquées, ces maquettes rendent possible la représentation d'éléments en volume, qui, si nécessaire, peuvent être agrandis et/ou schématisés. Ces modèles sont des imitations fidèles et scientifiquement rigoureuses qui permettent d'observer des éléments du domaine de la biologie ou de la médecine sous toutes leurs facettes et d'en faciliter la compréhension. Ils présentent les structures externes mais aussi internes des spécimens. Certains modèles sont en effet démontables en plusieurs parties grâce à des systèmes mécaniques complexes (Fig. 8, ci-dessous). Ainsi, les détails anatomiques au cœur d'une fleur peuvent être facilement enseignés et compris.



*Fig. 8 Modèle Brendel démontable Aristolochia (Nr 102) ©Alice Gerber/BOTMUS*

Les modèles anatomiques ne sont pas pour autant une idée totalement neuve au XIXe siècle. Les versions les plus anciennes de modèles sont difficiles à distinguer des sculptures décoratives. Au XVIIIe siècle, apparaissent des créations en bois, ivoire, textile ou métal qui tentent de donner des représentations anatomiques exactes (Fig. 9, ci-dessous)<sup>8</sup>. C'est également à cette époque que le terme « modèle » commence à définir « tous les objets d'imitation » et est utilisé pour désigner les représentations en trois dimensions du monde vivant<sup>9</sup>.



*Fig. 9 Modèle anatomique de femme enceinte (20 cm), ivoire, Allemagne, 1600-1700 ©Science Museum Group UK*

<sup>8</sup> Olry, 2000, p.31 et 33

<sup>9</sup> Bogaert-Damin, 2007, p.157



L'histoire des modèles spécifiquement créés pour l'enseignement des sciences naturelles commence avec les modèles en cire peinte. Ceux-ci sont produits en Europe dès le XVIII<sup>e</sup> siècle pour des domaines aussi variés que la zoologie, la médecine ou la botanique. Si visuellement le rendu est très réaliste et esthétique, ces modèles sont fragiles et coûteux, difficilement manipulables par des étudiants<sup>10</sup>. Le rendu externe est une imitation fidèle, mais les modèles ne peuvent pas être démontés pour dévoiler les structures internes et leur agencement. Parmi les nombreuses collections de modèles de botanique en cire recensées aujourd'hui, celle de l'Université de Florence est l'un des exemples les plus impressionnants.



Fig. 10 « Fécondation de citrouille » et « Strelitzia reginae », modèles en cire, vers 1800, Università degli Studi di Firenze ©Nepi 2009

Les œuvres en verre produites par Blaschka Leopold (père, 1822-1895) et Rudolf (fils, 1857-1939) sont probablement les modèles anatomiques les plus remarquables et prestigieux connus à ce jour. Ces créations fascinent aujourd'hui encore par leur complexité et leur finesse, et restent inégalées dans l'artisanat verrier.

Si initialement la production des Blaschka se concentrait sur les invertébrés marins, ils ont par la suite créé de nombreuses pièces représentant des plantes et des fleurs, notamment dans le cadre d'un contrat exclusif avec l'Université de Harvard<sup>11</sup>. La stupéfiante beauté de ces objets et leur rigueur scientifique est incontestable. Leur fragilité et l'impossibilité de faire des modèles démontables les rendent cependant peu aptes à un enseignement pratique. L'imitation est en outre si parfaite qu'elle ne permet pas aux étudiants

<sup>10</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.36

<sup>11</sup> Reiling, 2009, p.268

d'extraire l'essentiel de la morphologie d'un spécimen comme le ferait un modèle simplifié<sup>12</sup>. Ces œuvres en verre ont donc été progressivement abandonnées comme support d'enseignement, au profit de leur appréciation purement esthétique.



Fig. 11 Collection de modèles en verre Blashka, fin XIXe, Université de Harvard, Cambridge ©Harvard University

Au cours du XIXe siècle, afin de pallier aux limites et inconvénients des modèles anatomiques existant, il a donc été nécessaire de développer un matériau solide, léger, facile à mettre en œuvre et peu coûteux. Louis Auzoux (1797-1880) est un des premiers à développer les modèles à base de papier-mâché<sup>13</sup>, matériau qui remplissait toutes ces conditions. Lorsque le jeune français effectuait ses études de médecine à Paris, il fut confronté à des cours de dissection difficiles, car les cadavres se décomposaient facilement sans réfrigération<sup>14</sup>. Il commence alors à imaginer des modèles anatomiques pour permettre une compréhension facilitée du corps humain.

En 1822, Auzoux présente son premier modèle en papier-mâché qui reproduit la partie supérieure d'un pelvis. Il rencontre un succès immédiat<sup>15</sup>. La technique de création est très complexe, incluant du papier-mâché en bandelettes ou en pâte, avec différents additifs tels que de la chaux, du liège ou de l'amidon, mis en forme dans des moules en métal<sup>16</sup>. Les différentes parties pouvaient être collées ou assemblées avec

<sup>12</sup> Daston, 2003, p.9

<sup>13</sup> Nijhoff Asser *et al.*, 2008, p.286

<sup>14</sup> Ibid.

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> Orly, 2000, p. 32 ; Nijhoff Asser *et al.*, 2008, p.287

des fils de fer ou des clous<sup>17</sup>. Les détails, notamment les veines illustrées avec du fil métallique entouré de chanvre, étaient ensuite ajoutés. Les modèles étaient finalement peints à la main puis vernis<sup>18</sup>. Bien qu'Auzoux soit avant tout connu pour ses pièces d'anatomie humaine et animale, constituées de plusieurs dizaines de parties amovibles, il a également fabriqué des maquettes de plantes (Fig. 12, ci-dessous).



*Fig. 12 Modèle de fleur de Chrysanthème, Auzoux, XIXe, Musée National de l'Éducation ©Gouriveau 2016*

Les modèles Brendel apparaissent dans ce même contexte. Ils sont principalement réalisés en papier-mâché, mais également en de nombreux autres matériaux tels que textiles, bois, verre, métal, gélatine, etc.



*Fig. 13 Modèles Brendel de la collection du Botmus ©Ruedi Habegger/BOTMUS*

<sup>17</sup> Nijhoff Asser *et al.*, 2008, p.287

<sup>18</sup> Gouriveau, 2016, p.93 ; Nijhoff Asser *et al.*, 2008, p.287



La production Brendel est avérée entre 1866 et 1927, mais l'histoire de l'entreprise demeure peu connue (voir chapitre 1.2.2).

Durant la seconde moitié du XXe siècle, l'entreprise allemande PhyWe à Göttingen produit des modèles anatomiques de botanique avec l'appellation « Original „Brendel Modell" » et utilise le logo des Brendel. Le lien entre les deux productions n'est pas établi, mais les modèles PhyWe sont à la fois étrangement similaires et très différents des créations Brendel. Les PhyWe sont souvent identifiables grâce à leur pied gris et rectangulaire, aux étiquettes, et à un aspect plus plastique/synthétique de la plante représentée. Autre point important, aucun modèle PhyWe ne présente de parties translucides en gélatine.



Fig. 14 Modèle PhyWe et étiquette ©Alice Gerber/BOTMUS

A la même époque, Paul Osterloh fabrique des modèles zoologiques et botaniques à Leipzig (DE). La production commence officiellement en 1886 avec des modèles d'animaux ; les modèles de botaniques (Fig. 15, p.21) seront plus tardifs, datés plutôt après 1910<sup>19</sup>. Osterloh utilise également le papier-mâché, mais il intègre de nombreux autres matériaux : des textiles, des plumes, du métal, du verre et même du celluloïd en 1896<sup>20</sup>.

Il présente un exemplaire d'invertébré en gélatine pure à l'International Zoological Congress de 1901 à Berlin. Actuellement, seuls deux de ces modèles en gélatine Osterloh (Fig. 16, p.21) sont connus et leur état de conservation est critique<sup>21</sup>. L'entreprise existe encore aujourd'hui et continue à produire des modèles botaniques. Depuis 1968, ceux-ci sont cependant fabriqués avec un matériau synthétique plus robuste<sup>22</sup>.

<sup>19</sup> <http://www.osterloh-modelle.de/ber%20uns.htm>

<sup>20</sup> Hackethal, 2008, p.24-25

<sup>21</sup> Ibid., p.25

<sup>22</sup> Ibid., p.26



Fig. 15 Modèle *Drosera rotundifolia* Osterloh, XXe  
©Parakenings 2013



Fig. 16 Modèle d'invertébrés en gélatine *Aurelia aurita*  
Osterloh, vers 1900, Institute of Biology University of  
Leipzig ©Hackethal 2008

La liste des types de modèles ou des fabricants aux XIXe et XXe siècles est encore longue et il est impossible d'être exhaustif. Chaque artisan avait ses secrets de fabrication. De nombreuses productions sont uniques et curieuses, comme par exemple les herbiers artificiels de Marie Fortier ou Christina Jauch, constitués de fleurs délicates en tissus, présentées de la même manière qu'un herbier (Fig. 17, ci-dessous)<sup>23</sup>.



Fig. 17 Marie Fortier, Herbier artificiel, fin XIXe, Textile, matériaux divers. Instituto Cardenal Cisneros, Madrid ©Tessier 2020

<sup>23</sup> Tessier, 2020, p.85-88



## 1.2.2 L'entreprise Brendel

Les modèles dits « Brendel » désignent des maquettes anatomiques de plantes, de fleurs, d'organes de végétaux ou d'autres spécimens, fabriqués entre 1866 et 1927 par Robert Brendel (1821-1898) et son fils Reinhold Brendel (1861 – 1927).

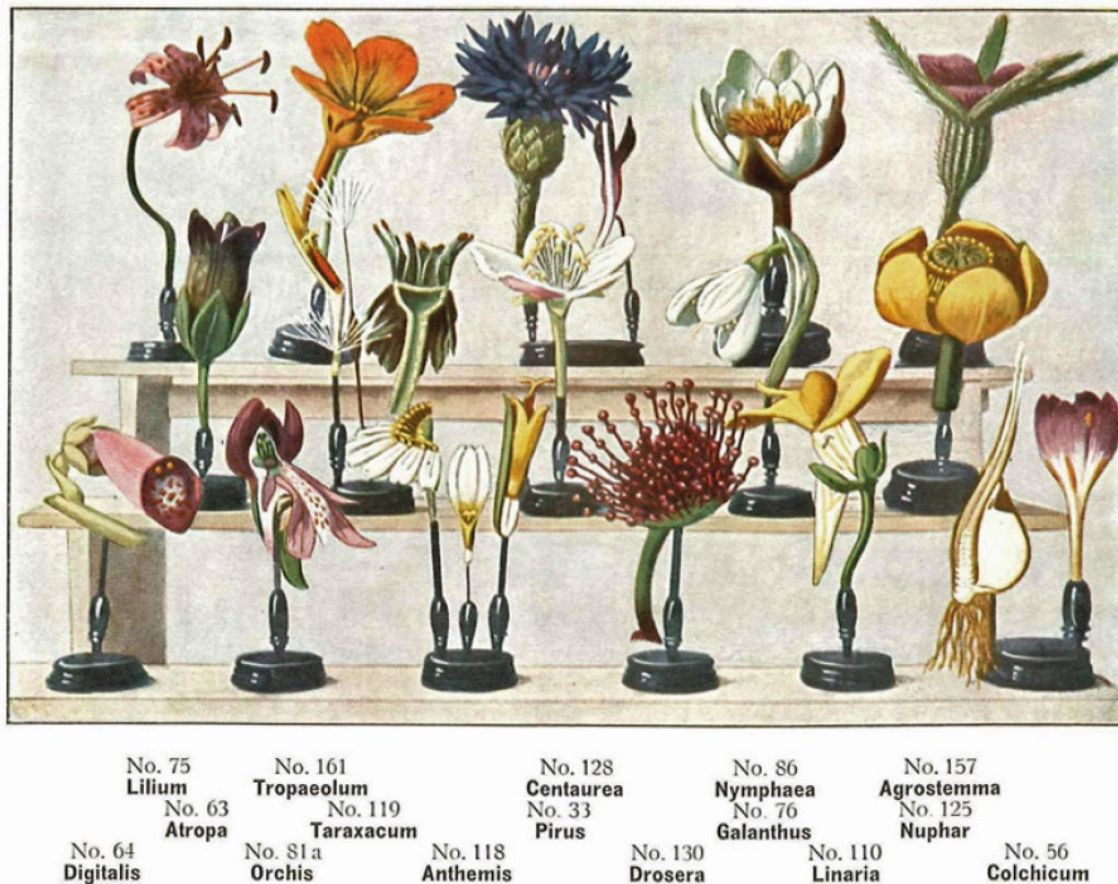


Fig. 18 Dessin présentant divers modèles et leur numéro dans un catalogue Brendel ©Brendel 1913-1914

C'est à Breslau (aujourd'hui Wrocław en Pologne) que Robert Brendel (1821-1898) installe dans les années 1860 une fabrique de modèles destinés à l'enseignement des sciences<sup>24</sup>. Leurs catalogues indiquent 1866 comme année de fondation de l'entreprise. C'est également en 1866 que la première liste de modèles de fleurs réalisés par Robert Brendel apparaît dans le journal de la Société de Botanique de France. 30 différents modèles y figurent, décrits comme étant fait de « carton-pâte et autres matériaux »<sup>25</sup>. Parmi les fleurs représentées, il y a par exemple un modèle d'*Iris germanica* ou de *Lilium martagon* (Fig. 19 et Fig. 20, p.23). Aucun des modèles datant de 1866 ne semble comporter de parties translucides en gélatine<sup>26</sup>.

<sup>24</sup> Bogaert-Damin, 2007, p. 173

<sup>25</sup> Fournier, 1866, p.96

<sup>26</sup> Ibid.



Fig. 19 *Iris germanica* (Nr 78) ©Université de Namur



Fig. 20 *Lilium martagon* (Nr 75) ©Université de Namur

Robert Brendel se base sur le travail réalisé préalablement par le pharmacien Carl Leopold Lohmeyer (1799-1873) de Breslau. Déjà au début du XIX<sup>e</sup> siècle, Lohmeyer confectionnait de nombreux modèles de fleurs exotiques ou indigènes en Allemagne<sup>27</sup>. Dans les années 1860, Lohmeyer et Brendel travaillent ensemble<sup>28</sup>, sous les conseils et avec l'appui du Dr. Prof. Ferdinand Julius Cohn (1828-1898), directeur de l'Institut de botanique de l'université de Breslau. Dr. Cohn restera proche de Robert Brendel et participera à la promotion de ses modèles dans le milieu académique.

Pour la distribution internationale de leurs produits, les Brendel ont édité plusieurs catalogues avec quelques illustrations de modèles et les prix (Fig. 21, p.24). Dans ces catalogues, une courte introduction présente l'entreprise et le but des modèles. Les Brendel, forts du soutien de nombreux botanistes émérites et d'un succès international couronné de nombreuses médailles, affirment ainsi offrir une haute qualité de fabrication et d'exactitude scientifique<sup>29</sup>. Le but des modèles qu'ils produisent est purement pédagogique, fabriqués pour « faciliter non seulement la compréhension des élèves, mais également stimuler l'enseignement<sup>30</sup> ».

<sup>27</sup> Josef Max *et al.*, 1870, p.167

<sup>28</sup> Ibid.

<sup>29</sup> Brendel, 1900-1901; Brendel, 1913-1914

<sup>30</sup> « Um den Schluss zu ziehen: botanische Modelle werden nicht bloß den Schülern die Auffassung erleichtern, sondern zugleich auch den Unterricht anregend gestalten ». Brendel, 1900-1901

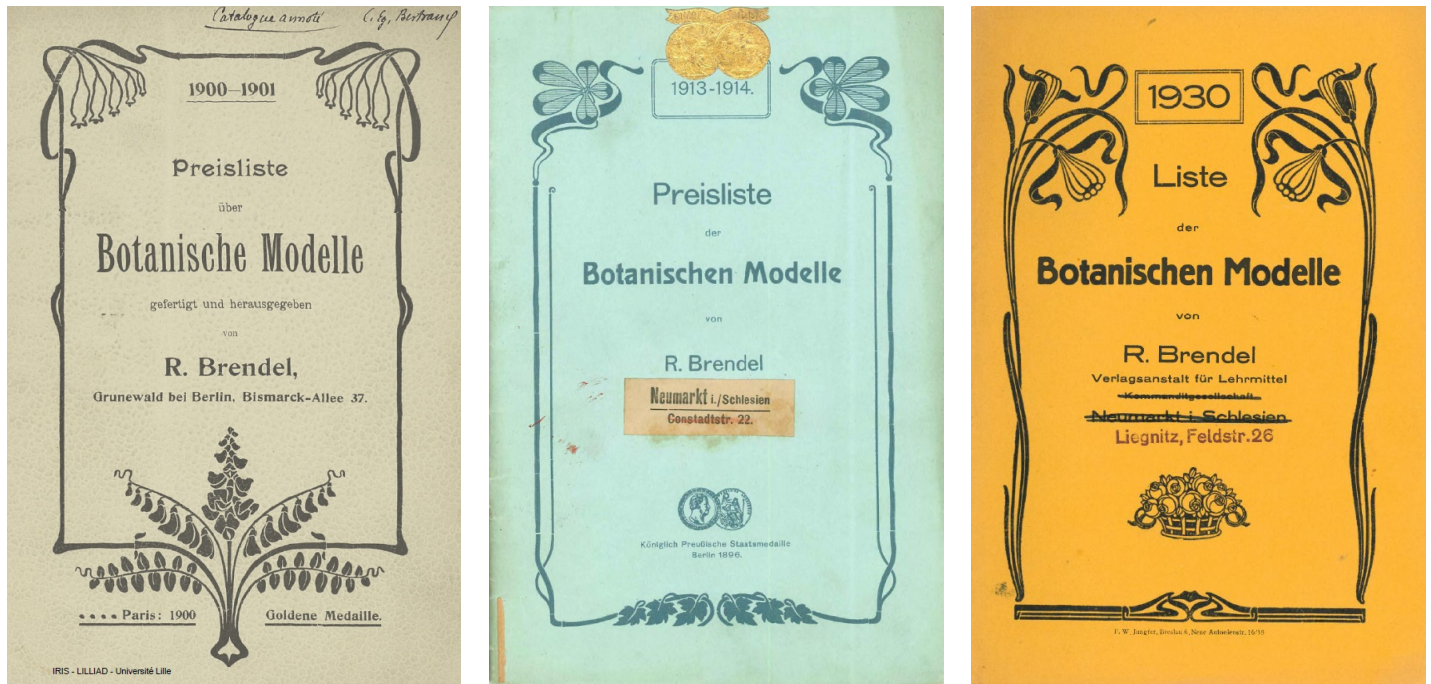


Fig. 21 Catalogues Brendel : 1900-1901, 1913-1914 et 1930 ©Brendel

Le catalogue, ou plutôt le répertoire de modèles botaniques Brendel le plus ancien disponible aujourd'hui date de 1885. Une centaine de modèles y sont décrits en quelques mots. Le nom scientifique, l'agrandissement du spécimen représenté et le prix de chaque modèle sont également indiqués. Les exemplaires les plus complexes, notamment le *Brachythecium rutabulum* (Nr 1) (fait en partie avec de la gélatine), requièrent un délai de livraison de 2 à 3 mois<sup>31</sup>. Dans ce catalogue, les Brendel proposent également une série de 12 modèles prévus pour les écoles primaires.

Reinhold Brendel, probablement investi dans l'entreprise familiale depuis son plus jeune âge, prend définitivement la succession de son père lorsque celui-ci meurt en 1898. Peu avant la mort de Robert Brendel, Reinhold déménage l'entreprise familiale vers Berlin. Même si les sources littéraires s'accordent pour dater le déménagement à 1896, une adresse à Berlin figure déjà sur le catalogue de 1885<sup>32</sup>.

L'entreprise Brendel sera successivement présente à plusieurs adresses de la capitale allemande<sup>33</sup>. Nous ignorons si toute la production a déménagé en même temps à ces différents lieux ; compte tenu de la quantité de modèles produits, cela semble toutefois peu probable. Il est possible que les modèles étaient d'abord fabriqués à un endroit tandis que la distribution était située dans un lieu plus stratégique.

Les catalogues de 1900-1901 et de 1913-1914 sont très similaires. La version plus tardive contient cependant plus d'illustrations et des images colorées pour mettre en valeur certains modèles. Plus de 300

<sup>31</sup> Brendel, 1885

<sup>32</sup> Réf. Reiling Fiorini etc. Brendel, 1885

<sup>33</sup> Sur les catalogues : d'abord à la Kürfürstendamm 101, puis à la Ansbacher Strasse 56, la Schillstrasse 11 et finalement à la Bismarck-Allee 35/37 dans Grunewald bei Berlin. (Brendel, 1885 ; Brendel, 1890 ; Brendel, 1900-1901)



entrées de modèles botaniques peuvent être dénombrés. Il y a cependant plusieurs répétitions, ce qui réduit quelque peu ce chiffre. Les modèles sont organisés en « séries » et un numéro est attribué à chaque pièce.

Dans le domaine de la biologie, les Brendel bénéficiaient du soutien de nombreux de leurs pairs. De leur vivant, plusieurs professeurs rédigent des fascicules explicatifs avec des indications scientifiques pour décrire les modèles, notamment le Dr. Eduard Eidam (1845-1901) de Breslau et Dr. Alexander Tschirch (1856-1939) de Berne<sup>34</sup>. Les modèles Brendel gagnent également de nombreuses médailles, aux expositions de Moscou en 1872, Cologne en 1890, Buenos Aires en 1910 et aux Expositions universelles de Chicago (1893), Paris (1900) et St. Louis (1904)<sup>35</sup>.

La période de l'entreprise à Berlin-Grunewald est l'une des plus florissantes. La villa, située dans un quartier résidentiel, a été construite par Reinhold Brendel dès 1896. Elle comprend 262 m<sup>2</sup> de surface habitable sur plusieurs étages et un sous-sol aménagé pour le commerce de modèles<sup>36</sup>.

### Le destin particulier de la villa Brendel à Berlin



En 1922, la villa est rachetée par Hartog Frank, un homme d'affaires juif d'origine hollandaise. Lorsqu'en 1933, le gouvernement du III<sup>e</sup> Reich interdit l'accès à l'école aux enfants juifs, l'école privée Waldschule Kaliski cherchera à trouver des lieux pour instruire les jeunes de la communauté persécutée. Seuls les bourgeois aisés d'origine juifs sont d'accord de mettre à disposition leurs maisons, et M. Hartog, émigré depuis 1931 aux USA, n'utilise plus la villa à Grunewald. De 1933 à 1936, la Waldschule Kaliski s'installera dans l'ancienne demeure des Brendel. La villa sera complètement détruite dans un bombardement en 1943. (Busemann 1992)

*Encadré 1 Histoire de la Villa Brendel à Berlin-Grunewald*

Autour des années 1920, Reinhold Brendel installe l'entreprise familiale à Neumarkt in Schlesien (aujourd'hui Środa Śląska, Pologne), ville proche de Breslau. Il décédera le 17 août 1927, à l'âge de 66 ans, après une longue et grave maladie<sup>37</sup>. Dans le compte-rendu de séance de la *Deutsche Botanische Gesellschaft* qui annonce sa mort, Reinhold Brendel est cité comme « propriétaire de fabrique » à Liegnitz in Schlesien (aujourd'hui Legnica, Pologne)<sup>38</sup>. A partir de cette date, le destin de la production Brendel devient très flou.

<sup>34</sup> Reiling, 2003, p.230

<sup>35</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.37

<sup>36</sup> Busemann *et al.*, 1992, p.207-212

<sup>37</sup> Deutsche Botanische Gesellschaft, 1927, p.35

<sup>38</sup> Deutsche Botanische Gesellschaft, 1927, p.35

Un catalogue datant de 1930, avec la même adresse à Liegnitz, démontre que la production a continué après la mort de Reinhold. Actuellement, il n'est pas possible de savoir qui a veillé sur cet héritage, notamment à cause des maigres données historiques qui nous proviennent de l'époque trouble de l'entre-deux guerres. Ce catalogue de 1930 est très similaire à celui de 1913-1914. Presque aucune différence est à noter, mis à part l'ajout de quelques spécimens et surtout l'apparition de photographies/illustrations de plusieurs modèles. Autre détail intéressant, dans tous les catalogues publiés avant le décès de Reinhold Brendel, l'introduction, expliquant le but de ces modèles, est à la première personne du singulier. Le ton est celui d'une lettre personnelle de Brendel à un client. Dans le catalogue de 1930, cette introduction est très raccourcie, plus formelle et à la première personne du pluriel, comme si plusieurs personnes géraient dorénavant l'entreprise. Toutes les introductions sont toutefois signées « R. Brendel ». Impossible donc de distinguer « Robert » de « Reinhold », ni de deviner une éventuelle succession, familiale ou non.

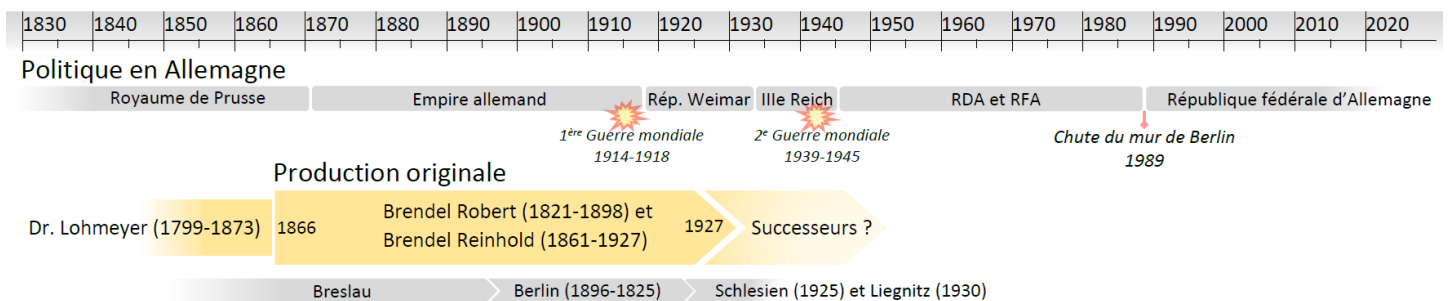


Fig. 22 Représentation chronologique de la production Brendel dans leur époque

### 1.2.3 Les collections aujourd'hui

Les collections d'objets pédagogiques ont été acquises avant tout par des institutions dédiées à l'enseignement, mais aussi par quelques musées spécialisés. Aujourd'hui, les modèles Brendel sont redécouverts dans les caves, greniers et fonds d'armoires des écoles et universités, souvent dans un piteux état. Comme il s'agit d'objets utilisés par des étudiants, des dégâts dus à ces manipulations et des réparations de fortune, à l'aide de matériaux à portée de main, sont récurrents. Lorsque les modèles devenaient trop dégradés ou n'étaient plus utilisés pour l'enseignement, les institutions avaient tendance à s'en débarrasser. Le Colegio Nacional de Buenos Aires, par exemple, avait enregistré un total de presque 160 modèles Brendel en 1930<sup>39</sup>. Aujourd'hui, le Colegio ne compte plus que 66 pièces Brendel dans son inventaire<sup>40</sup>.

Ce n'est que récemment que ces collections sont à nouveau appréciées et recherchées. En Suisse, le Dr. Habil. Alexander Kocyan, botaniste et conservateur du Botmus, mène depuis quelques temps une recherche approfondie de collections non-patrimonialisées de modèles Brendel. Dans la partie suisse-alsacienne du

<sup>39</sup> Mayoni, 2016, p.11

<sup>40</sup> Ibid.

pays, il a recensé de nombreuses écoles de niveau secondaire II possédant des modèles Brendel. Ceux-ci sont parfois encore utilisés. Pour ma part, j'ai contacté l'ensemble des écoles de niveau secondaire II en suisse-romande, afin de savoir si ces établissements possèdent ce type de collections. Contrairement aux écoles germanophones, il y a peu de collections encore présentes dans les écoles romandes. Si quelques écoles possèdent bien des modèles pour la botanique, il s'agit généralement de pièces plus récentes « PhyWe ». Quelques modèles plus anciens ont été repérés, possiblement des Brendel, ce qui permet d'avoir une image plus globale de la répartition de ce type de collections. Le but de ce contact avec les écoles est de repérer et recenser ces collections, mais aussi d'encourager leur valorisation et leur conservation.

Ce premier recensement, même s'il n'inclut pas encore les autres régions linguistiques, ni les musées, les universités et les écoles primaire et secondaire I, permet de faire quelques statistiques au sujet des modèles Brendel conservés en Suisse. Combiné aux informations amassées par Dr. Habil. Kocyan, il est notamment possible d'avoir une idée de la place qu'occupent les pièces en gélatine dans ces collections. Si ces modèles ne forment pas une majorité, presque toutes les collections comprennent tout de même un ou plusieurs exemplaires en gélatine.

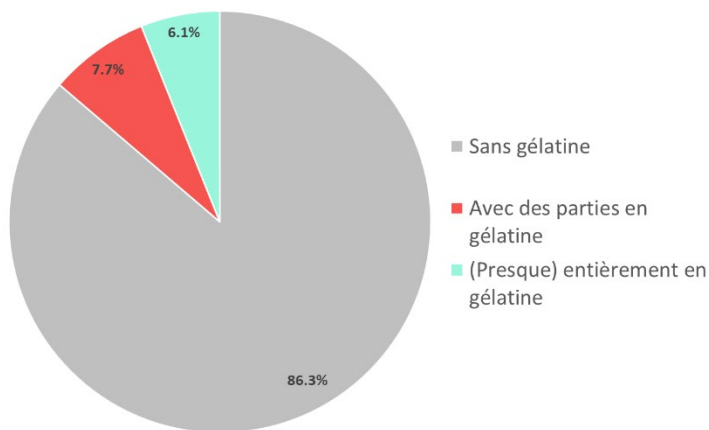


Fig. 23 Pourcentage de modèles Brendel en gélatine conservés dans les collections suisses étudiées/recensées

Sur l'ensemble des 19 collections prises en compte (313 modèles Brendel), environ 14% des modèles ont au moins une partie en gélatine (Fig. 23, ci-contre et Annexe 7.6, p.169). Ces chiffres sont à relativiser. En effet, la proportion de modèles avec de la gélatine pourrait être plus grande encore, car cette membrane a parfois été cachée sous de la peinture.

Les collections hors-musées sont en danger. Les objets sont souvent très dégradés, particulièrement les modèles en gélatine, et les écoles manquent de place pour les stocker. Les institutions publiques n'ont pas les moyens de les faire restaurer et ne savent parfois pas comment gérer la problématique de leur conservation.

Concernant les modèles Brendel patrimonialisés, il existe de nombreuses collections renommées, souvent rattachées à des universités : Université de Lille (France), Liverpool National Museums (Grande-Bretagne), Universität Jena (Allemagne) Università degli Studi di Firenze (Italie), McGregor Museum (Nouvelle-Zélande), Colegio Nacional de Buenos Aires (Argentine), etc. La conservation-restauration des modèles patrimonialisés a généralement été menée par des restaurateurs spécialisés dans le domaine du papier ou des objets organiques, étant donné qu'ils sont principalement élaborés en papier-mâché.

L'article le plus ancien concernant directement la conservation-restauration des modèles Brendel est « Conservation of Anatomical Botanical Plant Models » (1994) de Mme Tracey Seddon, restauratrice de matériaux organiques en Grande-Bretagne. Dans ce même domaine, deux autres travaux sont à citer :

« Save The Plants » de Fiorini *et al.* (2008) et « Plantas de papier-mâché - Estudios técnicos y conservación de la colección Brendel del Colegio Nacional de Buenos Aires » de Mayoni (2016). Seuls deux travaux d'étudiants ont été identifiés : le mémoire de Mme Julia Echner (2018) et un poster de Mme Anna Arus (2017).

Dans le cadre de ce mémoire de master, plusieurs restaurateurs intervenant sur des modèles Brendel ont été contactés au sujet des démarches de conservation et des interventions réalisées sur ces objets. Si pour les parties en papier-mâché, métal et bois des solutions satisfaisantes ont été trouvées, le traitement des parties en gélatine demeurent toujours problématique.



Fig. 24 Modèles exposés au Liverpool National Museum et Projet « Brendel Plant Model Survey » ©NatSCA

De manière générale, les modèles Brendel sont de plus en plus étudiés et de nombreuses initiatives pour mettre en valeur ces œuvres émergent. La conservatrice Mme Donna Young, responsable de la très grande collection de modèles anatomiques au Liverpool National Museum, s'est inspiré du projet de cartographie de modèles Blaschka du Corning Museum et a mis en place un projet nommé « Brendel Plant Model Survey » (Fig. 24, ci-dessus). Sur le site de la NatSCA (Natural Science Collections Association), Mme Young invite les responsables de collections Brendel du monde entier à identifier les modèles pour créer un *mapping* interactif relié à quantité de publications/informations et ainsi favoriser la connaissance et la conservation de ces objets.



Fig. 25 Modèle Brendel vendu aux enchères à Vienne ©Dorotheum

Un dernier point est important à relever dans ce chapitre : la présence des modèles Brendel sur le marché de l'art.

Il n'est pas rare que des maquettes soient mises aux enchères par des maisons de vente, le nom « Brendel » mis en avant avec insistance (Fig. 25, ci-contre). Dans le cadre de ce mémoire de master, ces collections commercialisées n'ont pas été abordées.

## 1.3 La gélatine

La gélatine est rarement, si ce n'est jamais, mis en œuvre comme sur les modèles Brendel. L'étude technologique de ces pièces, ainsi que l'approche en conservation-restauration, nécessitent en premier lieu une compréhension de la nature complexe de ce matériau organique.

### 1.3.1 Définition et production

Le terme "gélatine" est utilisé de différentes manières. Il peut, par exemple, décrire un aliment, une matière protéinique issue de la peau et des os de certains animaux, la protéine désordonnée dans les matériaux collagéniques et une colle. De manière simple et générale, la gélatine est définie comme une protéine issue de la dénaturation du collagène<sup>41</sup>.

Le collagène et la gélatine sont tous deux des protéines. Les protéines sont des macromolécules biologiques, constituées de chaînes polypeptidiques, elles-mêmes faites de résidus d'acide aminé. Les acides aminés sont des molécules avec un groupe carboxyle (-COOH), un groupe amine (-NH<sub>x</sub>), et un groupe caractéristique à chaque acide aminé, la chaîne latérale (-R). Ces molécules ont la particularité d'être amphotères : elles possèdent à la fois un groupe acide et un groupe basique<sup>42</sup>. Les acides aminés se combinent grâce à des liaisons peptidiques dans une réaction de condensation (perte de H<sub>2</sub>O), formant ainsi les chaînes polypeptidiques (Fig. 26, ci-dessous).

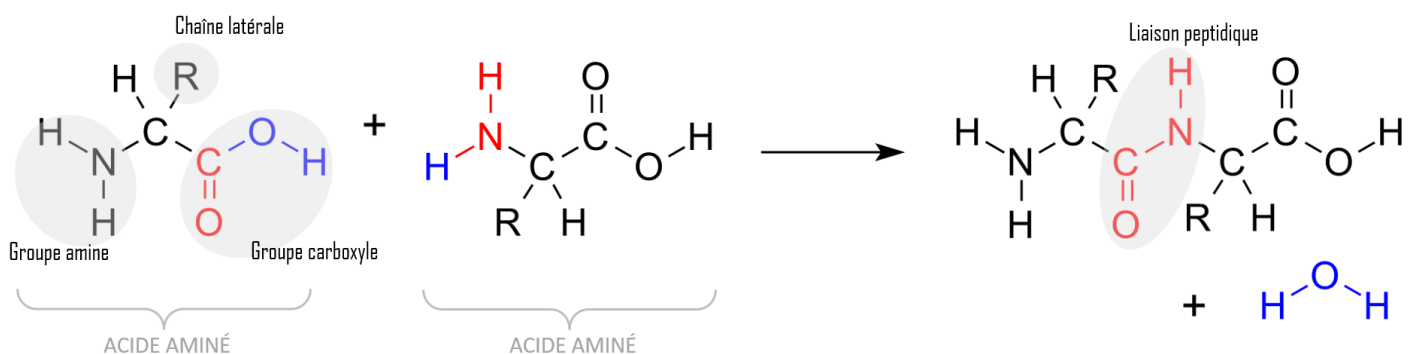


Fig. 26 Réaction de condensation lors de la formation des liaisons peptidiques ©Wikipédia

Les protéines sont généralement caractérisées et reconnues de trois façons : la séquence d'acides aminés, la structure moléculaire et la fonctionnalité<sup>43</sup>.

Le collagène, protéine la plus abondante chez les animaux, est reconnaissable à la structure spécifique de ses molécules : la triple hélice du collagène<sup>44</sup>. Les triples hélices sont composées de trois chaînes polypeptidiques entrelacées, liées par des liaisons hydrogène<sup>45</sup>. Le collagène est une protéine dite

<sup>41</sup> Calixto *et al.*, 2018, p.2 ; Mills et White, 1994, p.86

<sup>42</sup> Mills et White, 1994, p.85

<sup>43</sup> Gonzalez et Wess, 2013, p.105

<sup>44</sup> Keenan, 2012, p.237 ; Gonzalez et Wess, 2013, p.106

<sup>45</sup> Karim et Bhat, 2009, p.563-564



« fibreuse », car les hélices sont alignées parallèlement les unes par rapport aux autres <sup>46</sup>. La gélatine est dérivée du collagène et possède donc une séquence d'acides aminés identique ou très similaire. Cependant la structure et par conséquent la fonctionnalité sont différentes. Le motif structurel de la gélatine est une bobine aléatoire, c'est-à-dire une organisation des molécules ne présentant aucun schéma régulier<sup>47</sup>.

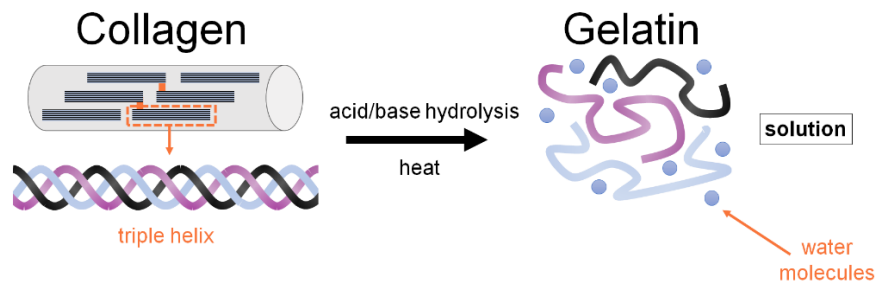


Fig. 27 Structure moléculaire ordonnée du collagène et désordonné de la gélatine ©Chembam

Cette structure moléculaire irrégulière a d'autres propriétés mécaniques et une interaction différente avec l'eau : le collagène insoluble devient de la gélatine soluble<sup>48</sup>. Pour réussir cette transformation, il faut un agent qui rompt les liaisons moléculaires et perturbe la structure du collagène, ainsi que de l'eau qui provoque un gonflement osmotique et force les chaînes polypeptidiques à s'écarter les unes des autres, offrant ainsi l'espace nécessaire au déploiement de la triple hélice. Un pH faible ou élevé, un rayonnement ultraviolet (UV) ou la chaleur peuvent constituer des agents susceptibles de provoquer une rupture des liaisons moléculaires <sup>49</sup>.

Le collagène se trouve majoritairement dans la peau, les os et les tissus conjonctifs des animaux<sup>50</sup>. Les sources les plus importantes pour la production de gélatine sont la peau de porc (46%), les peaux de bovins (29,4%) et les os de porcs et de bovins (23,1%)<sup>51</sup>. La gélatine de poisson a toujours été une production mineure et représentait environ 4.3% des gélatines et colles animales en 1900<sup>52</sup>.

Au cours du processus de fabrication de la gélatine, la peau et les os sont prétraités par des bains acides ou alcalins<sup>53</sup>, suivis d'une dénaturation thermique dans de l'eau et de plusieurs extractions, pour séparer les protéines du reste de la matière première (plus de précisions voir Encadré 2, p.31). Après filtration et d'autres étapes d'affinage, la matière séchée obtenue est appelée gélatine. La première extraction produit une gélatine de haute qualité, incolore, transparente et amorphe, tandis que les dernières extractions donnent les colles de peau, brunes avec des impuretés<sup>54</sup>. Il existe deux types de gélatine, A et B, produits

<sup>46</sup> Mills et White, 1994, p.86

<sup>47</sup> Gonzalez et Wess, 2013, p.106

<sup>48</sup> Ibid.

<sup>49</sup> Ibid.

<sup>50</sup> Keenan, 2012, p.237

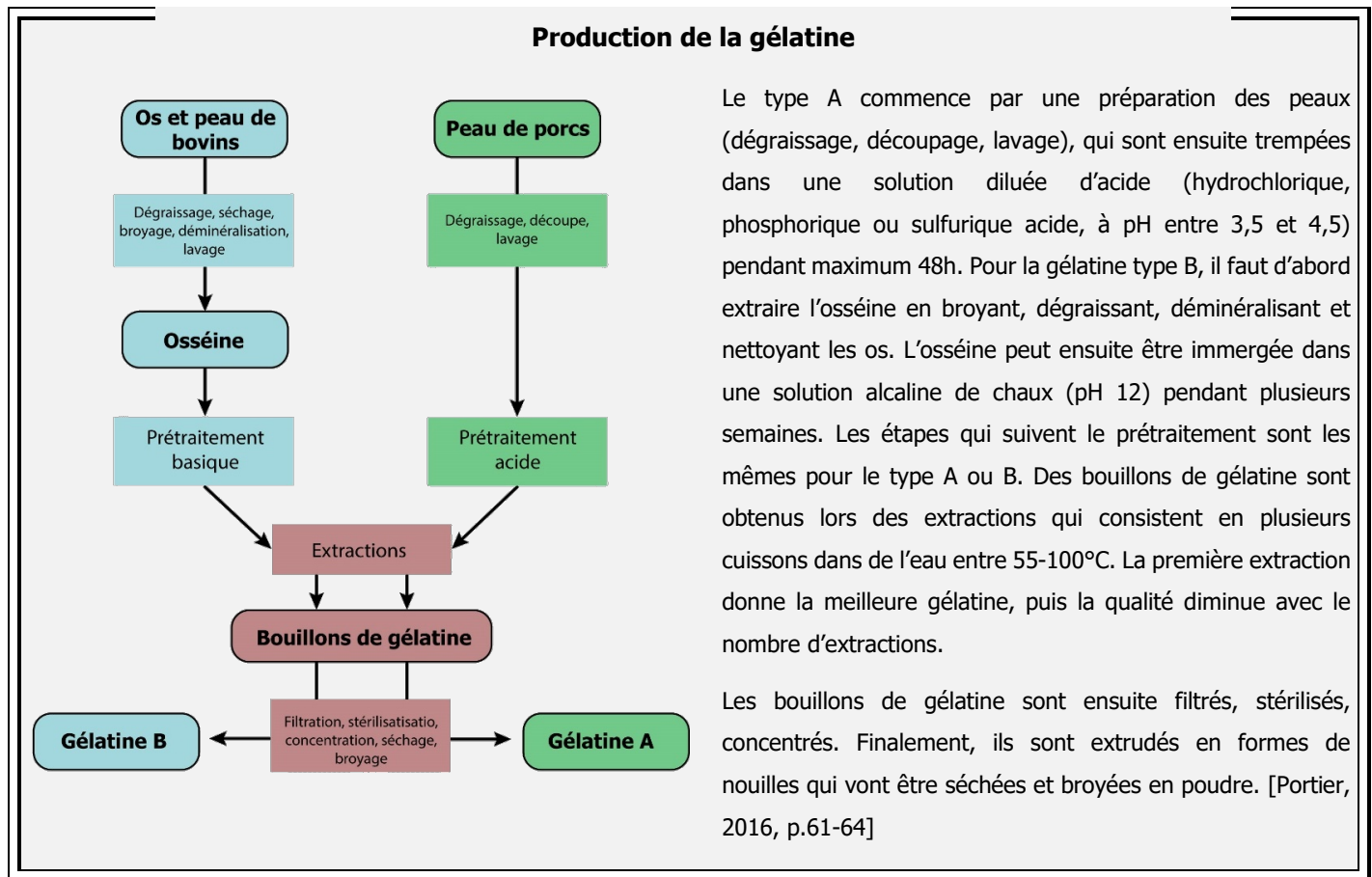
<sup>51</sup> Chiffres pour l'année 2007. (Duconseille *et al.*, 2015, p.361)

<sup>52</sup> Bogue, 1922, p.6

<sup>53</sup> Duconseille *et al.*, 2015, p.361

<sup>54</sup> Down, 2015, p.42

respectivement par des prétraitements acide et alcalin<sup>55</sup>. La gélatine de type A est généralement fabriquée à partir de peaux de porc, tandis le type B est extrait principalement d'os et de peaux de bovins<sup>56</sup>.



Encadré 2 Détails de la production de la gélatine

### 1.3.2 Propriétés

La gélatine est commercialisée sous forme de granulés grossiers, de poudre ou de feuilles. Elle est presque uniquement composée de protéines, jusqu'à 85 à 90%, mais contient aussi de l'eau (max. 15%) et 1 à 2% de sels minéraux<sup>57</sup>. Selon la qualité, il peut y avoir des impuretés telles que des traces de cendres ou de lipides<sup>58</sup>.

En général, la gélatine se présente sous la forme d'un solide vitreux et cassant, incolore ou légèrement jaune, sans odeur ni goût particulier. La plupart des propriétés physiques et chimiques de la gélatine sont influencées par la source de collagène (animal, vie, âge, santé), les conditions d'extraction, le pH et la nature chimique des impuretés ou des additifs (Tableau 1, p.33)<sup>59</sup>. Placée dans l'eau froide, la gélatine ne

<sup>55</sup> Duconseille *et al.*, 2015, p.361

<sup>56</sup> Keenan, 2012, p.241

<sup>57</sup> Marouf et Tremblin 2016, p.284

<sup>58</sup> Keenan, 2012, p.243, 245

<sup>59</sup> Ibid., p.238

se dissout pas, mais gonfle en absorbant 5 à 10 fois son poids en eau<sup>60</sup>. La gélatine est soluble dans l'eau chaude (dès 35°C), mais aussi dans le glycérol et l'acide acétique. Elle est insoluble dans les solvants organiques, à l'exception des composés hautement polaires<sup>61</sup>.

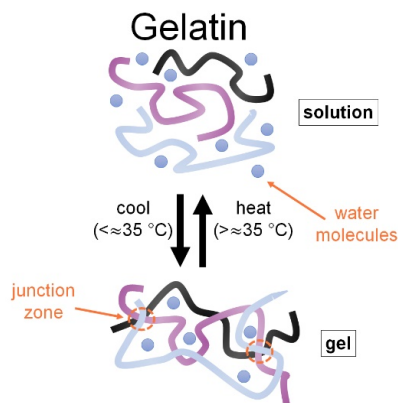


Fig. 28 Version schématique du système gel-sol\* de la gélatine ©Chembam

A partir d'une concentration de 0.5% dans l'eau, la gélatine peut former un gel thermoréversible. La première étape de la gélification commence lorsque la solution chaude aqueuse de gélatine est refroidie à 35-40 °C : des structures moléculaires localement ordonnées se forment alors aléatoirement (renaturation partielle en hélice de type collagène) dans la masse qui devient de plus en plus visqueuse<sup>62</sup>. Ensuite, un réseau tridimensionnel continu forme des micelles dans tout le système avec des liaisons secondaires entre les segments plus ordonnés des chaînes (Fig. 28, ci-contre). Les liaisons hydrogène, de dispersion et électrostatiques peuvent être impliquées dans cette réticulation<sup>63</sup>. La réversibilité du gel\* est due à la possibilité de rompre ces liaisons par chauffage. Comme les acides aminés sont amphotères, la gélatine peut former des gels dans des solutions de pH 4.4 - 9 ; en dessous et au-delà, la solution ne gélifie pas<sup>64</sup>.

Pour former un film, une solution de gélatine peut sécher à température ambiante en passant par le stade de gel. Le séchage est une réticulation et réorganisation de la structure moléculaire, jusqu'à atteindre un état solide où les molécules de gélatine ne bougent plus<sup>65</sup>. Ce séchage peut être accéléré en augmentant la température. A partir de 40°C, la solution ne se gélifie plus, mais sèche en augmentant progressivement sa concentration. Par conséquent, le réseau tridimensionnel du gel n'est jamais formé. La structure moléculaire est alors moins uniforme (déshydratation et agglomération des chaînes polypeptidiques plutôt que réticulation) et le film obtenu sera plus cassant<sup>66</sup>.

La viscosité d'une solution de gélatine, la rigidité du gel et les caractéristiques du film sec dépendent également de facteurs comme la qualité de la gélatine, la concentration, la température, le poids moléculaire de l'échantillon de gélatine, le pH, les additifs et les impuretés<sup>67</sup>. La caractérisation des différentes qualités de gélatine se fait à l'aide de l'indice de Bloom. Le Bloom est une mesure, en grammes, de la force nécessaire pour enfoncer un piston de Ø12.7 mm dans la surface d'un gel<sup>68</sup>. Plus l'indice de Bloom est élevé, plus la gélatine est de haute qualité, transparente, incolore et forme un gel rigide.

<sup>60</sup> Sheppard, 1923, p.91

<sup>61</sup> Keenan, 2012, p.237, 238, 240 ; Calixto *et al.*, 2018, p.2

<sup>62</sup> Keenan, 2012, p.238 ; Marouf et Tremblin 2016, p.285

<sup>63</sup> Marouf et Tremblin 2016, p.285

<sup>64</sup> Podczek et Jones, 2004, p.44 ; Mills et White, 1994, p.85

<sup>65</sup> Aguirre-Alvarez *et al.*, 2011, p.244

<sup>66</sup> Ibid., p.247

<sup>67</sup> Keenan, 2012, p.241

<sup>68</sup> Keenan, 2012, p.240 ; Gonzalez et Wess, 2013, p.107

Tableau 1 Résumé des propriétés de la gélatine

Propriétés physico-chimiques de la gélatine	
<b>Composition élémentaire</b>	50,5% de carbone, 6,8% d'hydrogène, 17% d'azote et 25,2% d'oxygène <sup>69</sup> . Éléments-traces : fer <sup>70</sup> , métaux lourds, arsenic, SO <sub>2</sub> , etc. <sup>71</sup>
<b>Acides aminés</b>	Composition en acides aminés similaire à celle du collagène : Principaux : glycine 26-34%, proline 10-18%, hydroxyproline 7-15% Autres : alanine 8-11%, arginine 8-9%, acide aspartique 6-7% et acide glutamique 10-12% <sup>72</sup>
<b>Masse moléculaire</b>	Entre ~20 000 et 250 000 (selon la qualité) <sup>73</sup>
<b>Température de transition vitreuse</b>	50-65°C <sup>74</sup>
<b>Indice de réfraction</b>	La gélatine pure et sèche a un indice de réfraction entre 1.5 – 1.54, mais celui-ci diminue en fonction de l'absorption de vapeur d'eau dans le film, car l'eau a un indice de réfraction de 1.33 <sup>75</sup> .

### 1.3.3 Utilisations

Des traces archéologiques démontrent que l'humanité était capable de produire un adhésif à partir de tissus animaux déjà en 6000 avant J.C. et que les Égyptiens en 4000 avant J.C. utilisaient sciemment de la colle protéinique<sup>76</sup>. En Europe, la production commerciale de gélatine commence à la fin du XVIIe siècle puis va être perfectionnée, jusqu'à l'obtention d'un produit de très bonne qualité à haut poids moléculaire, au début du XIXe siècle<sup>77</sup>. L'indice de Bloom n'étant inventé qu'en 1925, au XIXe siècle la gélatine est simplement qualifiée en fonction de sa pureté et coloration : de la moins bonne qualité à la meilleure, les termes suivant étaient notamment utilisés : « glue », « poor », « food grade », « medium », « high », « photographic »<sup>78</sup>.

Les principales applications de la gélatine se trouvent dans l'industrie alimentaire (comme gélifiant, texturant, stabilisant, émulsifiant, liant), dans les domaines pharmaceutique et médical (matrice d'implants, médicaments, vaccins, mais surtout pour la fabrication de capsules dures et molles) et dans le domaine de la photographie comme médium de l'émulsion photosensible<sup>79</sup>. Pour ces diverses applications, la gélatine est modifiée à l'aide d'additifs tels que des durcisseurs, plastifiants, colorants, conservateurs, etc.

<sup>69</sup> Marouf et Tremblin 2016, p.284

<sup>70</sup> Duconseille *et al.*, 2016a, p.2

<sup>71</sup> Keenan, 2012, p.243

<sup>72</sup> Calixto *et al.*, 2018, p.2-3

<sup>73</sup> Keenan, 2012, p.237

<sup>74</sup> Duconseille *et al.*, 2017, p.382

<sup>75</sup> Bjelkhagen, 1995, p.242 ; Calixto *et al.*, 2018, p.4

<sup>76</sup> Keenan, 2012, p.237

<sup>77</sup> Ibid.

<sup>78</sup> Sheppard, 1923, p.146

<sup>79</sup> Karim et Bhat, 2009, p.563-564 ; Keenan, 2012, p.243-244

Dans le domaine de la botanique plus spécifiquement, la gélatine est utilisée dans les préparations microscopiques et également, assez rarement cependant, dans la conservation des spécimens en fluide au XIX<sup>e</sup> siècle. La plante, avant d'être placée dans une solution de conservation à l'alcool et au formaldéhyde, était enrobée de gélatine et laissée sécher, puis mise en fluide<sup>80</sup>. Dans l'art et l'artisanat, la gélatine est principalement utilisée comme adhésif, mais également pour la création de moules souples ou pour le modelage de masques très réalistes dans les domaines du théâtre et du cinéma<sup>81</sup>.



*Fig. 29 Création d'un masque prothétique en gélatine ©TheProstheticsEvent 2019*

### 1.3.4 Stabilité

Les protéines sont plutôt stables chimiquement dans des conditions de température et d'humidité adaptées<sup>82</sup>. Dans l'industrie alimentaire, les films de gélatine secs, dans un contenant hermétique, restent inchangés pendant de nombreuses années<sup>83</sup>. Les émulsions photographiques sont généralement très stables, à moins d'être exposées à des températures et des taux d'humidité trop élevés, à une forte exposition lumineuse ou à une attaque microbienne (moisissures)<sup>84</sup>.

L'eau, liquide ou en vapeur, est le facteur le plus problématique car elle hydrolyse les liaisons peptidiques et favorise l'attaque de moisissures et bactéries<sup>85</sup>. La lumière, particulièrement le rayonnement ultraviolet, attaque les liaisons peptidiques et peut donc également être dommageable et entraîner un jaunissement<sup>86</sup>. La qualité de la gélatine, ainsi que la présence d'impuretés ou d'additifs, influencent fortement sa stabilité<sup>87</sup>. Plus le degré Bloom est élevé, moins le jaunissement sera prononcé<sup>88</sup>. Les colles animales sont connues pour jaunir et devenir cassantes avec le temps. La réticulation de la gélatine, induite par l'environnement ou par des additifs/impuretés, rend les films de plus en plus cassants et insolubles<sup>89</sup>.

---

<sup>80</sup> McFarland, 1899, p.537-538

<sup>81</sup> Poller, 1931, p.19

<sup>82</sup> Mills et White, 1994, p.89

<sup>83</sup> Keenan, 2012, p.238

<sup>84</sup> Down, 2015, p.149

<sup>85</sup> Mills et White, 1994, p.89

<sup>86</sup> Down, 2015, p.43

<sup>87</sup> Podczek et Jones, 2004, p.46

<sup>88</sup> Schellmann, 2007, p.63

<sup>89</sup> Duconseille *et al.*, 2016a, p.9

## 2 Partie II – Etude technologique des modèles en gélatine

Après avoir vu le contexte historique des modèles de botanique et la complexité de la gélatine, cette deuxième partie a pour but d'étudier les modèles ou parties en gélatine dans la production Brendel, afin de tenter de comprendre comment ces pièces ont été fabriquées. A l'aide de plusieurs modèles Brendel en gélatine conservés au Botmus ou étudiés dans d'autres collections, différentes approches (voir ci-dessous) ont été suivies pour diviser/schématiser l'étude technologique.

Après une présentation du corpus d'objet et des différentes utilisations de la gélatine dans les modèles Brendel, sont développées dans cette partie :

Une **approche historique**, qui implique un résumé des informations disponibles issues du XIXe et XXe siècles en lien avec la gélatine et/ou la production Brendel,

Une **identification des matériaux**, réalisée grâce à des recherches, des observations, et à différentes méthodes d'analyses appliquées à des échantillons prélevés,

L'**étude approfondie de la fabrication des objets**, c'est-à-dire un relevé des détails technologiques et traces de fabrication identifiés lors de l'étude et l'observation des objets, permettant de faire des hypothèses quant à leur mise en œuvre, et

Une **approche expérimentale et pratique**, plus précisément des essais de modification des propriétés de la gélatine avec différents additifs et un essai de mise en œuvre d'une pièce en gélatine grâce aux informations assemblées précédemment.

### 2.1 Corpus d'objets étudiés

Le Botmus possède 11 modèles Brendel contenant au moins une partie en gélatine (Fig. 31 et Fig. 32, p.36). Ajoutés à cette collection muséale, 8 autres modèles en gélatine provenant d'écoles comme par exemple la Kantonsschule Küsnacht (ZH) étaient accessibles pour l'étude. Ces collections non-patrimoniales étaient conservées sur place au Botmus, en prêt permanent ou temporaire. Et, pour compléter, des visites dans des écoles<sup>90</sup> ont permis d'avoir accès à des objets inédits et de les voir dans un contexte non-patrimonial, parfois encore en utilisation pour les cours (Fig. 30, ci-contre et Annexe 7.4, p.141).



Fig. 30 Visite à la Kantonsschule Küsnacht

<sup>90</sup> Kantonsschule Frauenfeld (TG), Alte Kantonsschule Aarau (AG) et Kantonsschule Rämibühl Zürich (ZH)





Fig. 31 *Pinus Silvestris* (Nr 156) Botmus



Fig. 32 *Spirogyra* (Nr 205) Botmus



Fig. 33 *Aspidium* (Nr 8) Künsnacht



Fig. 34 *Equisetum arvense* (Nr 5) Künsnacht

Tous les objets entièrement ou partiellement faits de gélatine qui étaient à disposition, donc 19 modèles en tout, ont été considérés pour ce chapitre (liste complète en Annexe 7.4, p.141). L'étude a pu être approfondie lorsque plusieurs exemplaires du même modèle étaient à disposition. Ceci a été le cas pour les modèles *Brachythecium Rutabulum* (Nr 1), où deux exemplaires étaient disponibles sur place au Botmus (Fig. 35 et Fig. 36, ci-dessous), et *Equisetum Arvense* (Nr 4), conservés en trois exemplaires (Fig. 37 à Fig. 39, p.37)<sup>91</sup>. Ainsi, cette étude technologique avait à disposition plusieurs exemplaires de mêmes modèles, mais provenant chacun d'institutions différentes avec par conséquent une histoire d'acquisition, d'utilisation, d'entretien et d'exposition différente. La comparaison de plusieurs exemplaires du même modèle a également permis d'identifier les détails et traces relevant de la technologie et de les distinguer des défauts ou des altérations.



Fig. 35 *Brachythecium rutabulum* (Nr 1) Botmus



Fig. 36 *Brachythecium rutabulum* (Nr 1) Rämibühl

<sup>91</sup> Seuls pour ces exemplaires sera spécifiée la collection à chaque fois.

Fig. 37 *Equisetum arvense* (Nr 4) BotmusFig. 38 *Equisetum arvense* (Nr 4) BurgdorfFig. 39 *Equisetum arvense* (Nr 4) Küsnacht

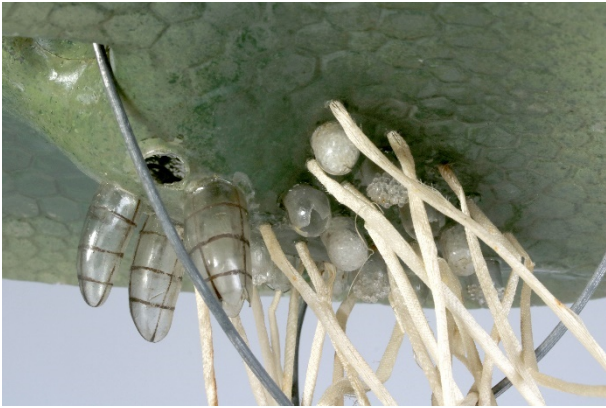
## 2.2 Utilisation de la gélatine dans les modèles Brendel

Les Brendel ont recouru à la gélatine comme matériau de base en premier lieu pour façonner des pièces creuses et translucides. Il s'agit là de l'utilisation de la gélatine la plus souvent rencontrée dans ces modèles et l'exemple le plus visible. Une membrane en gélatine similaire a également été utilisée pour créer des détails translucides, comme les ailes d'insectes (Fig. 40, ci-dessous). Parfois, la gélatine a été combinée à des textiles pour créer des pellicules très fines et résistantes (Fig. 41, ci-dessous).

Fig. 40 Mouche (ailes en gélatine) *Aristolochia* (Nr 102)Fig. 41 Textile avec gélatine, *Pinus Silvestris* (Nr 156)

Si la gélatine sur les modèles Brendel est presque toujours en forme de membrane plus ou moins fine, elle varie énormément en termes de forme, coloration, texture, type de parties, etc. (Fig. 42 à Fig. 47, p.38).





*Fig. 42 Aspidium (Nr 7) Küsnacht*



*Fig. 43 Aspidium (Nr 8) Küsnacht*



*Fig. 44 Chara (Nr 9) Aarau*



*Fig. 45 Chara (Nr 9) Aarau*



*Fig. 46 Campylotropes Ovulum (Nr 166) Botmus*



*Fig. 47 Tretradenbildung (Nr 155) Botmus*

Dans certains cas, les Brendel ont également utilisé la gélatine non pas pour sa qualité esthétique, mais pour sa fonction structurelle. La gélatine est en effet employée comme élément de structure de parties fines et rigides (Fig. 48, p.39). Souvent, ces pièces sont complètement peintes et la gélatine ne se devine que lorsque des cassures ou des soulèvements de la couche picturale révèlent l'armature interne. Ces parties ne sont pas identifiées comme étant réalisées en gélatine dans les catalogues Brendel. L'utilisation de ce matériau par les Brendel est donc bien plus conséquente que ce que laisse deviner une première recherche historique dans les catalogues.



Fig. 48 Gélatine structurelle, détail *Pinus silvestris* (Nr 154), lumière visible et fluorescence UV (360 nm)

Les modèles en gélatine ne semblent pas être fabriqués depuis le début de la production des Brendel. Certains modèles en gélatine (dès 1885 ou 1900) ont initialement été réalisés en papier-mâché. Il existe tout de même quelques exemples de modèles présentant une base en bois naturel (les plus anciens) avec des parties en gélatine (Fig. 172, p.163, en annexe).



Fig. 49 Versions anciennes en papier-mâché *Equisetum*  
©Arus 2017



Fig. 50 Versions en gélatine *Equisetum arvense* (Nr 3)



Dans les catalogues à disposition, le nombre de modèles en gélatine évolue et se développe d'une dizaine de pièces (supposées) en gélatine en 1885 à une trentaine dès 1900 (Tableau 2, ci-dessous et Annexe 7.7, p.172). Pour avoir une idée précise du moment où la production en gélatine a commencé, il faudrait avoir à disposition les premiers catalogues.



Tableau 2 Nombres de modèles Brendel en gélatine par catalogue

<i>Nombre de modèles en gélatine Brendel</i>	<b>Liste de prix 1885</b>	<b>Catalogue 1900-1901</b>	<b>Catalogue 1913-1914</b>	<b>Catalogue 1930</b>
<i>Identifiés avec * dans le catalogue (ou avec du texte)</i>	0	30	30	32
<i>Non-identifié dans le catalogue mais de la gélatine a été observée lors de l'étude</i>	12	6	6	6
<i>Total</i>	12	36	36	38

## 2.3 Approche historique

### 2.3.1 Sources du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles

Très peu de documentation historique existe concernant directement les Brendel et leurs créations. Les sources datant de l'époque de production décrivent leurs modèles comme étant fait de « gélatine, toile, masse de papier et bois<sup>92</sup> », « carton-pâte et d'autre matériaux<sup>93</sup> », en « masse de papier, tige et gélatine<sup>94</sup> » ou encore « en papier mâché, en bois, en gélatine, etc. peints avec des couleurs à l'huile<sup>95</sup> ». Les Brendel eux-mêmes mettent les modèles en gélatine en avant dans les catalogues, à l'aide d'un astérisque.

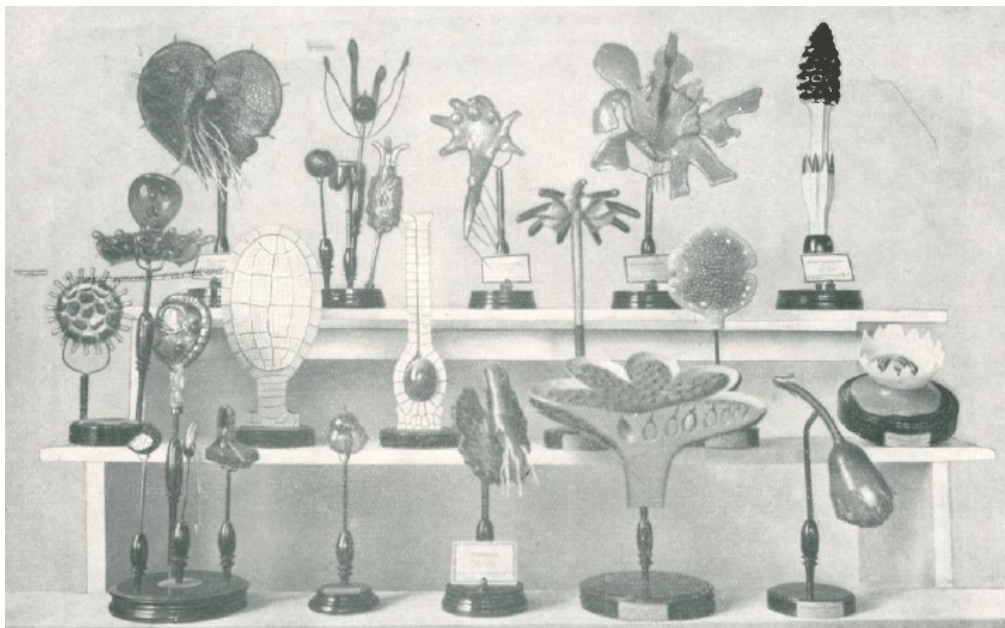


Fig. 51 Illustration de modèles en gélatine dans les catalogues ©Brendel 1900-1901

<sup>92</sup> « Die mit Stern versehenen Modelle sind aus Gelatine, alle übrigen aus Shirting in Verbindung mit Papiermasse und Holz gefertigt. » Brendel, 1913-1914, p.15; Brendel, 1900-1901, p.7

<sup>93</sup> Fournier, 1866, p.96

<sup>94</sup> « Papiermasse und Rohr [...] einige sind aus Gelatine hergestellt » May, 1903, p.104

<sup>95</sup> « Sie sind in Papiermâché, Holz, Gelatine etc. auf das Sauberste ausgeführt und mit Oelfarben in natürlichem Kolorit gemalt. » Brendel, 1900-1901

En revanche, ils ne donnent aucune indication sur la technique de mise en forme<sup>96</sup>. Il est très probable que peu de sources directes existent car les Brendel, comme d'autres artisans, protégeaient ainsi leurs secrets de fabrication. Dans le cas de recettes et techniques inédites, comme pour les modèles en gélatine, c'est d'autant plus important.

Seuls les modèles Osterloh présentent des pièces en gélatine similaires à celles des Brendel, mais elles sont très rares et il n'existe pas d'études sur ces objets<sup>97</sup>. La colle de peau et la gélatine se retrouvent également comme adhésif ou revêtement de surface dans les modèles Auzoux<sup>98</sup> ou encore Blaschka (Fig. 52, ci-dessous)<sup>99</sup>.

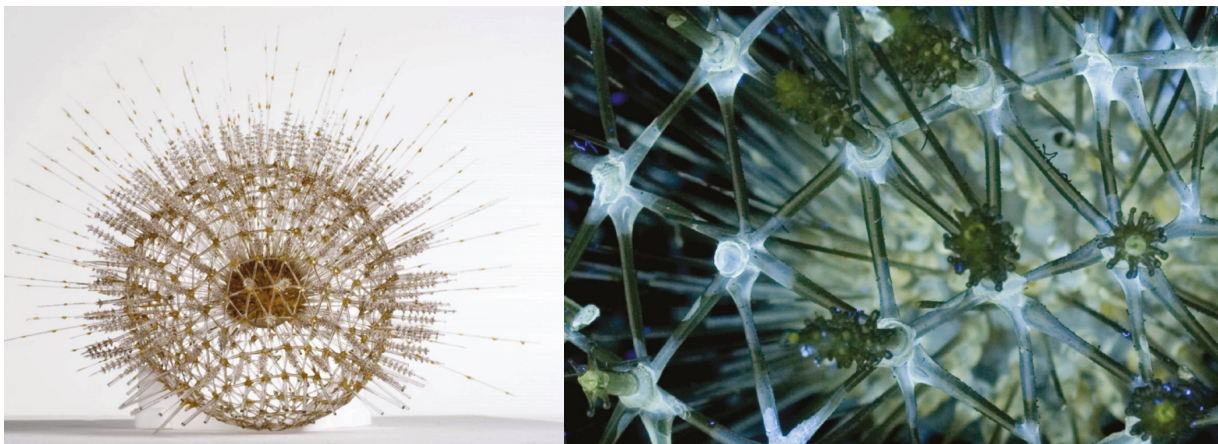


Fig. 52 Mise en évidence d'un revêtement avec de la gomme, résine et gélatine sur un modèle Blaschka *Aulosphaera elegantissima* grâce à de la fluorescence UV (365 nm) ©Brierley 2009

Les seuls écrits d'époque relatifs à la gélatine sont les recettes de cuisine, les livres spécialisés dans les procédés photographiques ou les divers brevets/patentes. Toutes les informations qui peuvent être tirées de ces documents concernent donc de tout autres domaines que celui de l'artisanat de modèles anatomiques.

L'application alimentaire n'est pas intéressante dans le cadre de ce travail. En effet, la gélatine sous forme de gel, destinée à une consommation humaine imminente, n'a que peu de points communs avec la membrane présente sur les modèles Brendel.

Dans le domaine de la photographie, il existe de très nombreux livres datant de la fin du XIXe au milieu du XXe siècle qui traitent des émulsions photosensibles. La gélatine est choisie avec précaution et doit être de la plus haute qualité possible pour éviter une coloration de l'image et la présence d'impuretés qui viendraient perturber l'image<sup>100</sup>.

<sup>96</sup> Brendel, 1900-1901

<sup>97</sup> Hackethal, 2008, p.25

<sup>98</sup> Nijhoff Asser *et al.*, 2008, p.287-288

<sup>99</sup> Brierley, 2009, p.258

<sup>100</sup> Smith, 1943, p.107-109

De très nombreuses patentes ont été publiées concernant la gélatine<sup>101</sup>. En plus des domaines de l'alimentation et de la photographie, celle-ci est utilisée pour l'industrie pharmaceutique ainsi que pour créer des emballages ou des objets décoratifs transparents. Il existe également de nombreux documents concernant uniquement la modification des propriétés de la gélatine, notamment sa dureté, sa coloration, etc<sup>102</sup>. Ont également été relevées des patentes au sujet de la mise en forme de la gélatine, pour former des tubes ou formes creuses décoratives<sup>103</sup>, ou encore pour former des feuilles fines et transparentes pour emballer des fleurs<sup>104</sup>.

### 2.3.2 Additifs d'époque pour la gélatine

Une modification courante de la gélatine est son durcissement au travers de la réticulation de la protéine. De très nombreux produits peuvent être utilisés et la gélatine peut réticuler d'elle-même en vieillissant ou en étant exposée à la lumière. Dans le domaine de la photographie, les aluns de potassium ou de chrome ont pu être utilisés<sup>105</sup>, mais la substance la plus fréquemment employée pour le durcissement de la gélatine est le formaldéhyde ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Le formaldéhyde est un composé organique de la famille des aldéhydes connu depuis la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>106</sup>. Sous forme de gaz à température ambiante, le formaldéhyde est très soluble dans l'eau. Des solutions aqueuses avec un certain pourcentage de formaldéhyde ont généralement été utilisées pour provoquer le durcissement de la gélatine.

La gélatine réagit avec le formaldéhyde en formant une réticulation  $-\text{CH}_2-$  entre les chaînes polypeptidiques<sup>107</sup>. Cette réaction transforme le formaldéhyde : il n'est plus détectable sous forme de  $\text{CH}_2\text{O}$  car les atomes ont été « consommés » dans le processus<sup>108</sup>. Il est parfois possible de détecter certains composés ou liaisons chimiques issus de la réticulation grâce à des analyses complexes<sup>109</sup>. La gélatine réticulée avec du formaldéhyde a un poids moléculaire et une viscosité plus élevés, ainsi qu'une capacité d'absorption de l'eau plus faible. Les films obtenus sont plus résistants mécaniquement et moins solubles à l'eau<sup>110</sup>. Le formaldéhyde est également une substance qui préserve les tissus organiques. Il a donc un effet conservateur sur la gélatine<sup>111</sup>.

---

<sup>101</sup> Le Patentamt d'Allemagne publie en ligne uniquement des brevets relativement récents. Tous les documents antérieurs à 1950 ne sont pas numérisés et il faut effectuer une demande payante à l'office pour avoir accès à un document. Il n'a donc pas été possible de trouver de patente datant du milieu XIX<sup>e</sup> au milieu XX<sup>e</sup> siècle sur l'utilisation de la gélatine en Allemagne. Dans un spectre plus large, de nombreux brevets ont été publiés dans les pays limitrophes, comme en France, Autriche et Angleterre, ou dans des pays avec lesquels l'Allemagne avait de nombreux échanges politiques et économiques, comme les USA. Ces patentes permettent d'avoir une idée générale sur l'état des connaissances de cette époque.

<sup>102</sup> Pat. AT1307, 1900 ; Pat. FR446549, 1912 ; Pat. US1866410, 1932 ; Pat. US1289053, 1918 ; Pat. FR1194285, 1959

<sup>103</sup> Pat. AT8107, 1902 ; Pat. FR437876, 1911

<sup>104</sup> Pat. US1866410, 1932

<sup>105</sup> Jones, 1895, p.53 ; Just, 1885, p.126 ; Pouradier, 1954

<sup>106</sup> Gerberich et Seaman, 2013, p.1 ; Seaman, 1895 ; Alleger, 1894, p.195

<sup>107</sup> Gold *et al.*, 1997, p.1046

<sup>108</sup> Albert *et al.*, 1986, p.354

<sup>109</sup> Ibid., p.355-356

<sup>110</sup> de Carvalho et Grosso, 2006, p.46

<sup>111</sup> Alleger, 1894, p.195

L'addition de substances plastifiantes est également très commune. Les plastifiants permettent une mise en forme facilitée de la gélatine : la solution de gélatine s'étale mieux et le film formé est beaucoup moins cassant<sup>112</sup>. Sans plastifiants, de nombreuses tensions sont générées lors du séchage du film en formation et celui-ci sera difficile à découper sans cassures. Parmi les produits utilisés, nous pouvons citer les polyalcools (composé organique avec un certain nombre de groupes hydroxyles (-OH)), les gommes naturelles et certains sucres, qui permettent de lier les molécules d'eau dans la structure de la gélatine et ainsi de réduire sa rigidité<sup>113</sup>. Le glycérol (polyalcool de formule  $C_3H_8O_3$ ) est déjà utilisé au XIX<sup>e</sup> siècle pour plastifier la gélatine, particulièrement pour la fabrication de capsules pharmaceutiques<sup>114</sup>. La glycérine est également employée dans le moulage de masques ou dans la création de moules souples, afin de fluidifier la solution et d'obtenir un film très élastique<sup>115</sup>.

La décoloration de la gélatine, particulièrement celle de moins bonne qualité, plus jaune, était entreprise par l'ajout d'acide sulfureux, d'ozone ou encore de peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ )<sup>116</sup>. Le charbon actif peut également être utilisé pour décolorer les solutions de gélatine<sup>117</sup>. L'addition de petites quantités de pigments, comme du blanc de zinc ou de l'alizarine saphirol (pigment bleu), permet de blanchir ou de « neutraliser » la teinte jaune naturelle de la gélatine<sup>118</sup>. Il est également possible d'ajouter sciemment des pigments ou des colorants pour teinter la gélatine. Afin de moduler la translucidité du film final, des mattifiants, comme par exemple de l'amidon, peuvent être ajoutés à la solution<sup>119</sup>.

M. Edouard Kratz, à Chicago (USA), dépose en 1932 une patente pour la fabrication de fines feuilles transparentes en gélatine destinées à l'emballage de bonbons ou de fleurs. Cette patente présente notamment les additifs ajoutés à la gélatine. Sa recette complexe est à base de gélatine, modifiée avec un plastifiant fait d'un mélange d'éthylène glycol, glycérol et d'huile de ricin sulfonée, d'une solution de formaldéhyde à 40% et d'un pigment bleu pour réduire la teinte naturelle jaune de la gélatine.

## 2.4 Identification des matériaux

L'observation des 19 modèles retenus pour ce travail, puis, pour mettre en évidence certains détails repérés à l'œil nu, l'examen des objets sous fluorescence UV ont permis une première approche visuelle et une identification de certains matériaux utilisés. Les coupes stratigraphiques réalisées à partir d'échantillons prélevés montrent que les parties translucides sont en réalité composées de plusieurs matériaux et non pas seulement de gélatine. Des analyses FTIR et à spectroscopie Raman ont permis d'analyser une partie de ces matériaux.

---

<sup>112</sup> Coppola *et al.*, 2008, p.57 ; Communications orales de Mme Miria Germano (Annexes 7.16)

<sup>113</sup> Podczec et Jones, 2004, p.69

<sup>114</sup> Ibid.

<sup>115</sup> Communications orales de Mme Miria Germano (Annexes 7.16) ; Poller, 1931, p.19

<sup>116</sup> Sheppard, 1923, p.32

<sup>117</sup> Pat. US1289053, 1918

<sup>118</sup> Fernbach Livingston, 1907, p.17; Pat. US1866410, 1932

<sup>119</sup> Pat. US1866410, 1932



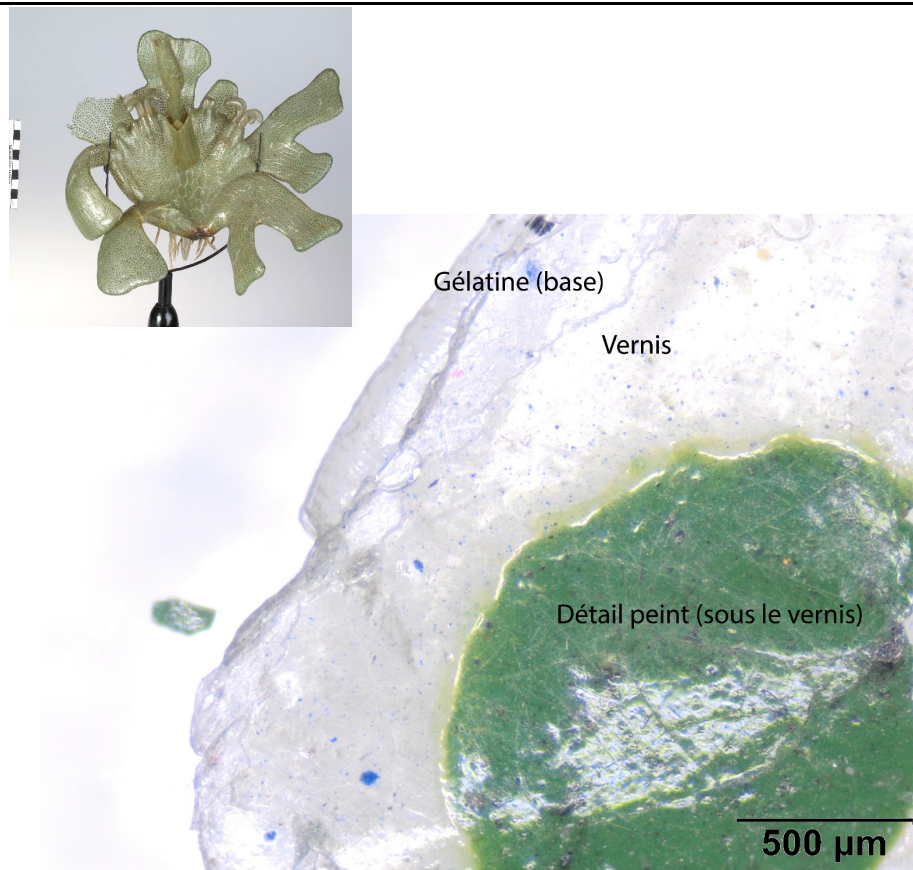


Fig. 53 Echantillon Ea.1.1 prélevé sur *Equisetum arvense* (Nr 4) Botmus

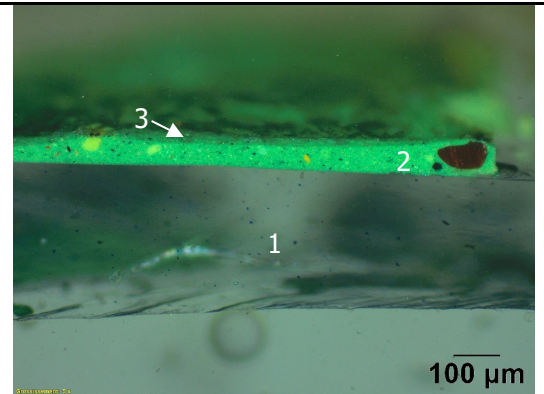


Fig. 54 Ea.1.1 : Vue en coupe, lumière polarisée

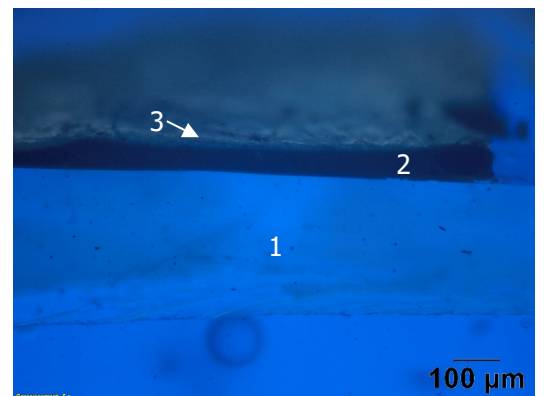


Fig. 55 Ea.1.1 : Vue en coupe, UV 340-380

1 : gélatine ; 2 : peinture ; 3 : vernis

Ce système composite, avec une masse de gélatine pour base, des détails peints et un vernis en surface, est l'objet principal de cette étude. Cette membrane est associée à plusieurs autres matériaux, comme du papier-mâché, des textiles, des fibres végétales, etc., qui seront également présentés dans ce chapitre.

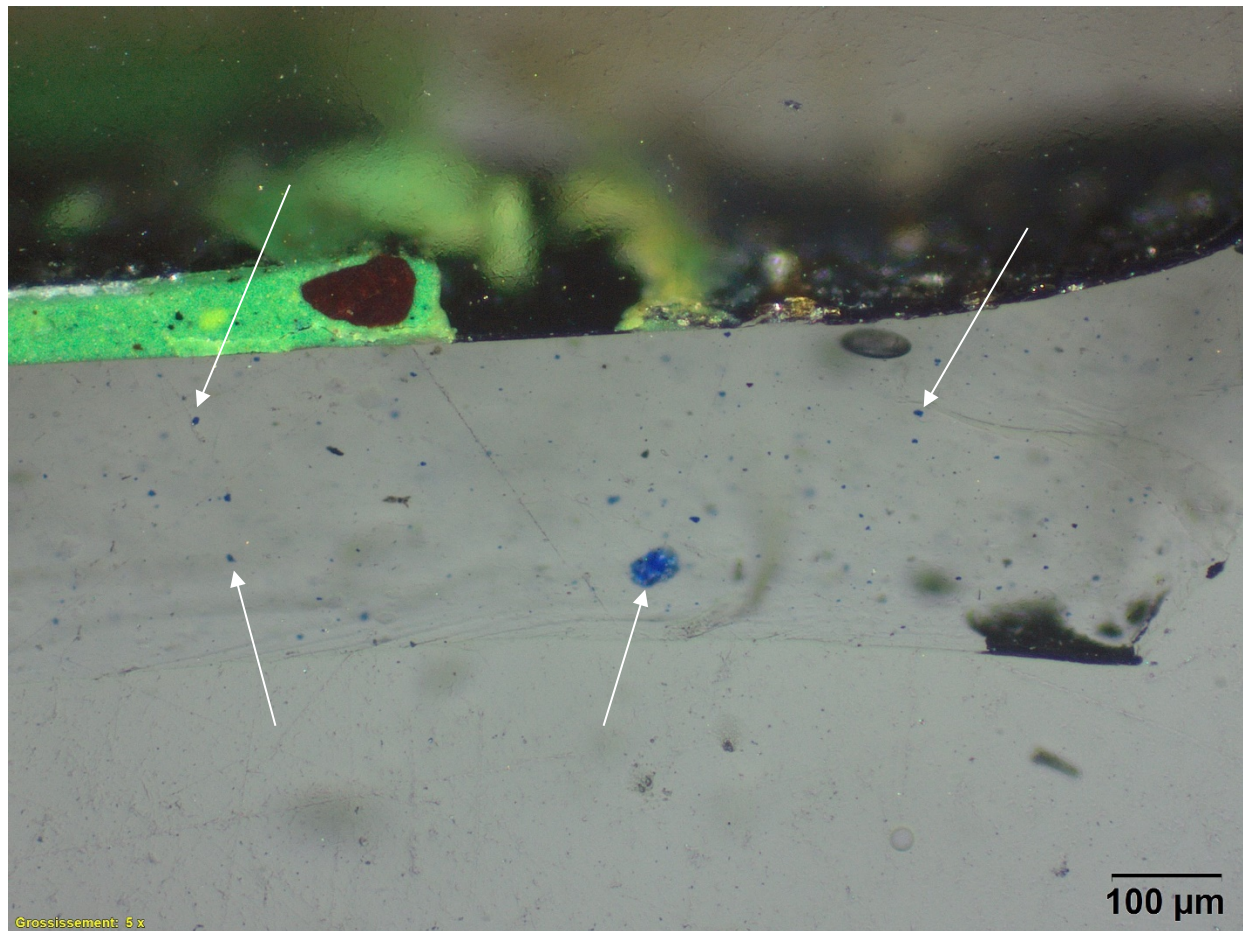
### 2.4.1 Matériaux principaux

**Gélatine** : La gélatine a été identifiée par analyse FTIR sur les échantillons et à l'aide d'un spot-test Amido Black AB3 (Annexe 7.10.4, p.188) sur les coupes stratigraphiques. Sur les spectres FTIR, aucun additif n'a été identifié. Sous microscope, la gélatine apparaît translucide et peu colorée. Dans cette masse de gélatine, sont visibles des particules irrégulières et bleues (Fig. 56, p.45). Il s'agit d'ultramarine bleu, identifié par spectrométrie Raman (Annexe 7.12.3, p.213), un pigment minéral composé de silicate de sodium complexe contenant du soufre<sup>120</sup>. Ce pigment peut soit être extrait de la pierre lapis lazuli, soit produit artificiellement. Il se peut que ce pigment ait été ajouté pour colorer la masse ou pour « neutraliser » visuellement la teinte naturellement jaune de la gélatine<sup>121</sup>.

<sup>120</sup> Gettens et Stout, 1966, p.163-167

<sup>121</sup> Pat. US1866410, 1932





*Fig. 56 Particules d'ultramarine bleu dans l'échantillon Ea.1.1, vue en coupe, fond noir*

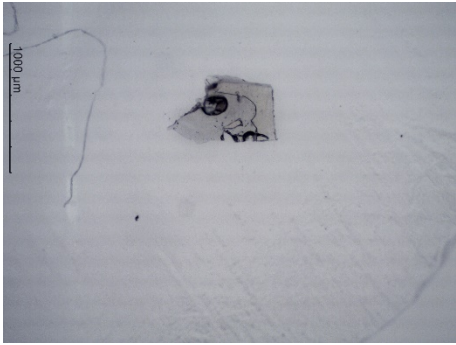

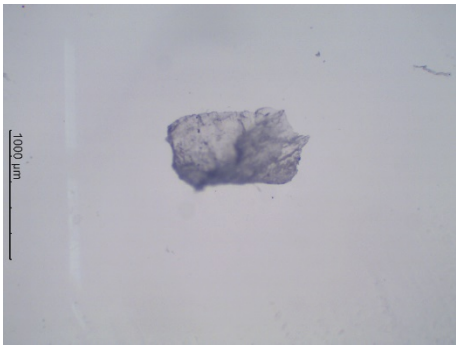

La gélatine peut être extraite des tissus collagéniques de presque n'importe quel animal. Seules des analyses très poussées pourraient éventuellement permettre la distinction entre une gélatine porcine ou bovine (les plus communes) ou de poisson. La gélatine de poisson étant bien plus rare et moins stable structurellement<sup>122</sup>, il est plus probable que les Brendel aient utilisé une gélatine bovine et/ou porcine.

En contact avec de la vapeur d'eau, une gélatine pure et récente est plus réactive qu'un échantillon prélevé sur un modèle Brendel en gélatine (Tableau 3, p.46 et Annexe 7.10.2, p.185). La réactivité plus modérée à l'eau de la gélatine Brendel indique une réticulation due soit au vieillissement des protéines, soit à l'ajout intentionnel d'un durcisseur lors de la fabrication. Ces objets étaient livrés jusqu'en Amérique du Sud<sup>123</sup>. Afin de garantir la qualité et la pérennité de leurs créations, les Brendel maîtrisaient très certainement une recette de gélatine complexe. La masse devait être mise en œuvre relativement facilement et en même temps être très stable et solide pour le transport puis l'utilisation des objets. La gélatine observée dans les modèles présente aujourd'hui encore un bon état de conservation (masse relativement souple et translucide). Il est donc fort probable que la gélatine contienne des additifs.

<sup>122</sup> Mills et White, 1994, p.86

<sup>123</sup> Collections au Colegio Nacional de Buenos Aires (Argentine) et Musée Héctor Vásquez Salaza à Ambato (Équateur)

Tableau 3 Illustration de la différence de réactivité à l'eau entre un gélatine récente et une gélatine Brendel

Test H <sub>2</sub> O	0 min	4 min 30 s
Gélatine pure CTS		
Gélatine Brendel (Échant. Ea.1.1)		

**Couche peinte :** Les parties en gélatine peuvent être partiellement ou totalement peintes. La peinture a été analysée sur deux modèles d'*Equisetum arvense* (Nr 4). Il s'agit de pigments avec un liant à base d'huile (Annexe : FTIR Fig. 232 et Fig. 233, p.212 et Raman Fig. 235, p.214). Sur les coupes stratigraphiques, aucun apprêt pour favoriser l'adhérence entre la surface en gélatine et la peinture à l'huile n'a été identifié. La peinture verte est composée de bleu de Prusse (ferrocyanure ferrique de formule  $\text{Fe}_7(\text{CN})_{18}(\text{H}_2\text{O})_x$ ) et de jaune de chrome (ou chromate de plomb  $\text{PbCrO}_4$ ), mélange plus communément appelé vert de chrome<sup>124</sup>.



Fig. 57 Mélange bleu de Prusse et jaune de chrome pour illustrer les chloroplastes *Equisetum* (Nr 4) Botmus

<sup>124</sup> Gettens et Stout, 1966, p.105, 106, 149 et 150



En comparant les trois exemplaires d'*Equisetum arvense* (Nr 4), on observe différentes variations de ce vert. Si le mélange de pigments a été fait lors de la création des modèles, il est possible que le ratio jaune-bleu variait, donnant différents tons de vert (Fig. 58, ci-dessous). La taille, l'épaisseur, la densité de ces chloroplastes peints varie également d'un modèle à l'autre, attestant d'une décoration faite main, peut-être à des époques de production distinctes et/ou par différents artisans.



Fig. 58 Différences de détails peints sur deux *Equisetum* (Nr 4)

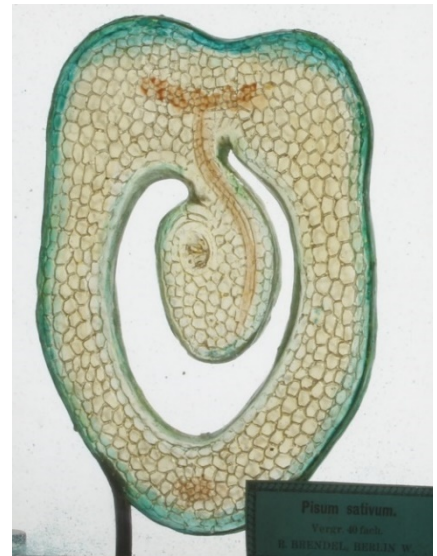


Fig. 59 Peinture transparente *Pisum* (Nr 145)

Outre cette peinture plutôt opaque, certains modèles de gélatine sont également recouverts d'une couche de peinture translucide (Fig. 59, ci-dessus). C'est le cas pour les coupes encadrées et certains modèles en volume (*Chara fragilis* (Nr 9), Annexe 7.4.5, p.160).

**Vernis :** Les pièces en gélatine présentent presque toutes un vernis sur les faces extérieures. Sous rayonnement UV, en comparaison avec la gélatine qui a une forte fluorescence bleu clair, le vernis apparaît d'une teinte brun-orangé plus terne (Fig. 61 et Fig. 62, p.48).

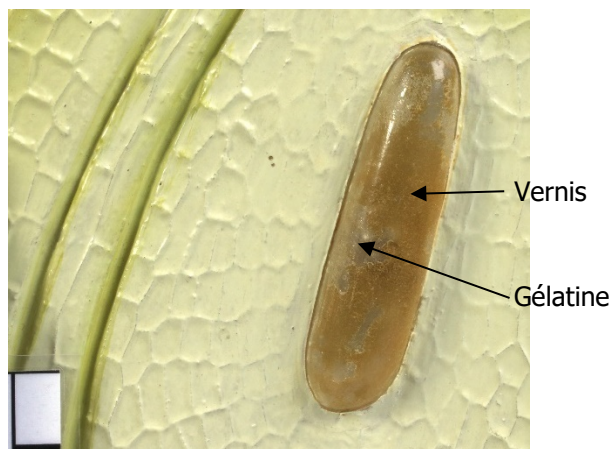


Fig. 60 Vernis sur gélatine *Anatropes Ovulum* Nr 165

Des analyses FTIR de plusieurs échantillons ont permis d'identifier le composant de base de ce vernis comme étant une résine diterpénique. L'analyste Dr Stefan Zumbühl (HKB Berne) a identifié cette résine comme de la sandaraque grâce à des pics caractéristiques (Spectres FTIR : Fig. 209, Fig. 212, Fig. 221, Fig. 225, Fig. 227, dès la p.200). La résine sandaraque est extraite de petits conifères de la famille Cupressaceae, cultivés en Afrique du Nord, sur les côtes méditerranéennes et en Australie<sup>125</sup>. La résine est un exsudat du tronc, qui forme des petites gouttelettes brillantes et jaune pâle. Les premières indications d'utilisation de cette résine dans des vernis sont datées du XII<sup>e</sup> siècle<sup>126</sup>. Elle est entièrement soluble dans les alcools.

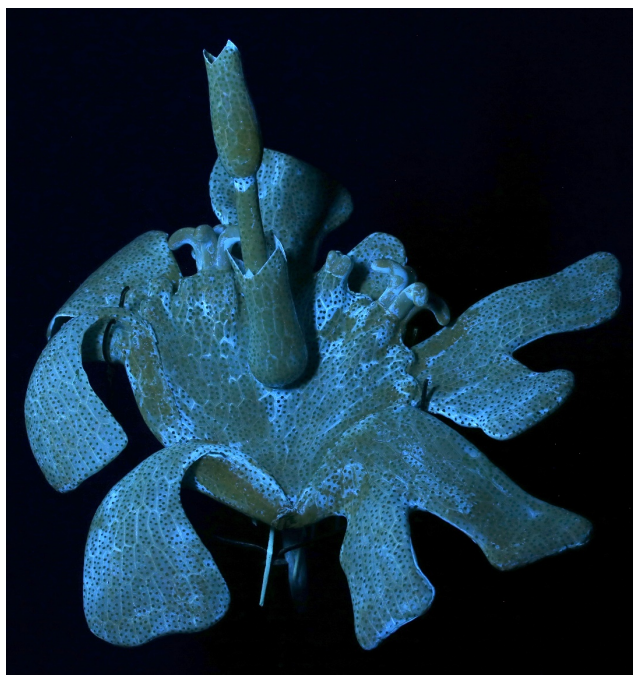


Fig. 61 *Equisetum arvense* (Nr 4) Burgdorf, UV 360nm

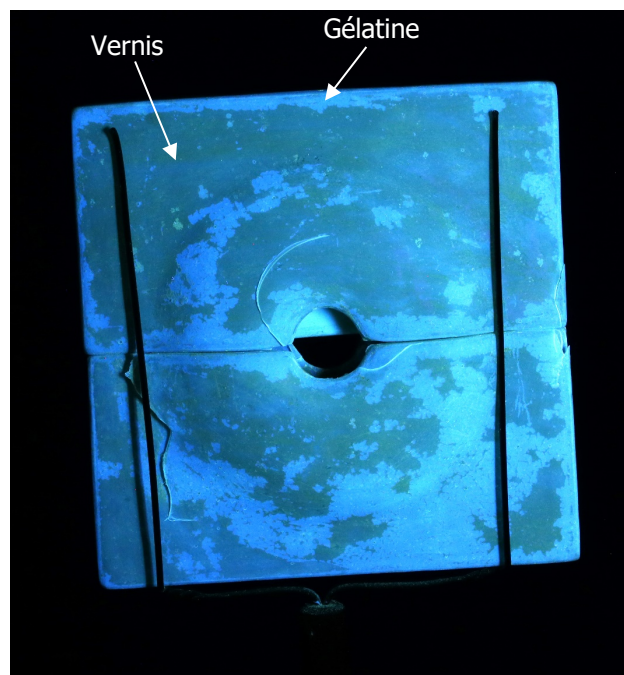


Fig. 62 *Pinus Silvestris* (Nr 156), UV 360nm

Les analyses FTIR n'ont pas révélé de traces d'huile dans le vernis, ni de gomme végétale, d'élémi ou de gomme-laque. Les vernis de sandaraque sont pourtant généralement mélangés à ce type de « plastifiants » pour éviter d'obtenir un film trop dur et cassant<sup>127</sup>. Sans ces additifs, le vernis se craquèle facilement<sup>128</sup>. Il est possible que la sandaraque ait été mélangée avec de l'huile essentielle de lavande, mélange que l'on retrouve dès le XVIII<sup>e</sup> siècle dans la littérature<sup>129</sup>. Le vernis sandaraque, utilisé en photographie pour protéger des négatifs, ne donne un résultat satisfaisant que lorsqu'il est appliqué en mélange avec une huile essentielle<sup>130</sup>. Le caractère volatile de cette dernière la rend peut-être indétectable aujourd'hui dans les échantillons prélevés. Des essais de vernissage réalisés uniquement avec un mélange sandaraque-alcool ont montré que le vernis obtenu est trouble, blanchâtre, tandis qu'un mélange avec de l'huile essentielle de lavande donne un film transparent et brillant (Annexes, Fig. 239, p.231).

<sup>125</sup> Masschelein-Kleiner, 1995, p.70

<sup>126</sup> Azémard *et al.*, 2017, p.2

<sup>127</sup> Mayer, 1991, p.225-226

<sup>128</sup> Gettens et Stout, 1966, p.60

<sup>129</sup> Delormois, 1771 p.27 ; Towler, 1864, p.139 ; McIntosh, 1911, p.388 ; Riffault *et al.*, 1862, p.268

<sup>130</sup> Lea, 1868, p.286-287

## 2.4.2 Autres matériaux rencontrés sur les modèles

**Papier-mâché** : Le papier-mâché est en réalité le matériau de base des modèles anatomiques Brendel, la gélatine n'étant souvent utilisée que pour certaines parties et détails. Les différentes parties en papier-mâché sont fabriquées dans des moules puis assemblées<sup>131</sup>. Dans les modèles Brendel, le papier-mâché est un mélange de plusieurs couches de papier encollés (Fig. 64, ci-dessous). Le papier est tiré d'une pâte de bois comprenant un haut taux de lignine<sup>132</sup>. La surface est ensuite apprêtée avec du carbonate de calcium et du blanc de zinc, probablement mélangés à un liant protéinique, puis peinte<sup>133</sup>. Parfois, le papier-mâché est associé à du plâtre<sup>134</sup>.



Fig. 63 Exemples de modèles de Brendel majoritairement en papier-mâché



Fig. 64 Détails papier-mâché Brendel ©Mayoni 2016

**Textiles** : Des textiles, ou des matériaux similaires, ont été utilisés sous diverses formes sur les modèles, notamment pour représenter les rhizoïdes dans la série des Equisetum. Ils se présentent sous forme de tubes en textile rigidifiés (Fig. 65, ci-dessous)<sup>135</sup>.

<sup>131</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.37

<sup>132</sup> Mayoni, 2016, p.12

<sup>133</sup> Ibid.

<sup>134</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.39

<sup>135</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.37





Fig. 65 Rhizoïdes *Equisetum* (Nr 4) Botmus et détail textile rigidifiés en tubes

Plusieurs autres utilisations de textiles ont pu être observées : comme fine membrane structurale (intérieur *Pinus silvestris* (Nr 156) (Fig. 41, p.37) ou comme armature rigide, texturée et peinte (surface corps *Aspidium* (Nr 8) (Fig. 66, ci-dessous).



Fig. 66 Détail de l'utilisation de textile dans le modèle *Aspidium* (Nr 8)



**Verre** : De manière générale, le verre est rare dans les modèles Brendel. Deux exemples ont été identifiés dans ce travail : les perles de verre et un objet formé d'un bulbe en verre.

Du fait de sa transparence, le verre pourrait éventuellement être confondu avec les parties en gélatine. En pratique, sur les modèles Brendel, le verre se distingue de la gélatine principalement par sa rigidité, par l'absence de coloration jaune et par une sensation plus froide au touché. Une observation sous rayonnement UV permet également de distinguer ces deux matériaux. Si des zones de cassures sont visibles, une morphologie conchoïdale des épaufrures est caractéristique des cassures du verre.

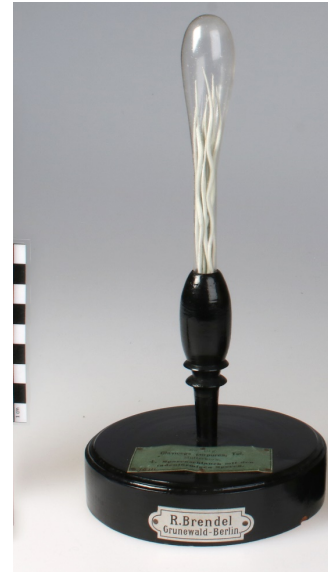


Fig. 67 Modèle *Claviceps purpurea* (Nr 10g) en verre

**Métal** : en dehors des socles, le métal est utilisé principalement sous forme de fil en alliage ferreux (identifié grâce au magnétisme de la majorité des alliages de fer), comme structure interne de feuilles ou autres parties fragiles (Fig. 68, ci-dessous). Les systèmes de fermeture et de verrouillage pour les différentes pièces démontables sont également faits de pièces métalliques, généralement en alliage de fer.

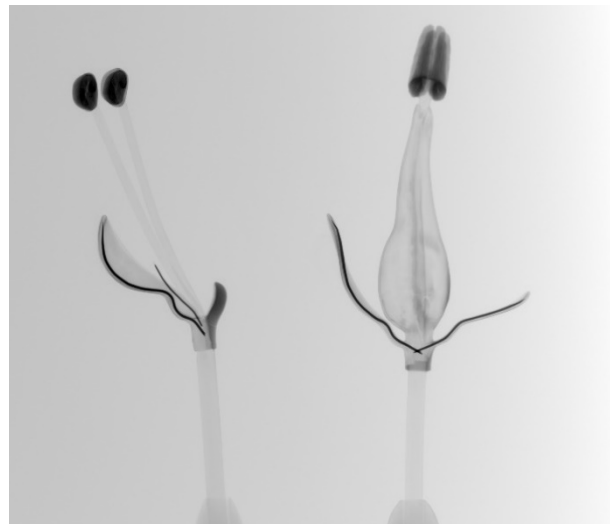


Fig. 68 Modèle *Salix alba* (Nr 45) Botmus, avec structures métalliques internes visibles sous rayons X

**Fibres naturelles/bois** : en plus des textiles, les Brendel ont utilisé plusieurs types de matériaux fibreux ou duveteux pour représenter les différentes textures des végétaux (Fig. 69 et Fig. 70, ci-dessous). Des matériaux d'origine animale (soie, plumes, poils) et végétale (tiges de bois, coton, moelle de roseau, chanvre) ont été identifiés dans d'autres études<sup>136</sup>.



Fig. 69 Détail modèle *Marchantia polymorpha* (Nr 140) Botmus



Fig. 70 Détail modèle *Corylus* (Nr 53)

**Socles, supports et étiquettes** : Les socles sont généralement constitués d'une base et d'un pommeau en bois. La base se présente sous forme de disque simple ou comprend des rainures ouvragées. Un ou plusieurs pommeaux, semblables à des poignées ou des bulbes allongés, sont fixés dans la base. Ils sont perforés dans la longueur pour accueillir soit une tige avec une structure métallique qui va soutenir le modèle, soit directement le modèle lui-même (grâce à une tige ajoutée sur le modèle ou à une tige déjà présente morphologiquement). Quelques modèles ne présentent pas de pommeau : la tige est directement fixée dans la base.



Fig. 71 Différents socles Brendel



Fig. 72 Différentes étiquettes Brendel

<sup>136</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.39 ; Mayoni, 2016, p.11

Les tiges sont en rotin<sup>137</sup> et les structures métalliques en alliage ferreux. Les socles les plus anciens sont en bois naturel, tandis que les modèles plus tardifs, datés un peu avant 1900, sont peints en noir<sup>138</sup>.

Il existe un large éventail d'étiquettes rondes ou rectangulaires sur les modèles Brendel. Elles décrivent les modèles avec le numéro de production Brendel, l'agrandissement du modèle et le nom de l'entreprise, ainsi que le nom latin et le(s) nom(s) commun(s) du spécimen. Certaines étiquettes, les plus anciennes, sont uniquement en latin et allemand. Les plus récentes sont en latin, allemand, français, anglais et italien. L'encre est noire et le papier est coloré en brun ou en vert/bleu. Les étiquettes sont encollées ou fixées à l'aide de petits clous en laiton. En plus de ces étiquettes, d'autres labels/plaquettes/inscriptions, souvent métal, se trouvent sur les socles, en fonction des revendeurs ou des magasins de distribution de ce type d'objets.

Il existe quelques cas particuliers de soclage dans les modèles Brendel (Fig. 73 et Fig. 74, ci-dessous). Les modèles de « coupes » en sont un exemple : ces fines pièces en gélatine translucide sont montées dans un cadre, entre deux plaques de verre.



Fig. 73 Soclage sous cadre du modèle en coupe Pisum (Nr 145)



Fig. 74 Spirogyra (Nr 205) Botmus

<sup>137</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p.38

<sup>138</sup> Mayoni et González, 2020, p.68

## 2.5 Etude approfondie de la fabrication des objets

### 2.5.1 Observations de mise en œuvre

#### Vocabulaire technique

COULER v. : Introduire une substance fluide dans un moule afin d'obtenir une épreuve. (MMAQ, 2009)

MODELER v. : Exécuter par adjonction ou suppression de matière une œuvre dans divers matériaux plastiques. (MMAQ, 2009)

MOULAGE n.m. : Opération qui consiste à fabriquer une œuvre avec un moule (empreinte dans laquelle sera placé un matériau et qui permettra le tirage ou la production en plusieurs exemplaires d'un modèle). Le moule doit parfois être détruit pour permettre l'extraction de l'épreuve qu'il contient, ou peut être réutilisé (moule à pièces, moule gravé, moule souple), rendant possible le façonnage d'un nombre plus ou moins important d'épreuves. (Baudry 2002)

MOULAGE PAR TREMPAGE n.m. : Procédé de mise en forme de matières plastiques par moulage. Un moule [...] est trempé dans une matière plastique fondue, ramollie ou en poudre fluidisée afin de le recouvrir d'une couche de cette matière. Après solidification, l'objet est démoulé. (efunda.com)

THERMOFORMAGE n.m. : Technique qui consiste à prendre un matériau sous forme de plaque, à le chauffer pour le ramollir et à profiter de cette ductilité pour le mettre en forme avec un moule. Le matériau redurcit lorsqu'il refroidit, gardant la forme du moule. (efunda.com)

#### 2.5.1.1 Coulage/thermoformage/trempe ?

Les pièces en gélatine Brendel sont faites d'un film/membrane translucide (Fig. 75, ci-dessous). L'épaisseur de cette membrane en gélatine est régulière et mesure entre 0.4-0.7 mm, sauf pour les détails ajoutés comme les nervures en relief pour illustrer les cellules végétales. Certaines membranes très fines peuvent faire 0.2-0.3 mm d'épaisseur (Fig. 76 et Fig. 77, p.55). La masse de gélatine présente parfois des petites bulles (généralement Ø max. 2 mm) irrégulières et des impuretés (Fig. 78, p.55). La majorité des pièces en gélatine complexes sont composées d'un assemblage de plusieurs parties.



Fig. 75 Translucidité du modèle *Aspidium* (Nr 8)





Fig. 76 Différentes épaisseurs de membranes, *Pinus silvestris* (Nr 190) Botmus



Fig. 77 Fine membrane, *Brachythecium rutabulum* (Nr) Botmus

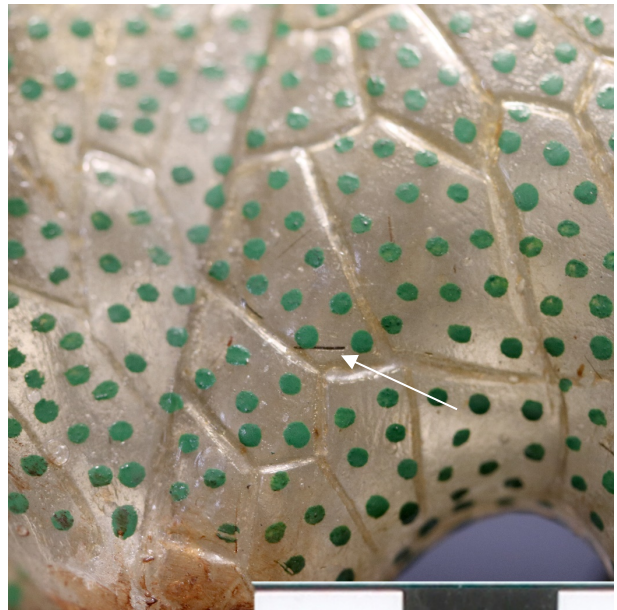


Fig. 78 Impuretés dans la gélatine, *Equisetum arvense* (Nr 4) Botmus

Lorsque l'on désire obtenir une forme creuse par moulage (procédé nécessaire pour une production en série), diverses techniques sont possibles. La pièce peut être **coulée** dans un moule complexe, avec une partie externe et un noyau, comprenant un système d'évents\* qui permet à l'air de sortir. La forme peut également être obtenue à partir de plaques **thermoformées** sur un moule (Fig. 84, p.58). Enfin, il est aussi possible que la pièce soit réalisée grâce à un moulage par **trempage**. Dans ce dernier cas, le moule est immergé dans un bain de matière thermoplastique, puis la pièce est séchée et démoulée (Fig. 85, p.58).



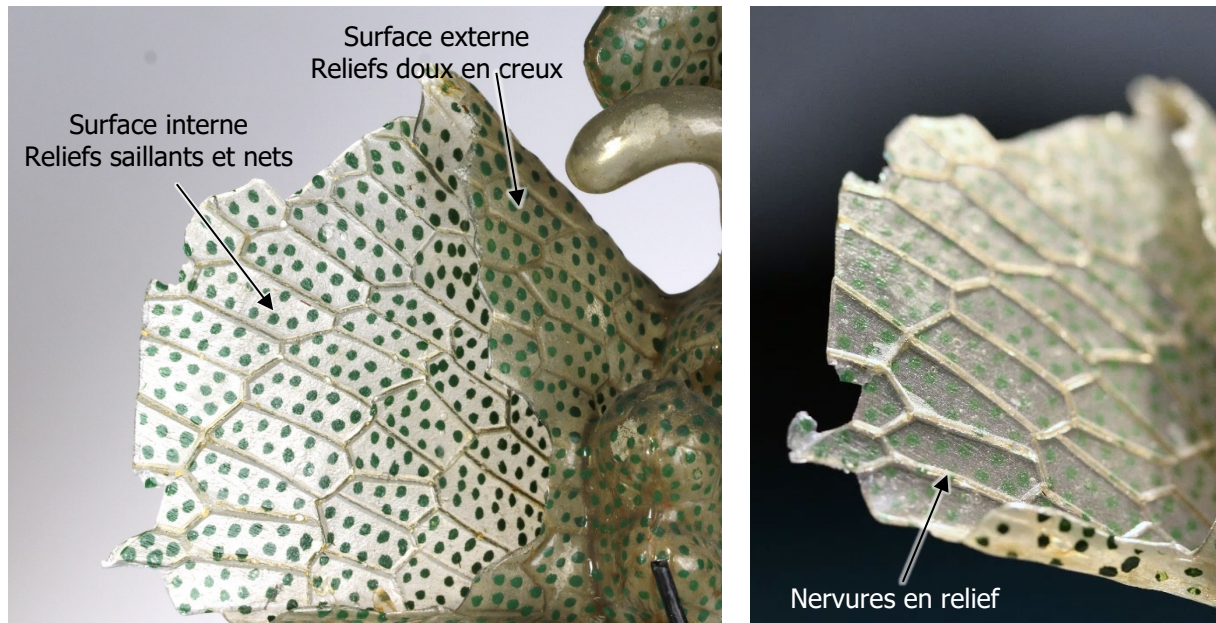


Fig. 79 Les deux surfaces et les reliefs, *Equisetum arvense* (Nr 4) Botmus

Deux types de surface ont été observés sur les parties en gélatine : une surface lisse et brillante, souvent externe, avec des reliefs doux en creux (les bords des cellules par exemple), et une surface interne mate, texturée, avec parfois des reliefs généralement saillants et nets (Fig. 79, ci-dessus). La surface externe est brillante même dans le cas où le vernis n'est pas/plus présent. Cette observation laisse penser que la partie en contact avec le moule serait la surface interne. Par conséquent, les parties en gélatine ont été façonnées sur des pièces de moulage en positif, et non pas en négatif (Fig. 80, ci-dessous).

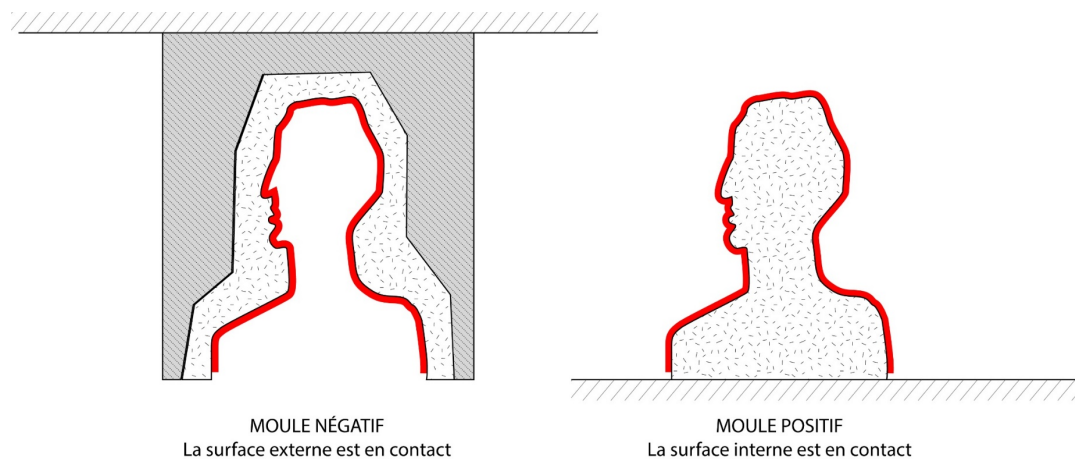


Fig. 80 Différences moule en positif et moule en négatif

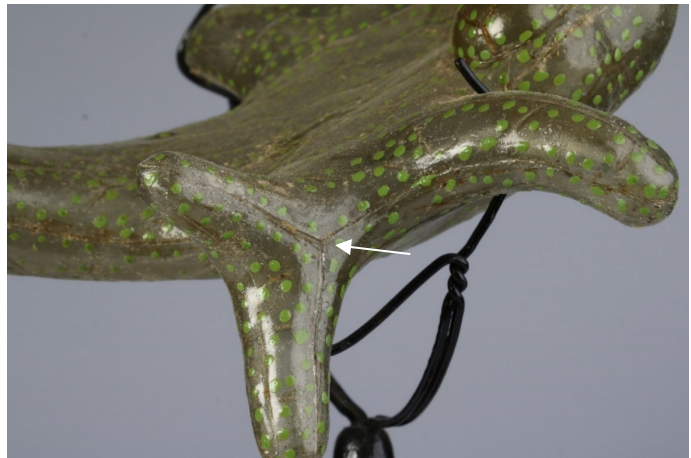
La formation d'un film de gélatine se fait par évaporation du solvant, c'est-à-dire l'eau, et non pas au travers d'une réaction chimique (comme la prise du plâtre par exemple). Pour que l'évaporation soit possible, la masse doit être en contact avec l'air. Un moule complètement fermé ne permet pas cela. Il est donc peu probable qu'une technique de moulage fermé, comme le coulage avec une forme et une contre-forme, ait été utilisée. Trois hypothèses de mise en forme sont alors possibles. Les pièces ont pu être coulées séparément, dans des moules ouverts. Cette méthode est cependant difficile à mettre en œuvre sur des

formes avec différentes courbures. De plus, la création de pièces séparément risque de rendre l'assemblage difficile en raison de retraits non-uniformes. Le coulage de ces pièces est donc peu probable.

Dans la deuxième hypothèse, les pièces auraient été mises en forme par thermoformage. Avec cette technique, les films de gélatine sont d'abord coulés à plat puis, une fois secs, sont rendus souples par apport de chaleur et modelés sur une contre-forme. La régularité de l'épaisseur du film de gélatine présent sur les objets étudiés rend cette hypothèse possible. Certaines pièces se prêtent bien à la technique du thermoformage, notamment les formes simples et ouvertes, comme le capuchon (Fig. 81, ci-dessous) et les membranes sur les parois du Brachythecium (Nr 1) (Fig. 77, p.55). Sur d'autres pièces en gélatine, plusieurs observations vont à l'encontre de cette théorie : certaines formes fermées sont très complexes et impliqueraient de grandes déformations du film thermoformé. Parfois, les nervures en relief sont très nettes et précises, ce qui laisse penser que la matière était liquide au moment du contact avec le moule et non pas juste ramollie. Il est cependant possible que les nervures soient moulées dans le film de gélatine avant le thermoformage. Toutefois, si l'on compare deux exemplaires d'un même modèle, on remarque que ces nervures se trouvent exactement au même endroit. Si les nervures avaient été présentes dès le début sur le film thermoformé, des légers décalages seraient inévitables. Les bulles, qui se forment lors du séchage du film, ne présentent pas d'allongements/torsions dans les zones où le film aurait été le plus déformé par thermoformage.



*Fig. 81 Capuchon Brachythecium (Nr 1) Botmus, face et côté, une seule ligne d'assemblage (pointillé blanc)*



*Fig. 82 Equisetum (Nr 5), forme complexe avec de nombreuses parties assemblées et de fortes courbures*

Dans la 3<sup>e</sup> hypothèse, les pièces entières seraient moulées en une seule fois par trempage. Avec cette méthode, le moule est recouvert par immersion de la solution de gélatine qui est laissée sécher, puis la forme est découpée pour libérer le moule. Les différentes pièces ainsi créées sont finalement assemblées. Cette mise en œuvre présente l'avantage de pouvoir réaliser des formes très complexes tout en ayant un retrait uniforme sur l'ensemble de la pièce. Cette technique permet donc un assemblage très précis après le démoulage. Plusieurs détails visibles sur les objets, notamment des bulles coupées par une ligne d'assemblage (Fig. 83, ci-dessous) ou les nervures parfaitement alignées sur les deux côtés de la ligne d'assemblage, appuient cette hypothèse.



Fig. 83 *Equisetum* (Nr 5) Küsnacht, détail bulle coupée en deux par une ligne d'assemblage

Pour résumer, les observations faites sur les modèles Brendel mènent à la supposition que deux techniques ont potentiellement été utilisées en fonction des pièces réalisées : le thermoformage et le trempage. Dans le cas du moulage par trempage, les formes fermées complexes doivent être découpées sur le moule pour pouvoir retirer celui-ci.

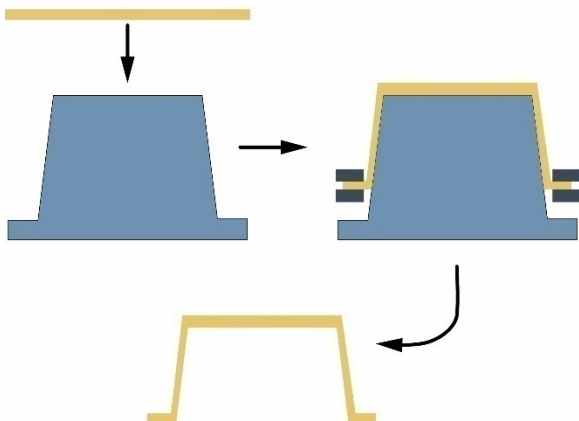


Fig. 84 Schéma du moulage par thermoformage

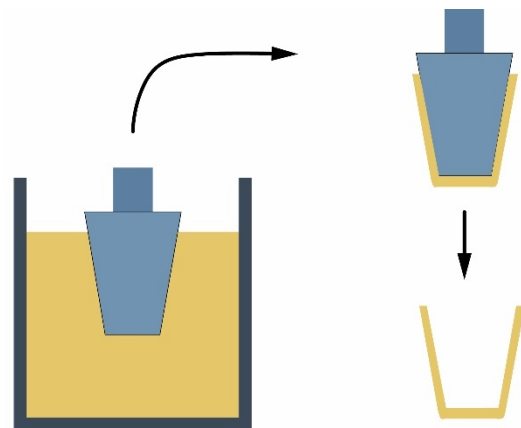


Fig. 85 Schéma du moulage par trempage

### 2.5.1.2 Bords et découpes

La majorité de modèles en gélatine présentent des lignes d'assemblage qui, si la technique de moulage par trempage a été appliquée, sont des zones ayant été en premier lieu découpées pour libérer le moule. En effet, dans le cas d'une forme complexe, le démoulage ne peut pas se faire simplement en tirant le moule, il y a trop de creux, d'aspérités, d'éléments fins ou de parties en contre-dépouille.

Les lignes de découpe accessibles visuellement sont majoritairement nettes et droites. Peu d'à-coups, de déviations ou de défauts sont visibles. A quelques endroits, des légers boursoufflements aux bords de la



ligne de découpe font penser à une déformation provoquée par un outil chaud (Fig. 86, ci-dessous). Une lame très acérée et chauffée est tout à fait envisageable pour cette découpe. D'autres zones présentent des fentes dans le prolongement de la découpe, ce qui indique un outil très tranchant (Fig. 87, ci-dessous).

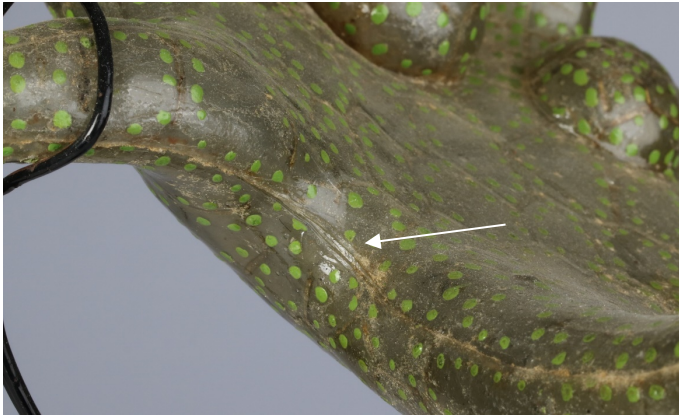


Fig. 86 Déformation de la ligne de découpe *Equisetum* (Nr 5)

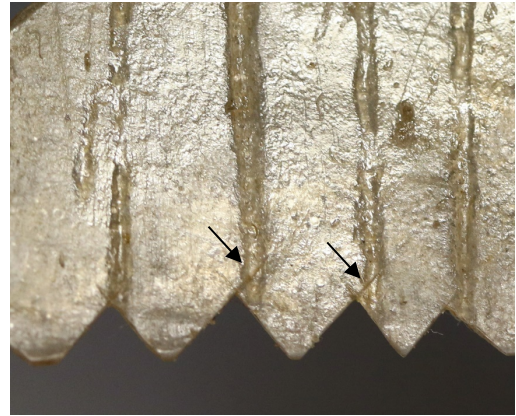
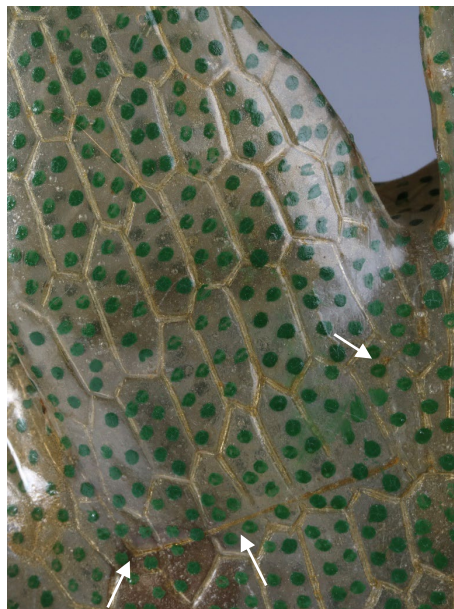


Fig. 87 Bord dentelé du capuchon, *Brachythecium* (Nr 1), fentes de découpe

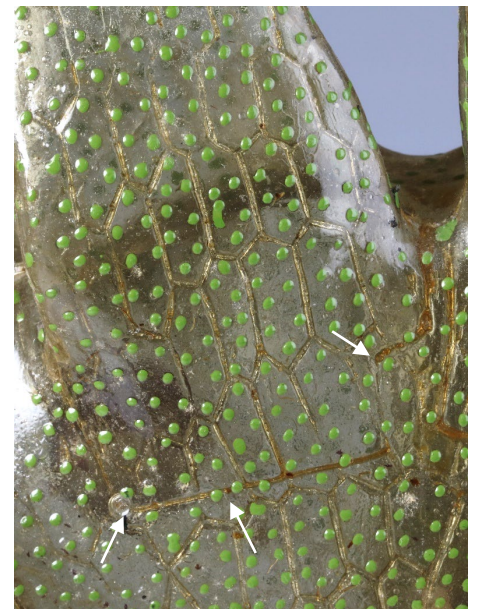
La comparaison des trois exemplaires d'*Equisetum arvense* (Nr 4) permet de constater que les zones de découpe sont situées exactement au même endroit d'un modèle à l'autre (Fig. 88, ci-dessous). Les artisans ayant fabriqués ces objets devaient avoir un système de découpage précis et/ou des repères pour guider leurs outils. Cette précision se retrouve également pour les autres lignes de découpe (par exemple le pourtour de l'objet) et sur d'autres modèles.



Botmus



Burgdorf



Küsnacht

Fig. 88 Ligne de découpe de la même partie pour les modèles d'*Equisetum arvense* (Nr 4)



### 2.5.1.3 Assemblages

Les assemblages, si la pièce est constituée de plusieurs parties, peuvent être très variés. Parfois, les parties assemblées se superposent sur la ligne de jonction. Dans d'autres cas, les pièces sont jointes bord à bord. A certains endroits, des ajouts de « patches » réalisés en un film fin de gélatine sont visibles le long de la ligne d'assemblage (Fig. 91, ci-dessous).



Fig. 89 Capeau *Brachythecium* (Nr 1) Botmus, la ligne d'assemblage de la membrane se superpose



Fig. 90 Jonction bord à bord, *Equisetum* (Nr 4) Burgdorf

Ces assemblages ont été faits par ajout d'un adhésif, parfois visible sous forme de débordements à l'intérieur des lignes de jonction. Cette colle a été identifiée comme de la gélatine (Échantillon Ea.1.2., Spectre FTIR Fig. 222, p.206). Il s'agit probablement de la même gélatine de base que celle utilisée pour les membranes (particules d'ultramarine bleu visibles dans la masse), directement disponible pour l'artisan. Il est également possible que la recette de cet adhésif soit légèrement différente que celle utilisée pour le moulage, car les lignes d'assemblages ont quelques fois une teinte plus foncée et orangée que la membrane de gélatine.



Fig. 91 Capuchon *Brachythecium* « patches » sur la ligne d'assemblage



Les lignes d'assemblages sont parfois déformées, notamment quand les parties ont été superposées. Ce phénomène peut être dû à l'utilisation de la solution de gélatine chaude pour le collage, qui a potentiellement pu ramollir localement la membrane, ou parce que des outils chauffés ont été utilisés.

Lorsque les pièces semblent être ajoutée après l'assemblage de la partie principale, les bords sont moins jointifs (Fig. 92 et Fig. 93, ci-dessous).



Fig. 92 Jonction entre l'embryon et le corps, *Equisetum* (Nr 4) Botmus

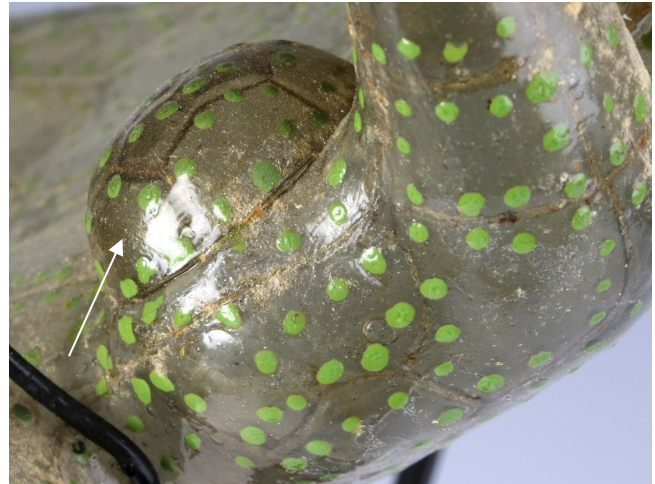


Fig. 93 Sphère ajoutées *Equisetum* (Nr 5)

#### 2.5.1.4 Finitions

Lorsque des détails ont été peints sur la gélatine, ceux-ci recouvrent les zones de jonctions des différentes pièces. Cette étape a donc succédé à l'assemblage.



Fig. 94 L'emplacement de ce rhizoïde était prévu (*Equisetum* (Nr 5))



Fig. 95 La disposition des spores sur les modèles de *Brachythecium* (Nr 1) est aléatoire

Les éléments réalisés avec d'autres matériaux, comme les fibres, perles, tiges, etc. sont également ajoutés au terme du processus de fabrication. Leur emplacement est soit prévu à l'origine et donc présent sur la base en gélatine (Fig. 94, ci-dessus), soit l'artisan choisit lui-même où exactement placer chaque élément (Fig. 95, ci-dessus).

Le vernis est appliqué sur les détails peints et n'est pas visible sur les surfaces internes. Il s'agit probablement de l'étape finale. Aucune trace de pinceau n'est visible dans le vernis. Les pièces ne semblent pas non plus avoir été trempées dans le vernis. Certaines parties, de toute évidence difficiles d'accès pour l'outil ayant servi au vernissage, n'ont pas été vernies (embryon *Equisetum arvense* (Nr 4)).

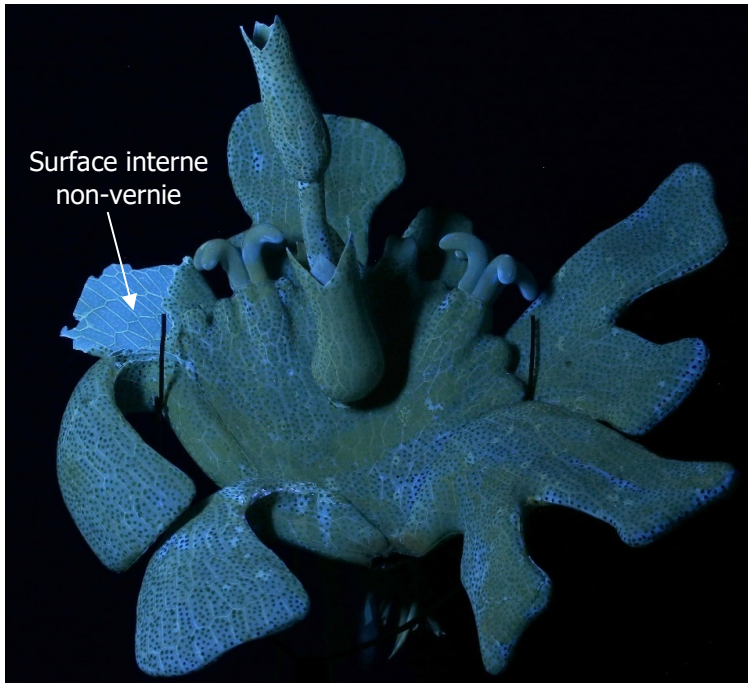


Fig. 96 Seules les faces externes sont vernies, *Equisetum* (Nr 4)  
*Botmus*



Fig. 97 Zone difficile à vernir, *Equisetum* (Nr 4)  
*Burgdorf*



## 2.5.2 Trois différents types de pièces

Les détails technologiques décrits ci-dessus sont visibles sur la grande majorité des pièces en gélatine. En dehors de l'utilisation de la gélatine comme film translucide à plat, les pièces en volume montrent une grande complexité dans leur mise en œuvre. Elles peuvent être réparties en trois catégories différentes selon leur technique d'assemblage :

- A. Pièces de forme fermée faites de deux (ou plusieurs) parties séparées. Les lignes d'assemblage parcourent tout le tour de la pièce. Trempage ?
- B. Pièces de forme fermée ou ouverte faite d'une seule partie avec une unique ligne d'assemblage. Trempage ? Thermoformage ?
- C. Pièces sans aucune ligne d'assemblage. Trempage ?



Fig. 98 Pièce type A : *Equisetum* (Nr 5)



Fig. 99 Pièce type B : Capuchon de  
*Brachythecium* (Nr 1)

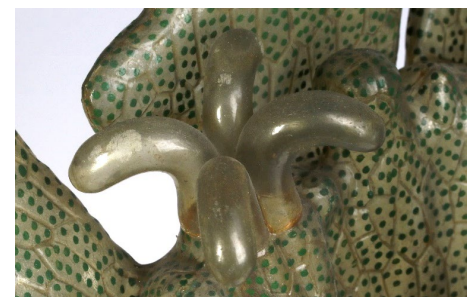


Fig. 100 Pièce type C : Archégonia  
d'*Equisetum* (Nr 4)



Pour chaque modèle, les Brendel effectuaient certainement une préparation théorique, basée sur des recherches botaniques, pour développer des prototypes puis un moule de base. Ce moule de base était probablement copié ; cela permettait de faire plusieurs tirages différents et ainsi protéger l'original d'une usure des reliefs et des détails par exemple.

Pour créer le moule de base, comme les formes sont complexes et arrondies avec des éléments rapportés, il semblerait qu'un matériau plutôt plastique (qui permet un modelage aisé) puis durci (possibilité de graver des motifs et de rajouter des éléments sans déformer la base) ait été employé. L'argile rempli par exemple ces conditions. Les copies faits à partir de cet original servent de moule pour fabriquer les modèles en gélatine, tout en permettant à l'original de rester intact. Pour ces copies, le plâtre est l'option la plus probable, car peu coûteux, facile à mettre en œuvre et suffisamment solide pour découper la gélatine sur le moule (libérer le moule). Fiorini *et al.* (2008), Mayoni (2016) et Svojtka (2015), affirment également que le plâtre était un des matériaux de base des moules pour les modèles de Brendel.

### 2.5.2.1 Exemple pièce type A

Pour illustrer ce type de pièces, les trois exemplaires d'*Equisetum arvense* (Nr 4) ont été choisis car ils permettent une comparaison précise de leur mise en œuvre. Les trois exemplaires présentent des étiquettes différentes mais les dimensions des parties d'un modèle à l'autre sont exactement les mêmes. Cela atteste donc de différentes périodes de fabrication mais de l'utilisation d'un même moule de base.

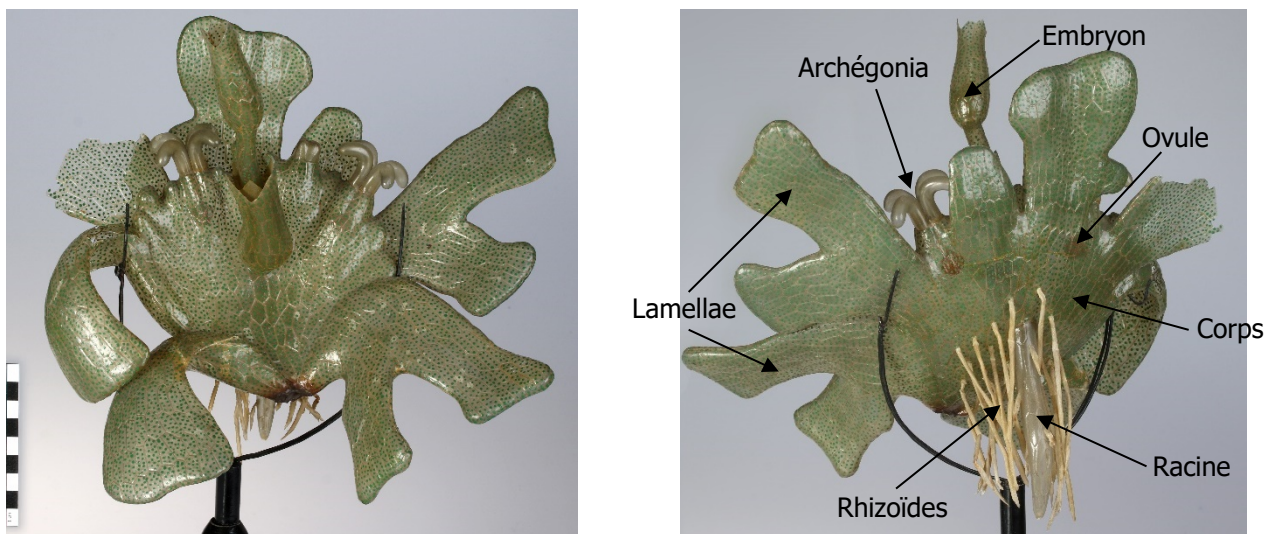


Fig. 101 *Equisetum arvense* (Nr 4) et les différentes parties qu'il illustre

Ces modèles, entièrement en gélatine, sont formés d'une pièce centrale, le corps avec des lamellae (appendices en forme de pétale), et de plusieurs éléments ajoutés. La pièce centrale est une forme complexe fermée, avec pour seules ouvertures les zones qui accueillent des éléments ajoutés.

Le corps de l'*Equisetum* et les quatre lamellae supérieures ont été moulées en une fois sur un seul moule. Chacune des lamellae du bas ont en outre été moulées à part, chacune avec son propre moule. Au moins 4 moules différents ont donc été utilisés pour fabriquer la forme principale de cet objet. En plus de cela, les

éléments rapportés, c'est-à-dire l'embryon, la racine, les rhizoïdes, les ovules et les archegonia, ont dû être façonnées à part et ajoutées au modèle au cours de la fabrication.

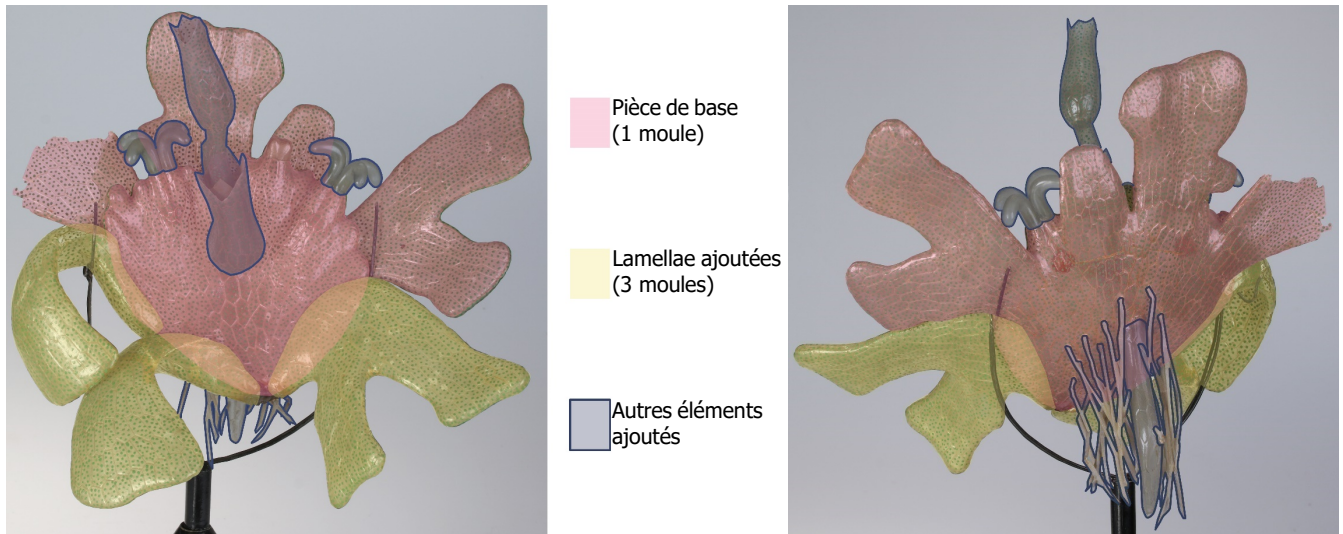


Fig. 102 Schéma des différentes parties qui ont été moulées/fabriquées pour le modèle *Equisetum* (Nr 4)

L'hypothèse concernant la mise en œuvre de la pièce de base (corps et 4 lamellae) est qu'elle est faite à partir d'un moule en positif, avec le motif des cellules végétales gravés en creux sur la surface. Ce moule a été trempé, une ou plusieurs fois, dans une solution de gélatine à chaud, puis laissé sécher. Une fois la couche de gélatine complètement sèche, les bords du corps ont été découpés, ainsi que le dos de chaque lamellae, pour pouvoir sortir le moule (Fig. 103 à Fig. 105, ci-dessous). La pièce en gélatine ainsi formée est découpée en 6 parties, qui vont ensuite être recollées ensemble pour constituer le modèle en gélatine creuse.



Fig. 103 Découpe de la pièce de base (corps et 4 lamellae supérieures) en six parties différentes : face du corps (en bleu), le devant des lamellae et le dos du corps (en orange) et le dos des 4 lamellae (en blanc)





Fig. 104 Lignes de découpe puis d'assemblage

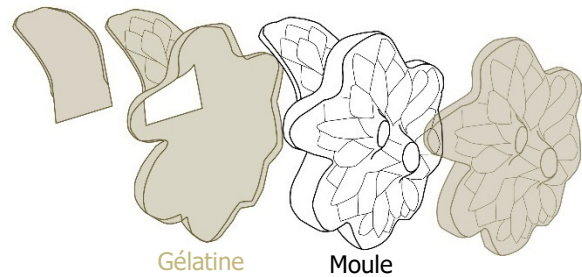


Fig. 105 Illustration simplifiée de la découpe et du démoulage d'une pièce avec une lamellae

Lors du trempage du moule, celui-ci doit être maintenu par une poignée, une anse ou un crochet, qui permet à l'objet d'être plongé entièrement dans la solution de gélatine, puis d'être suspendu pendant le séchage. Ce système de préhension a pu être fixé dans les zones où les pièces rapportées allaient être ensuite insérées (pour le corps, l'emplacement de l'embryon ou de la racine) ou dans les bases ouvertes (pour les lamellae ajoutées).

Les lamellae ajoutées sont faites à part avec la même technique, puis fixées sur le corps. Les autres éléments rapportés sont faits séparément et fixés au fur et mesure de l'assemblage complet du modèle.

### 2.5.2.2 Exemple pièce type B

Le sac à spores (columella) de la capsule de *Brachythecium* (Nr 1) est une pièce de forme fermée, avec une seule ligne d'assemblage qui parcourt le dos de la pièce de bas en haut dans la longueur (Fig. 108, p.66). Cette ligne d'assemblage n'est normalement pas visible, car le sac à spores est assemblé à sa base avec la paroi en gélatine de l'intérieur de la capsule. Le modèle du *Botmus* présente de nombreuses cassures autour de cette jonction, si bien que le sac à spores peut être retiré de la capsule et étudié en détail (Fig. 106, ci-contre).



Fig. 106 Columella de *Brachythecium* (Nr 1) *Botmus* et cassures autour de la jonction avec les parois



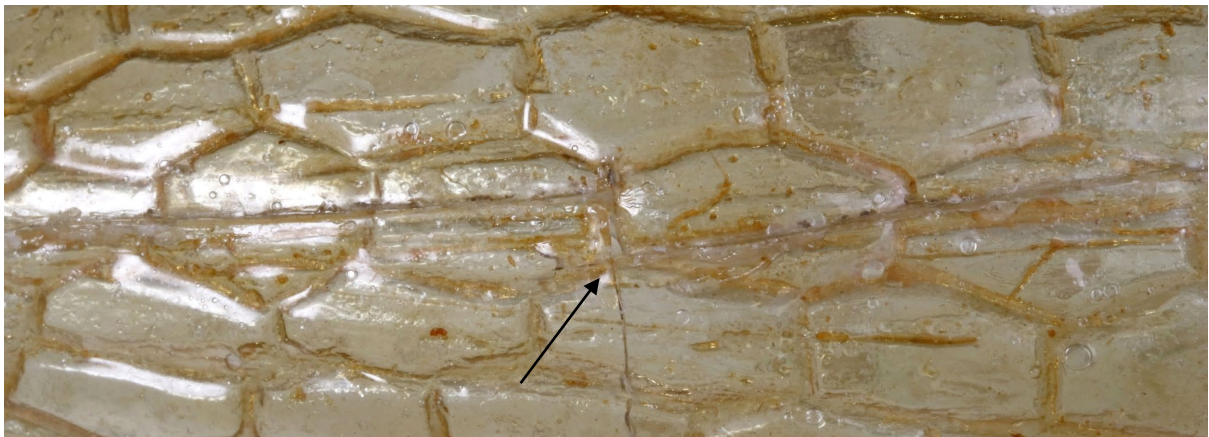


*Fig. 107 Columella de face*



*Fig. 108 Columella de dos avec ligne d'assemblage, lumière visible et rayonnement UV (360nm)*

Cette forme fermée est relativement complexe. Elle consiste en un corps bombé, un cou resserré et un sommet conique. La ligne d'assemblage est bord à bord, avec deux repères en zig-zag qui permettent un assemblage précis (Fig. 109, ci-dessous).



*Fig. 109 Détail ligne d'assemblage columella, avec repère en zigzag*

De manière générale, si la ligne d'assemblage montre une superposition des deux bords, cela indique une mise en œuvre par thermoformage. La technique par trempage ne provoque pas de surplus de matière : la jonction se fait donc bord à bord. Cette observation n'est pas forcément une règle absolue. Des raisons esthétiques peuvent également être impliquées, une superposition étant plus solide mais très visible par

rapport à une jonction bord-à-bord. Dans le cas du sac à spores, la ligne d'assemblage est normalement cachée. L'assemblage sans superposition et avec des repères est donc une indication d'une mise en œuvre par trempage.

Sur les deux exemplaires de *Brachytheceium* (Botmus et Rämibühl), le sommet du sac à spores est fendu par 4 incisions qui descendent sur environ 6 cm de chaque côté (Fig. 110, ci-dessous). Ceci peut être une illustration biologique du largage des spores et/ou une aide pour retirer le moule lors de la fabrication. A la base du col, sur les deux exemplaires, une marque qui ne correspond pas au motif des cellules végétales est visible dans la gélatine (Fig. 111, ci-dessous). Cela peut être un défaut dans le moule ou alors un indice que le moule était en deux parties. Il est possible d'imaginer un moule en deux parties (une pour le sommet et une pour le corps du sac à spores) accrochées ensemble pour le trempage et qui pourraient être facilement désolidarisées, par le haut et par le côté, une fois la forme en gélatine séchée.

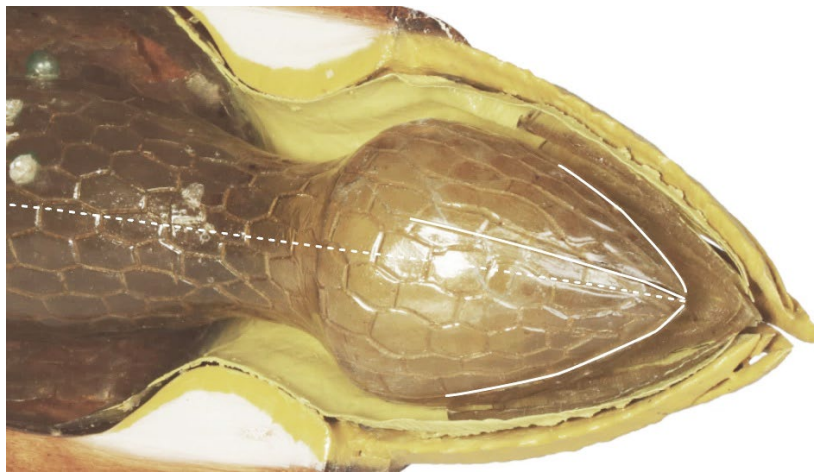


Fig. 110 Lignes de découpe du sommet de la columella visible (trait plein) et cachées (pointillé) à l'oeil nu

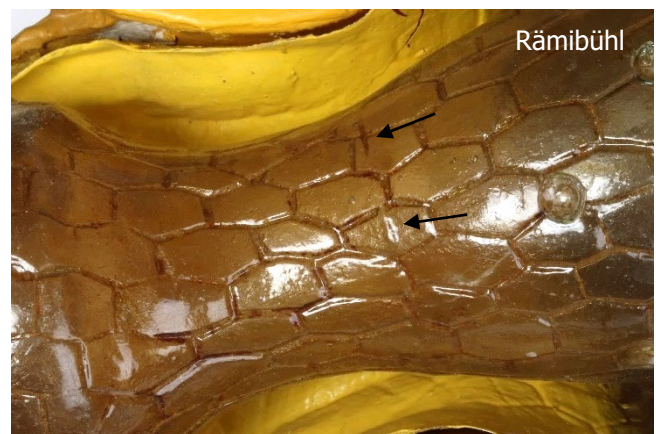


Fig. 111 Marques à la base du cou des deux columella

A titre de comparaison, le corps de l'*Aspidium* (Nr 8) est un exemple de pièce type B potentiellement réalisée, non pas par trempage comme la columella, mais par thermoformage. Cette pièce présente deux bords qui se superposent sur la ligne d'assemblage, qui est cachée au-dessous de l'objet (Fig. 112, p.68). Il serait nécessaire d'avoir un autre exemple de ce même modèle, pour comparer les dimensions et



l'emplacement des motifs de cellules végétales, afin de pouvoir confirmer avec certitude la technique de mise en œuvre par thermoformage.

Le capuchon du *Brachythecium* est également une pièce très certainement thermoformée. Plusieurs indices vont dans ce sens. La forme simple et ouverte est facile à mettre en œuvre à partir d'un film de gélatine et les nervures sont imprécises, comme si le matériau n'était pas liquide lorsqu'il a été mis en contact avec le motif du moule (tel un film de gélatine ramolli par apport de chaleur) (Fig. 113, ci-dessous).

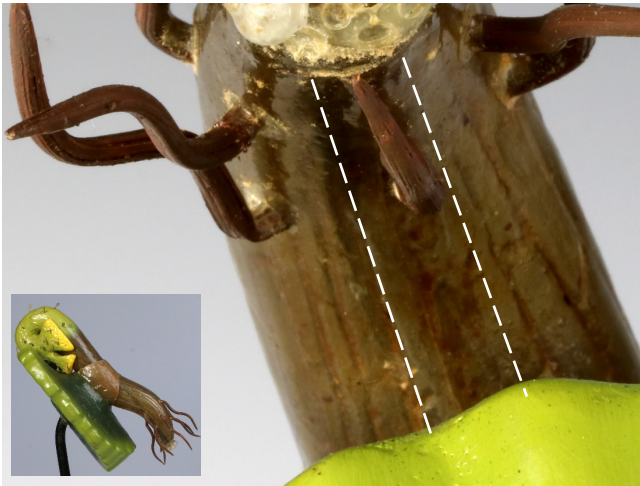


Fig. 112 Ligne d'assemblage superposée modèle *Aspidium* (Nr 8)

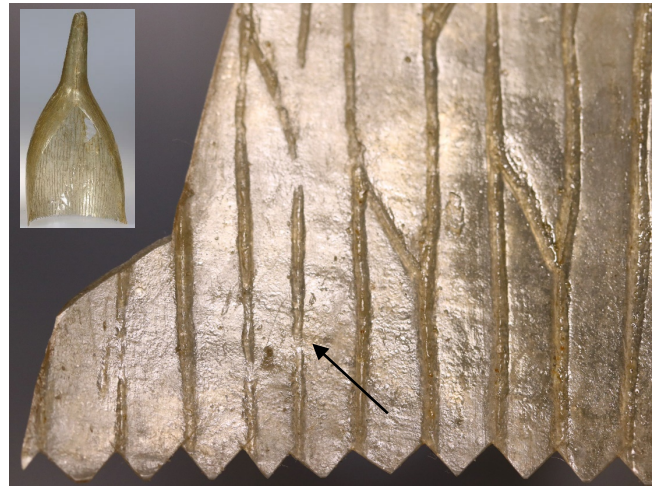


Fig. 113 Nervures imprécises capuchon *Brachythecium* (Nr1)

### 2.5.2.3 Exemple pièce de type C

Dans cette catégorie, deux sortes de pièces différentes ont été repérées. Le premier type concerne des sphères ou des formes ovoïdes, comme par exemple les spores dans le modèle de *Brachythecium* (Nr 1), les bulles à l'extrémité de l'*Aspidium* (Nr 8) ou la pièce amovible en gélatine de *Marchantia Polymorpha* (Nr 141) (Fig. 114 à Fig. 116, ci-dessous). Ces pièces sphériques ont la particularité d'avoir toujours deux trous de part et d'autre de la pièce, toujours situés l'un bien en face de l'autre. L'autre aspect fascinant est la régularité de ces pièces : dans le modèle de *Brachythecium*, les spores sont parfaitement rondes et elles ont toutes le même diamètre de 7-8 mm.



Fig. 114 Spores *Brachythecium* (Nr 1)



Fig. 115 Sphères *Aspidium* (Nr 8)



Fig. 116 Œuf *Marchantia Polymorpha* (Nr 141)

Le deuxième type de pièces est celles qui possèdent une seule ouverture et présentent une forme allongée plus ou moins complexe, par exemple les tubes formant les archegonia de l'*Equisetum* (Nr 4) ou les appendices sous le modèle *Aspidium* (Nr 7) (Fig. 117 et Fig. 118, ci-dessous). La base, cachée car tournée vers l'intérieur du modèle, est ouverte. La singularité de ces pièces réside dans leur forme courbée, qui exclut l'utilisation d'un moule rigide. Il aurait en effet été impossible de le retirer sans abîmer la gélatine. Aucun signe de torsion n'a été observé, ni de trace de pli/surplus de matière dans l'angle interne qui pourrait indiquer qu'un tube droit de gélatine aurait été thermoformé pour façonner une pièce courbée.



Fig. 117 Archégonia d'*Equisetum* (Nr 4) Burgdorf



Fig. 118 Appenices sous le corps d'*Aspidium* (Nr 7)

L'aspect de ces pièces fait penser à des objets en verre soufflé. La gélatine serait cependant difficile à mettre en œuvre de cette manière, car une solution de gélatine passe par une phase de gel rigide et cassant lors du séchage. Elle n'a pas de phase élastique comme c'est le cas du verre<sup>139</sup>.

Une hypothèse quant à la technique utilisée pour fabriquer ces pièces peut être émise : le trempage d'une forme gonflée ou souple pouvant ensuite être retirée sans abîmer la pièce en gélatine. Une patente autrichienne datant de 1902 (Pat. AT8107) explique comment faire des tubes et des pièces creuses en gélatine. L'auteur décrit le procédé suivant : une solution de gélatine est versée sur une « ficelle » de caoutchouc, puis le tout est laissé sécher complètement. Le tube de gélatine rigide ainsi obtenu peut ensuite être facilement retiré du noyau en caoutchouc souple.

Pour les spores sphériques, le fait que les deux trous se trouvent toujours parfaitement en face fait penser à des perles de verre façonnées sur une tige, sauf que celles-ci sont rarement creuses. Mme Sonja Bulker, restauratrice indépendante, a réussi à créer des sphères similaires en gélatine en piquant une boule de cire à modeler sur un cure-dent<sup>140</sup>. La boule de cire est trempée dans une solution de gélatine puis le tout est mis à sécher dans un four. Cet apport de chaleur va permettre à la cire de s'écouler lors du séchage du

<sup>139</sup> Peut-être est-il possible de faire ramollir/fondre de la gélatine pure, obtenant ainsi un matériau adapté au soufflage ? Aucune littérature n'a pu être trouvée à ce sujet.

<sup>140</sup> Voir discussion en Annexe 7.16, p.245



film. Une autre possibilité, permettant d'éviter la déformation des sphères avec la chaleur, est de dissoudre la cire dans un solvant, par exemple dans de l'essence de térébenthine ou dans du benzène, tous deux déjà connus au XIX<sup>e</sup> siècle<sup>141</sup>. La cire d'abeille peut se dissoudre dans ces deux solvants, ainsi que dans l'éther et le chloroforme<sup>142</sup>. Des solvants très apolaires ne devraient pas altérer le film de gélatine fraîchement formé.

## 2.6 Approche expérimentale

L'ensemble des observations faites et des hypothèses émises, ainsi que des informations amassées lors des chapitres précédents, nécessitent d'être complétées avec des essais pratiques. Ci-dessous, une première partie va se concentrer sur la modification du matériau gélatine avec des additifs et leur évaluation pour la mise en œuvre comme sur les modèles Brendel. Ensuite, un essai de création d'une pièce complexe par trempage est décrit.

### 2.6.1 Modification des propriétés de la gélatine

Différents facteurs et additifs, potentiellement utilisés par les Brendel, ont été testés afin d'identifier leur rôle dans la mise en œuvre de la gélatine (tests complets, Annexe 7.13, p.216).

#### Tests gélatine pure

Variables testées :

- Concentration et type de gélatine

#### Tests gélatine avec additifs

Variables testées :

- Durcisseur : formaldéhyde
- Plastifiant : glycérine
- Décolorants : charbon actif
- Pigment : ultramarin bleu
- Matifiant : amidon de riz

Ces tests d'additifs ont mené à une maîtrise de la mise en œuvre de la gélatine et aux diverses conclusions suivantes :

Un film fait d'une grande épaisseur de gélatine fortement concentrée aura beaucoup plus de retrait et de tensions qu'un film fait d'une accumulation de plusieurs couches fines, séchées entre chaque nouvelle couche et la qualité initiale de la gélatine influence fortement sur le film de gélatine obtenu (Fig. 119, p.71).

Un durcisseur permet d'avoir un résultat beaucoup plus stable, et un film de gélatine moins réactif à l'eau. Une pièce en gélatine garderait sa forme même si elle est exposée à un environnement plus humide. Ceci est d'autant plus important lorsqu'il a été nécessaire d'ajouter un plastifiant. L'effet de durcisseur du

---

<sup>141</sup> Cammidge, 1991, p.80-81

<sup>142</sup> Cowan, 1908, p.51

formaldéhyde sur la gélatine continue même une fois le film formé (le film devient de plus en plus dur au fil des jours, même s'il a terminé de sécher).

Un plastifiant est nécessaire pour plusieurs raisons : le retrait du film est beaucoup moins fort et beaucoup plus uniforme. Le film de gélatine est beaucoup moins cassant. Le démoulage des pièces se fait sans cassures. Par exemple, si 20-30%<sup>143</sup> de glycérol sont ajoutés à une solution de gélatine, celle-ci formera un film uniforme, sans tensions ni trop de retrait (<20%), mais sans avoir une surface pégueuse (>30%). Cette quantité de glycérol est également suffisante pour que le film soit découpé facilement, sans cassures le long du bord.

Il est relativement difficile de décolorer une solution de gélatine. Généralement ce traitement survient lors des extractions dans la production et non pas sur la solution de gélatine déjà prête.

Une très petite quantité de pigment ultramarine bleu est suffisante pour teinter le film de gélatine. Si l'effet voulu est de « neutralise » la teinte jaune, le pigment doit être ajouté en infime quantités.

L'amidon de blé est efficace pour matifier un film de gélatine, le film devient moins transparent. Cet effet mat peut également être obtenu en laissant la gélatine sécher sur une surface poreuse.

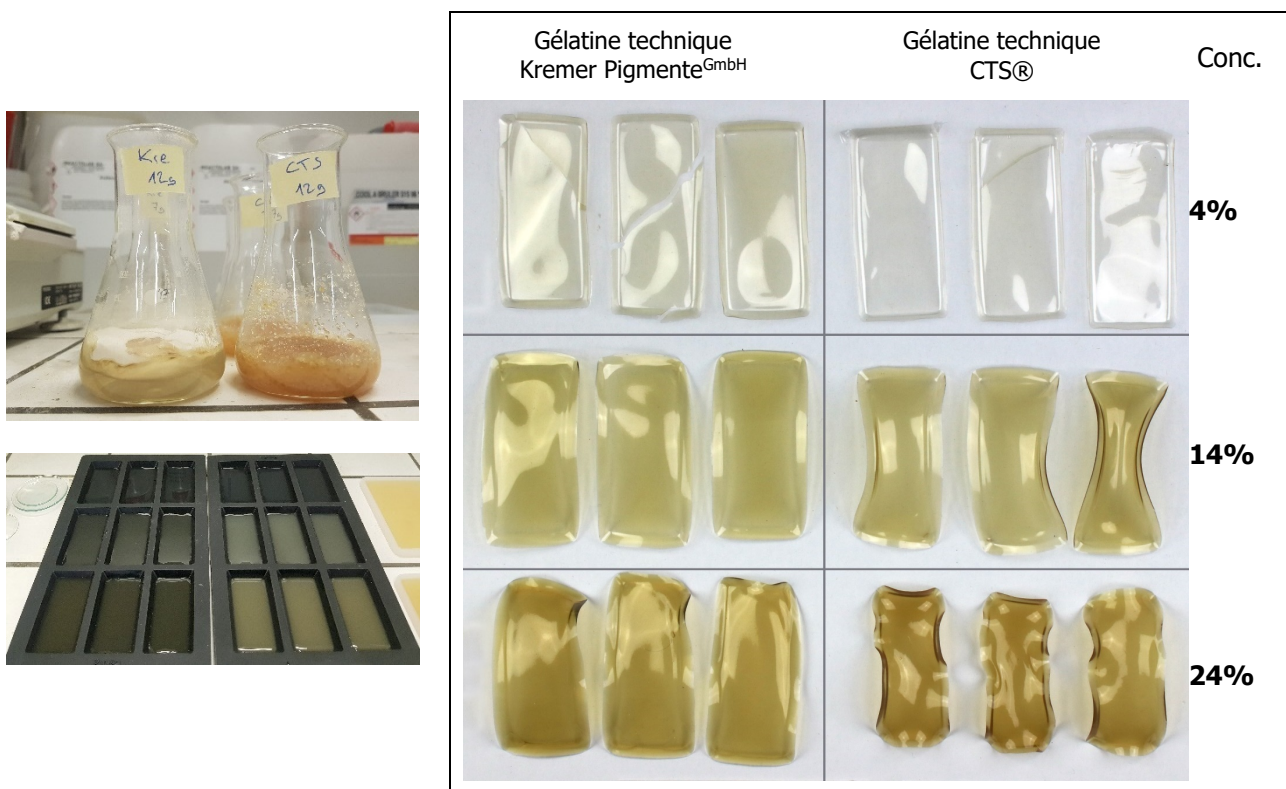


Fig. 119 Mise en œuvre et résultat du test « Concentration et qualité de la gélatine »

<sup>143</sup> Ajouté en plus par rapport au poids de gélatine sèche au départ.

## 2.6.2 Essai de mise en œuvre par trempage

Cette partie conclue l'étude technologique par un essai de mise en œuvre d'une pièce de gélatine creuse, fermée et en volume, en utilisant la technique de moulage par trempage.

Théorie de base
<p>Une forme en positif de la pièce voulue est trempée dans une solution de gélatine puis laissée sécher. Une fois un film de gélatine formé (plusieurs trempages peuvent être nécessaires selon l'épaisseur souhaitée), celui-ci est découpé pour libérer le moule en positif du film de gélatine. Les morceaux ainsi créés sont à nouveau assemblés afin de former la pièce creuse en gélatine.</p>

Il est important de noter que, bien que j'aie eu l'aide et les conseils de Mme Sabina Carraro, restauratrice de la Moulagensammlung UZH, et de Mme Miria Germano, créatrice de masques et experte en moulage (entretien en Annexe 7.16, p.245), je ne suis pas professionnelle dans l'art du moulage de pièces. L'essai reste donc très simplifié par rapport à un modèle de Brendel.

Les observations technologiques ont mené à une hypothèse de mise en œuvre, élaborée de manière empirique. Il ne s'agit pas d'établir une recette unique, mais simplement d'explorer une possibilité.

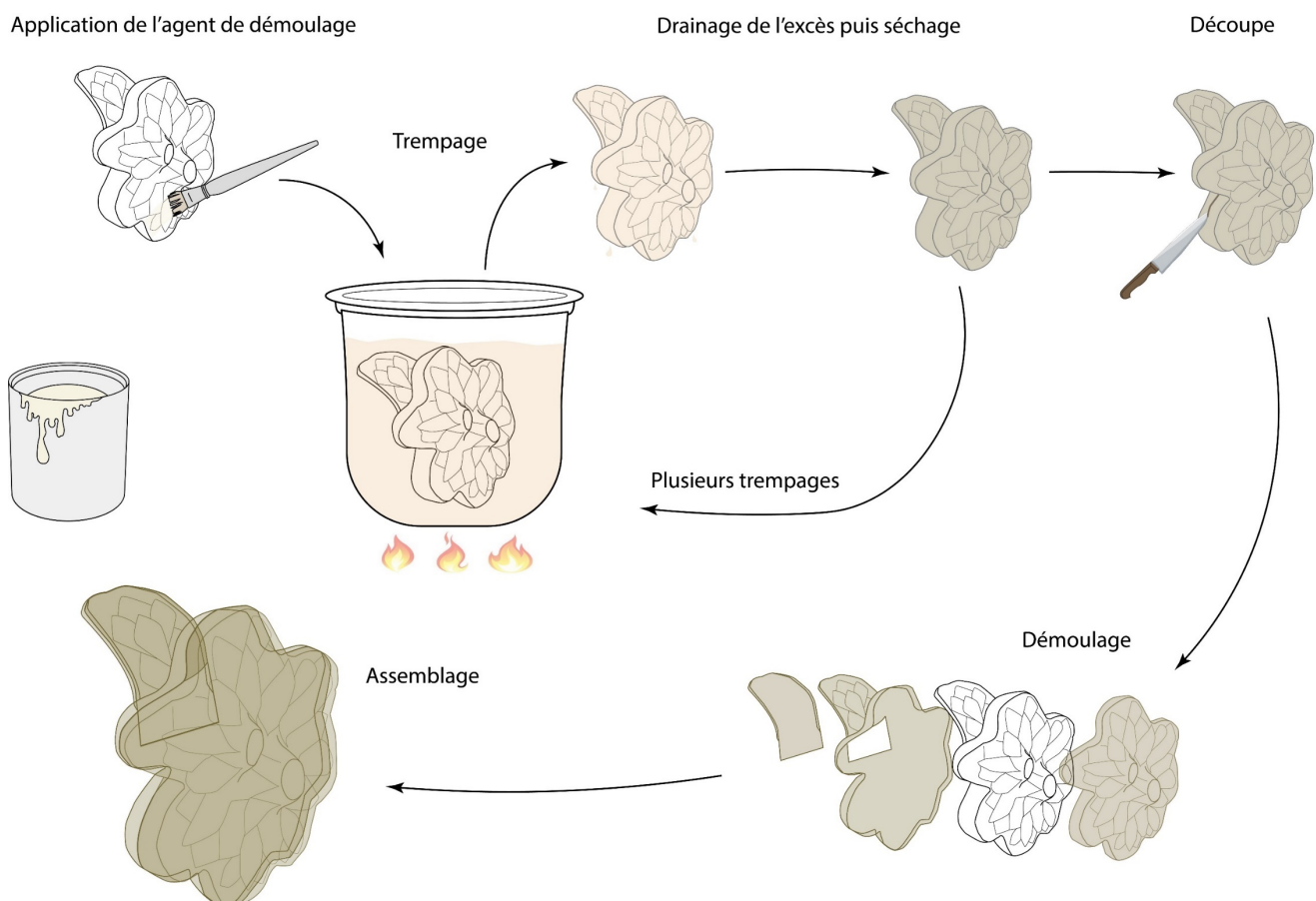


Fig. 120 Théorie de mise en œuvre par trempage

L'essai de mise en œuvre a comporté les étapes suivantes :

1. Modelage d'un modèle original dans un matériau plastique (ici de l'argile autodurcissante)
2. Moulage de ce modèle et création de plusieurs exemplaires en plâtre
3. Création d'un système de maintien (visses dans des zones prévues pour les pièces ajoutés)
4. Imperméabilisation de la surface et application d'un agent de démoulage. Trois essais différents (savon liquide, huile de paraffine et cire d'abeille) ont mené à la conclusion que le meilleur agent de démoulage pour un film de gélatine est la cire d'abeille car très hydrophobe.
5. Préparation d'une solution de gélatine : 60g de gélatine technique en poudre Kremer, 140 ml d'eau déionisée, 12 g de glycérol, 6 ml de formaldéhyde 4%, quelques gouttes de pigment ultramarine bleu dispersé à 2% dans de l'éthanol.
6. Trempage du moule dans la solution de gélatine, drainage de l'excès de solution pour obtenir un film régulier, séchage de la pièce suspendue pendant 2 jours (étapes répétées 4x).
7. Séchage final complet pendant 1 semaine.
8. Découpe de la pièce avec un scalpel chauffé dans une flamme.
9. Nettoyage de l'intérieur du film de gélatine (essence de térébenthine)
10. Collage des parties avec de la gélatine liquide pour obtenir la pièce finale (Fig. 122, p.74)

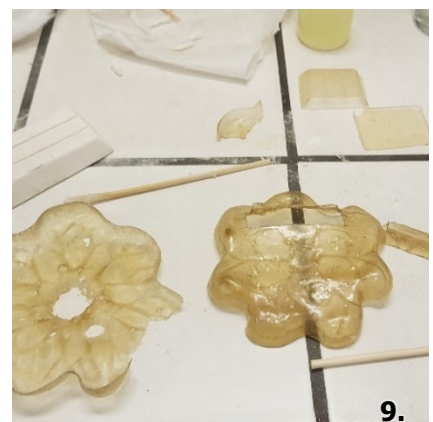
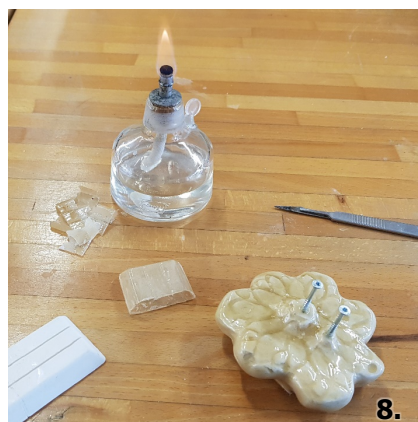
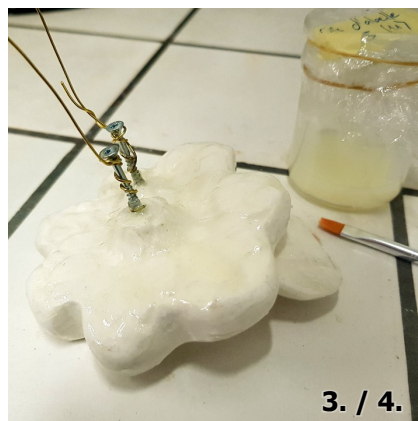


Fig. 121 Illustrations des diverses étapes de l'essai de mise en œuvre





*Fig. 122 Résultat d'un essai de mise en œuvre après collage des parties*

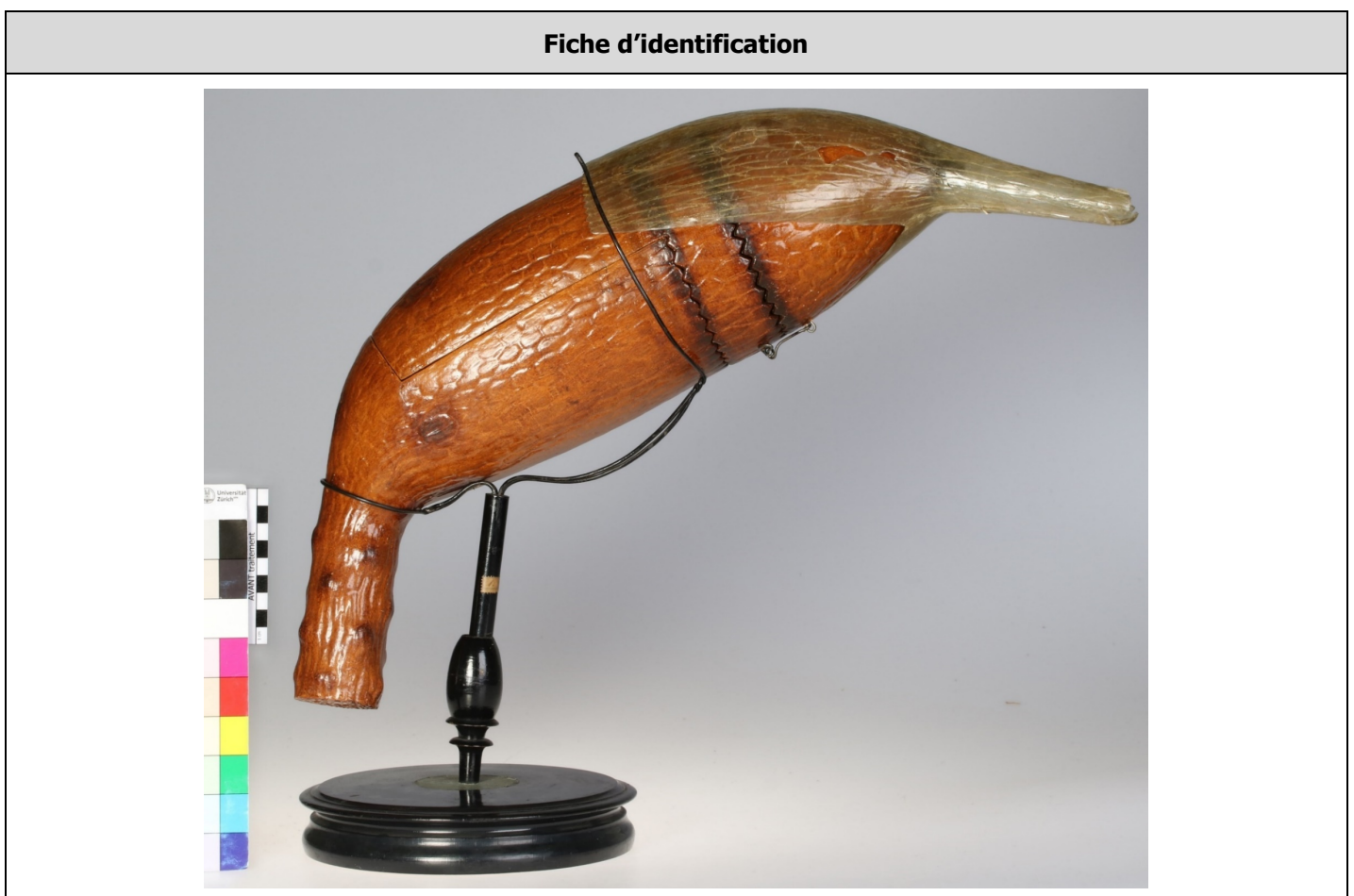
### 3 Partie III – Conservation-restauration de *Brachythecium*

La troisième partie de ce travail de master se concentre sur les problématiques de conservation-restauration rencontrés sur les modèles Brendel en gélatine. Afin de garder un minimum de clarté, cette partie III aura pour sujet principale un modèle représentatif, *Brachythecium rutabulum* (Nr 1) issus des collections du Botanisches Museum UZH. Ce modèle regroupe presque toutes les différentes formes de mise en œuvre de gélatine (peinte ou non, en combinaison avec du papier-mâché, etc.) et plusieurs typologies d'altérations représentatives. Après l'examen diagnostique de l'objet, un protocole d'intervention sera développé pour une partie des altérations identifiées, puis le capuchon en gélatine sera traitée.

#### 3.1 Examen diagnostique

Ce chapitre vise à identifier les principales dégradations visibles sur les modèles Brendel en gélatine, à travers l'examen du modèle *Brachythecium* (Nr 1) Botmus. Pour compléter cela, un constat d'état plus général des 19 modèles en gélatine du corpus étudié a également été réalisé, offrant ainsi une idée globale de l'état de conservation de ce type d'objets (Annexe 7.14, p.222).

Tableau 4 Fiche d'identification du modèles *Brachythecium* (Nr 1) Botmus





Désignation	Brachythecium rutabulum (Nr 1)	Dimensions (hors socle)	42 x 35 x 12 cm
Collection	Botanisches Museum UZH	Matériaux	Papier-mâché, gélatine, peinture, vernis, métal, bois.
Datation et lieu de production	Autour de 1900 en Allemagne (probablement Berlin)	Particularités	Modèle anatomique d'une capsule de mousse, agrandi 150 x, démontable en 4 parties

### 3.1.1 Description

Le modèle *Brachythecium Rutabulum* porte le No. 1 du catalogue Brendel. Il est déjà présent dans le fascicule de 1885 décrit comme l'un des modèles les plus complexes à fabriquer<sup>144</sup>.

Visuellement, lorsque l'objet est fermé et complet, la forme de la capsule est ovale-oblongue, courbée sur le pédoncule bosselé<sup>145</sup>. L'une des extrémités est recouverte par un capuchon translucide. L'objet, mis à

<sup>144</sup> Brendel, 1885

<sup>145</sup> Reste de tige avec des stomates



part le capuchon translucide, est de couleur brun-ocre avec quelques zones brun foncé. La surface de la capsule est texturée de légères rainures en creux qui illustrent des cellules végétales.

Le modèle est présenté sur un socle noir, avec une base ronde (Ø 20.5 cm, ép. 3.8 cm) et une structure en fil métallique ferreux. Ce fil forme une boucle dans laquelle le pédoncule est glissé et un arceau sur lequel repose la capsule elle-même. Une étiquette ronde (Ø 6.3 cm), d'une légère couleur verte a été collée au centre de la base du socle. Les inscriptions sont en latin et en allemand. Une autre étiquette (1x1.5 cm) est présente sur la tige du socle, avec des bords édentés et un chiffre « 1. »<sup>146</sup>.

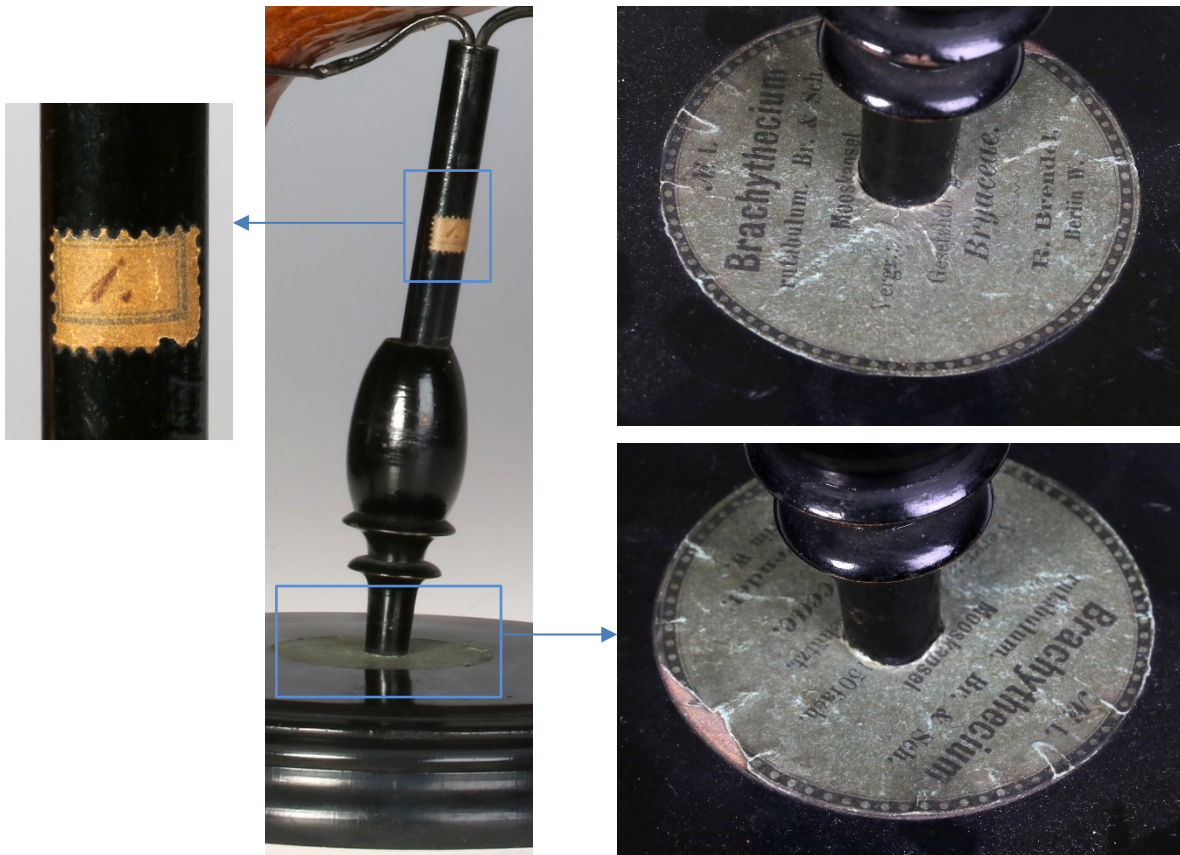


Fig. 123 Etiquettes Brachythecium (Nr 1)

Issue des catalogues Brendel, une courte description présente ce modèle comme suit :

« Le modèle représente une capsule à tige proche de la maturité, sur laquelle on distingue clairement la paroi de la capsule, l'« anneau » intermédiaire et le couvercle, encore couvert par le petit capuchon incolore (calyptra). L'intérieur montre la colonne centrale (columella), reliée avec le col de la capsule et entourée de restes de cellules de parenchyme flétries, ainsi que la structure du péristome externe et interne.<sup>147</sup> »

<sup>146</sup> Très probablement une référence au numéro du modèle dans les catalogues Brendel. Ces étiquettes sont souvent visibles sur les tiges des socles et armatures qui accompagnent les modèles. Peut-être est-ce une aide pour relier chaque modèle avec son socle ?

<sup>147</sup> « Das Modell stellt eine der Reife nahe gestielte Kapsel dar, auf der deutlich Kapselwand, Deckel und der dazwischen liegende „annulus“ unterschieden werden. noch bedeckt von dem kleinen farblosen Mütchen (calyptra). Das Innere zeigt das Mittelsäulchen (columella) und dessen Verbindung mit dem Kapselhals. umgeben von Resten vertrockneter Parenchymzellen, sowie die Struktur des äusseren und inneren Peristoms. » Brendel, 1900-1901, p.9 ; Brendel, 1913-1914, p.18

## Biologie

Le modèle représente une capsule de *Brachythecium rutabulum*, une mousse de grande taille commune en Europe. Cette plante forme des touffes ou plaques luisantes vert vif ou vert jaunâtre<sup>148</sup> et se reproduit grâce à une capsule surélevée par une tige qui va disperser les spores (Fig. 124, ci-contre)<sup>149</sup>.



Fig. 124 Mousse *Brachythecium rutabulum* et capsules surélevées ©Claire Halpin

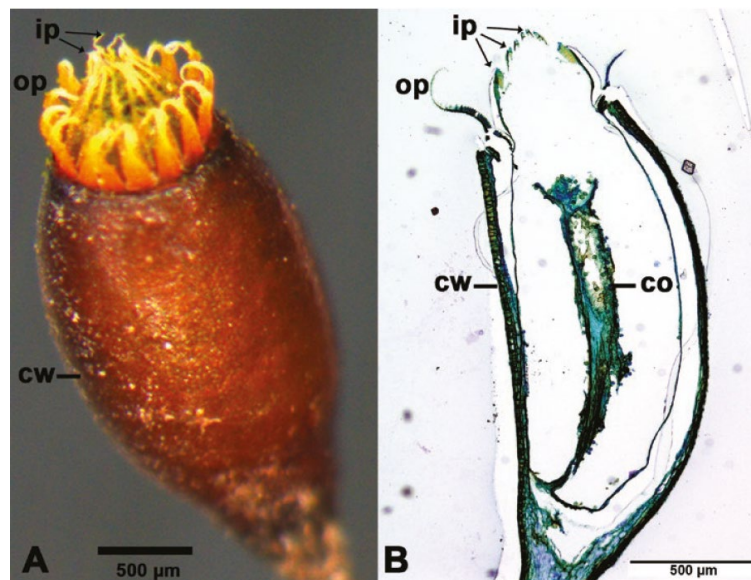


Fig. 125 Vue sous microscope et en coupe d'une capsule ayant perdu son capuchon, couvercle et anneau. Avec les dents du péristome (ip et op), la paroi de la capsule (cw) et la columella (co). ©Gallenmüller 2017

La capsule est par conséquent un organe reproducteur complexe, aussi appelée Theca ou Sporogonium au XIXe siècle<sup>150</sup>. Morphologiquement, plusieurs parties botaniques importantes sont à distinguer<sup>151</sup> : la capsule pédonculée avec les péristomes\* internes et externes, le couvercle (operculum), l'anneau (annulus), le capuchon (calyptra) et la colonne centrale (columella) (Fig. 125, ci-dessus).

Lorsque la capsule est à maturation, elle devient brune et perd son capuchon. Selon l'humidité de l'air, l'anneau se dilate et se détache, emportant avec lui le couvercle<sup>152</sup>. Les dents des péristomes, dorénavant

<sup>148</sup> Drobnik et Stebel, 2018, p.135

<sup>149</sup> Johansson *et al.*, 2016, p.1197; Frahm, 2006, p.7-8

<sup>150</sup> Eidam, 1885, p.5

<sup>151</sup> Svojtka, 2015 [En ligne]

<sup>152</sup> Greene, 1960, p.738

à découvert, vont soit s'écarter pour libérer les spores, soit se refermer si les conditions ne sont pas adaptées à la diffusion des spores (air trop humide) (Fig. 126, ci-dessous).<sup>153</sup>

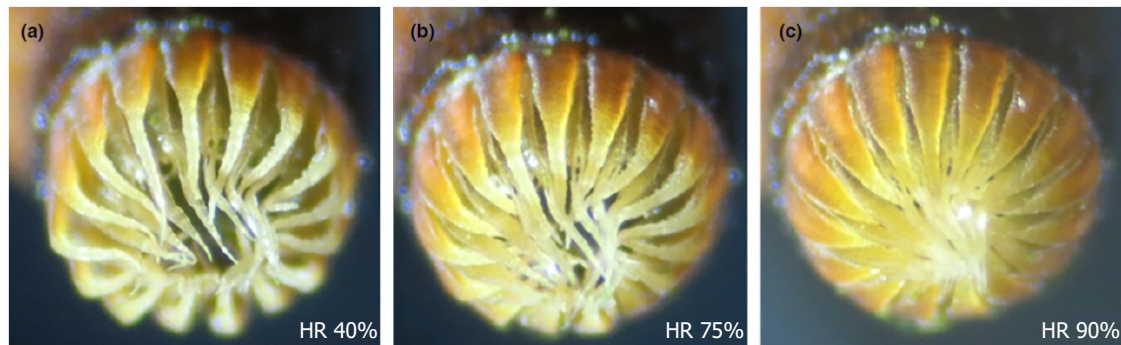


Fig. 126 Mouvement du péristome selon l'humidité relative de l'air (HR) ©Johansson et al., 2016

### Parties et matériaux

Le modèle *Brachythecium Rutabulum* est un exemplaire démontable constitué de 4 parties différentes<sup>154</sup> :

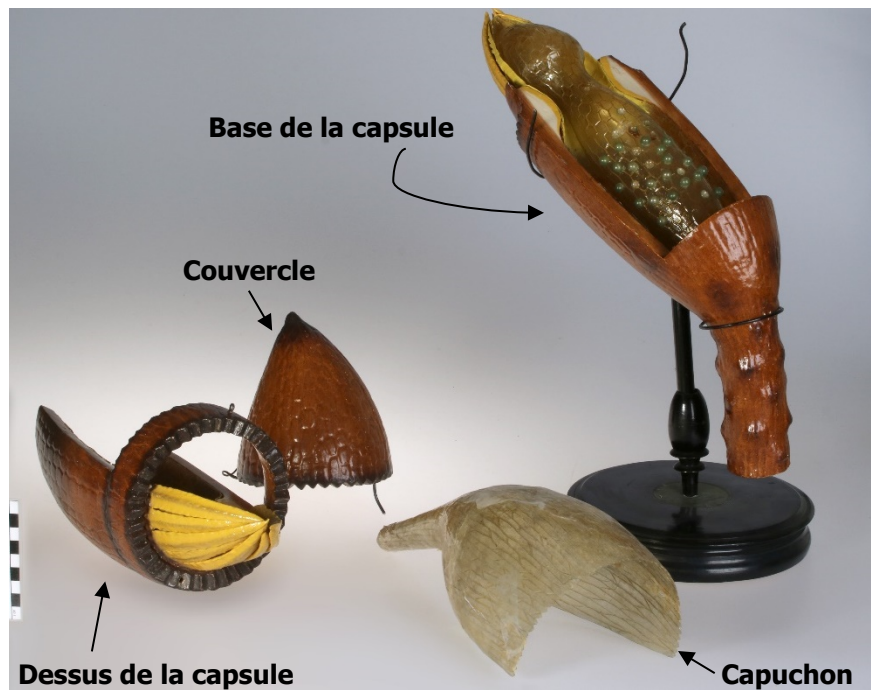


Fig. 127 Le modèle démonté

- **Le capuchon** illustre un opercule\* évasé avec un bord dentelé d'un côté et fermé avec une elongation de l'autre. Il est fait d'une membrane translucide avec des nervures sur la surface interne et un bord dentelé (gélatine)
- **Le couvercle**, de forme conique ouverte, comprenant une membrane sur sa paroi intérieure et un bord dentelé (papier-mâché, peinture, gélatine)

<sup>153</sup> Gallenmüller *et al.*, 2018, p.2

<sup>154</sup> Pour décrire visuellement ce modèle, les sources principales ont été le « Erläuterungen Brendel'scher Modelle », écrit par le Dr. Eduard Eidam (1885), assistant au *Pflanzenphysiologischen Institut Universität Breslau*, ainsi que l'article « Modell einer Sporenkapsel des Mooses *Brachythecium rutabulum* » publié par l'université de Vienne en 2015 (Svojtka, 2015 [En ligne]).



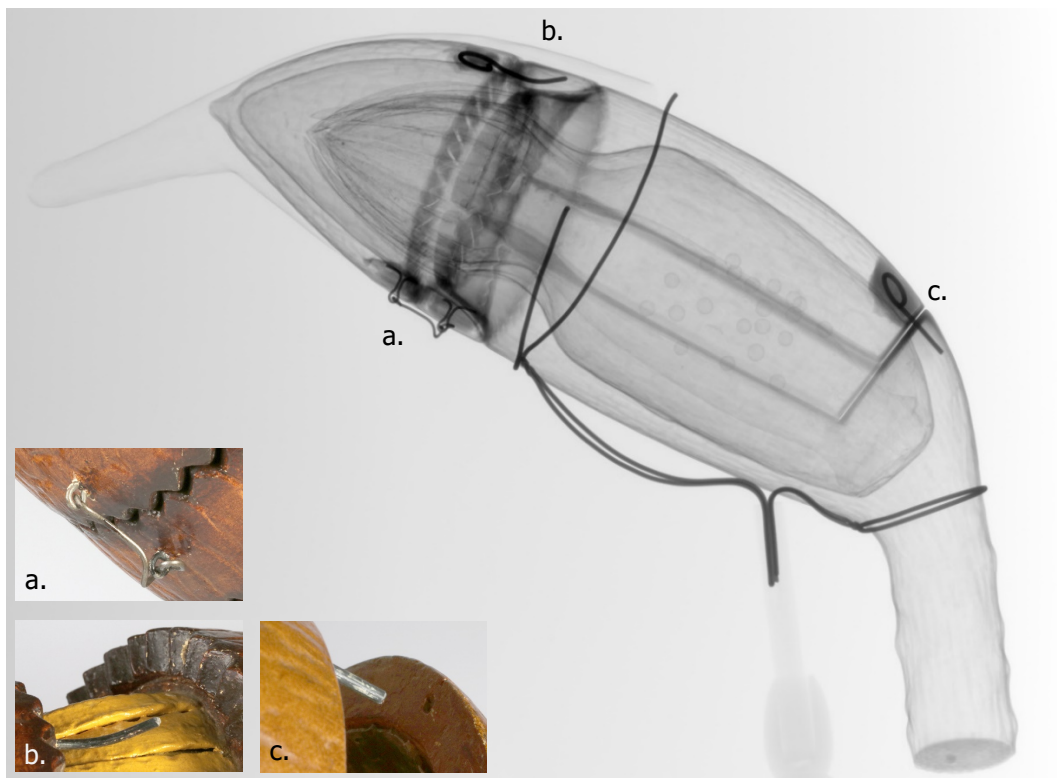
- **Le dessus de la capsule** avec l'anneau et la deuxième moitié des péristomes interne et externe (papier-mâché, peinture, gélatine)
- **La base de la capsule** avec le pédoncule, la columella (sac à spores) et la moitié des péristomes interne et externe (papier-mâché, peinture, gélatine)



*Fig. 128 Démontage du modèle par étapes*

Le démontage (Fig. 128, ci-dessus) correspond en partie à ce qu'il se passe également dans la nature : la perte du capuchon à la maturation et le détachement du couvercle et de l'anneau. La découpe de la capsule en deux permet en plus d'avoir accès aux détails internes du spécimen de capsule représentée.

Une image sous rayons X (Fig. 129, ci-dessous) révèle les éléments métalliques de verrouillage des différentes parties. Le couvercle est fixé à l'anneau sur le dessous grâce à deux boucles ancrées dans la masse et un crochet entortillé. En plus de cela, dans la partie supérieure, une tige courbée, fixée dans le bord du couvercle, se loge dans un trou. Une tige similaire bloque le dessus de la capsule à la base pédonculée.

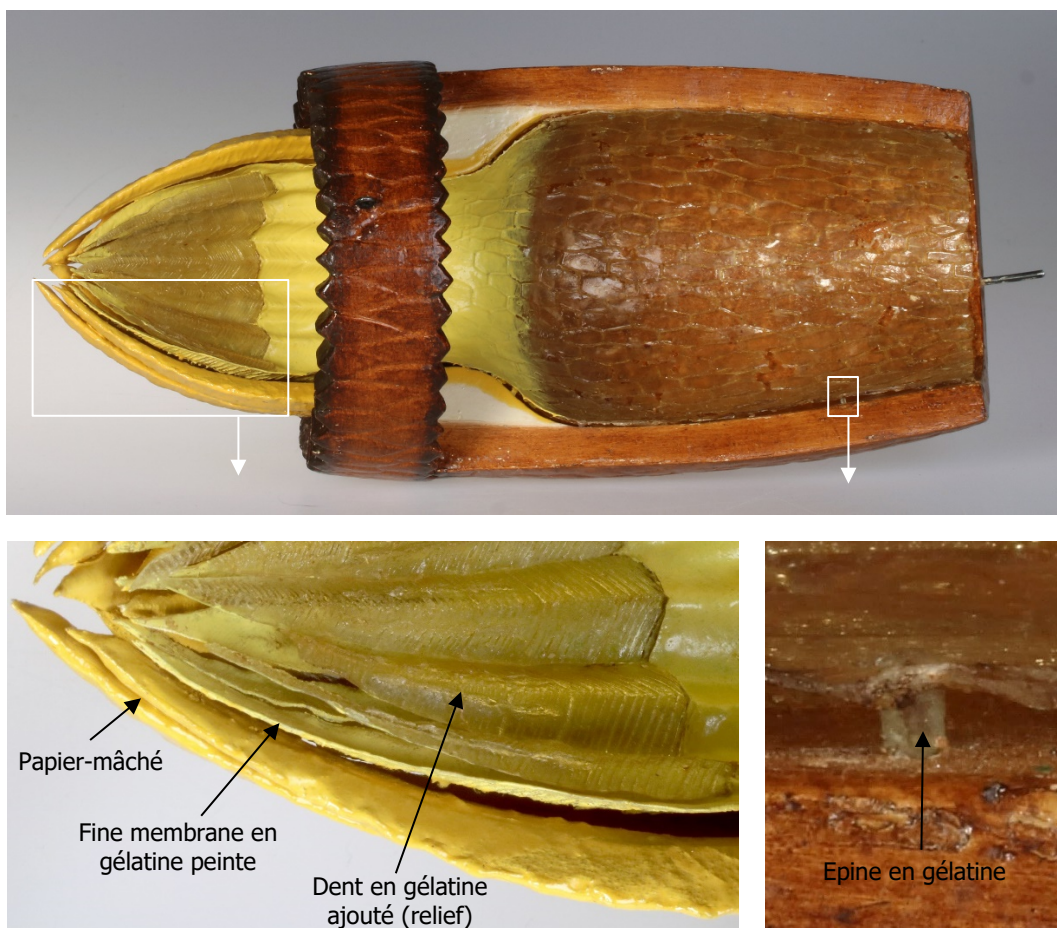


*Fig. 129 Image en rayonnement X du modèle de Brachythecium (Nr 1) et systèmes de verrouillage*

La capsule en elle-même, le couvercle et le péristome externe sont en papier-mâché peint dans des tons bruns, blancs et jaunes. Il est possible que l'anneau, qui semble être une pièce ajoutée, ait été réalisé en bois<sup>155</sup>.

La gélatine est présente sur toutes les pièces du modèle (Fig. 130 à Fig. 133, ci-dessous). Elle prend la forme d'une fine membrane (0.3 mm d'épaisseur) perforée irrégulièrement recouvrant les parois internes de la capsule et du couvercle ou compose des parties à part entière (capuchon, columella et spores, dents de péristome). La fine membrane est fixée sur les parois internes de la capsule à l'aide d'épines plates en gélatine. La membrane en gélatine continue sous la peinture jaune située au niveau du col, vers l'anneau, et se transforme en péristome interne. Les dents sont ajoutés en gélatine, permettant ainsi d'illustrer les dents du péristome en relief anguleux avec une texture de surface hachurée.

Certaines parties en gélatine sont peintes, notamment la zone de transition entre la paroi de la capsule et les dents du péristome interne. Un vernis diterpénique a été identifié sur plusieurs surfaces (Spectres FTIR : Fig. 209, p.200 et Fig. 212, p.201). Ce vernis est également visible sous rayonnement UV (Fig. 132, p.82).



*Fig. 130 Vue de l'intérieur du dessus de la capsule, avec fine membrane, dents en relief et épine en gélatine*

<sup>155</sup> Svojtka, 2015 [En ligne] ; communications orales de Mme Sonja Bulker (Annexe 7.16, p.245)



Fig. 131 Vue de l'intérieur de la base de la capsule et du couvercle

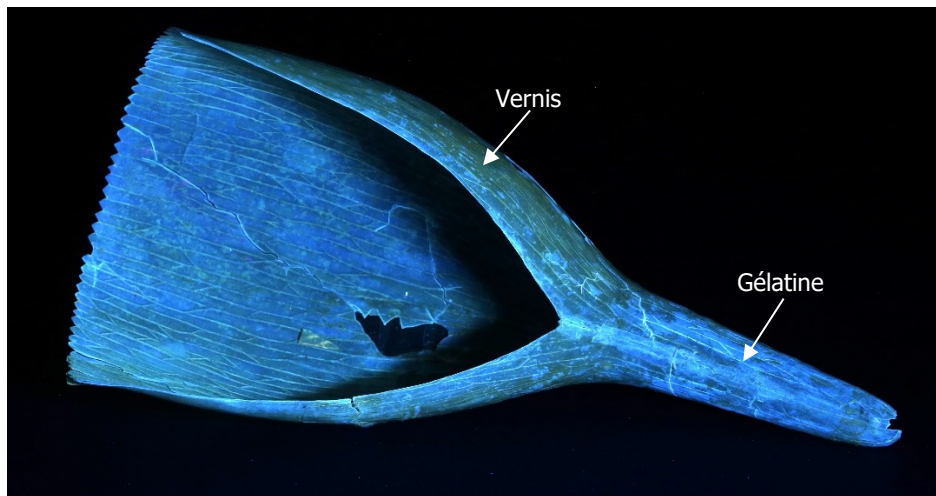


Fig. 132 Vue sous rayonnement UV (360 nm) du capuchon

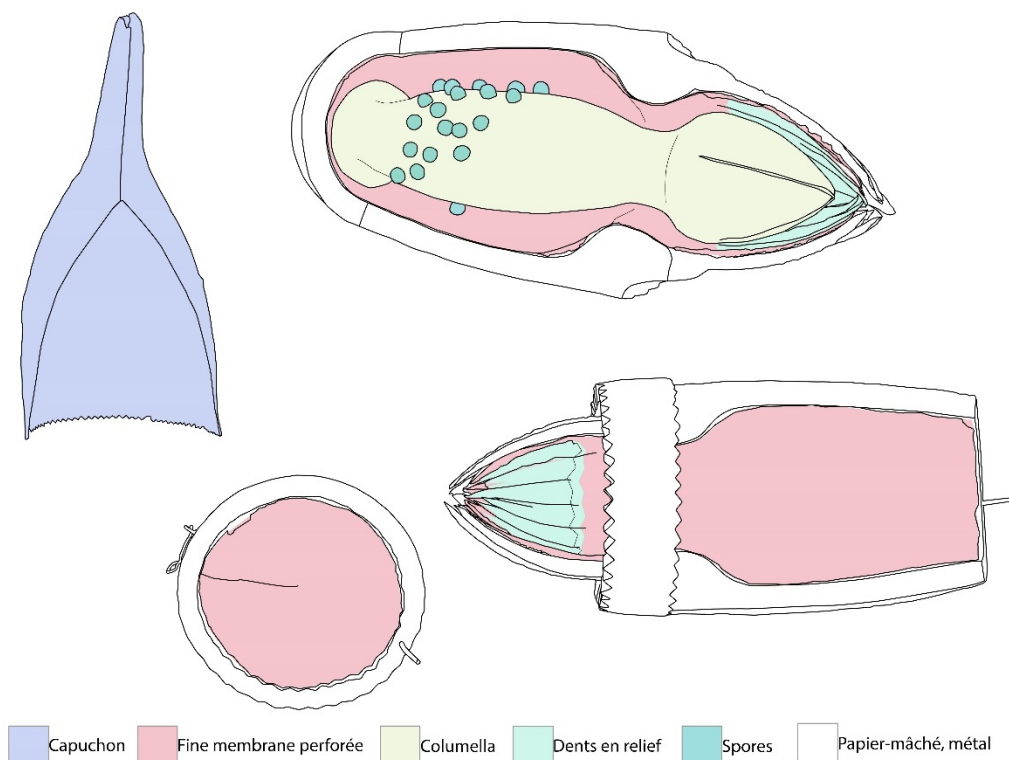


Fig. 133 Illustration des différentes pièces en gélatine (zones colorées) du modèle *Brachythecium* (Nr 1)



### 3.1.2 Constat d'état

Cet objet a été restauré récemment par l'Atelier de Conservation Valentin Boissonnas à Zurich. De ce fait, les parties en papier-mâché peint ne présentent aucune altération notable. Aucune intervention n'ayant été réalisée sur les parties en gélatine lors de cette restauration, ce constat d'état se concentrera sur celles-ci. Ci-dessous se trouve une version résumée des altérations relevées, en Annexe 7.14.1, p.222, se trouve la version complète de ce constat d'état avec une cartographie des altérations.

#### Général

L'objet présente par endroit un empoussièrément léger. Certaines surfaces sont encrassées d'un dépôt irrégulier, non-volatile et d'une teinte grisâtre/foncé. Cet encrassement est surtout visible sur les surfaces externes du capuchon en gélatine.



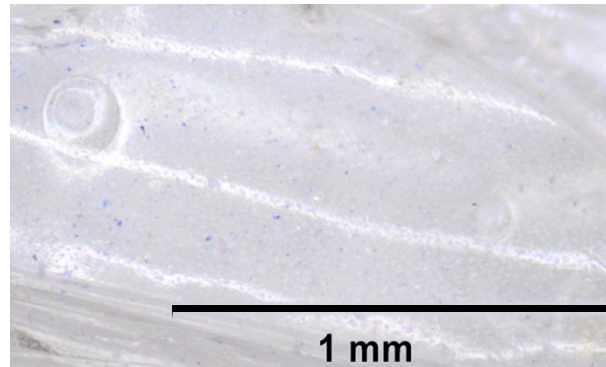
*Fig. 134 Encrassement dans la surface de gélatine vernie du capuchon*

#### Détails techniques

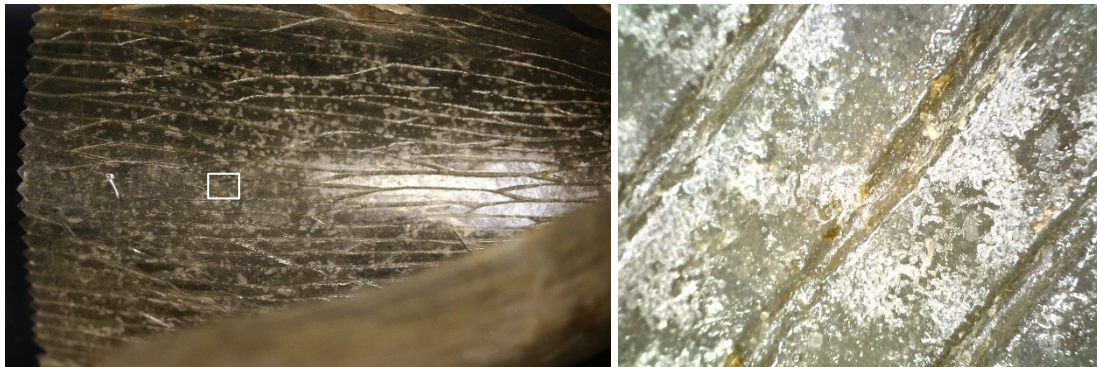
La masse de gélatine présente les mêmes particules d'ultramarine bleu rencontrées sur les autres modèles. Dans la membrane en gélatine, des bulles de petite taille (<1 mm), ainsi que, par endroits, quelques impuretés, sous forme de poussières ou microfragments sont visibles. Quelques cristallisations orangées ont également pu être observées dans la masse de gélatine, généralement dans les nervures en relief. Sur la face interne du capuchon, des petites zones opacifiées de manière très localisées donnent un effet moucheté à la pièce. Ces opacifications sont légèrement en creux.



*Fig. 135 Exemples de bulles ou de cristallisation orangée*



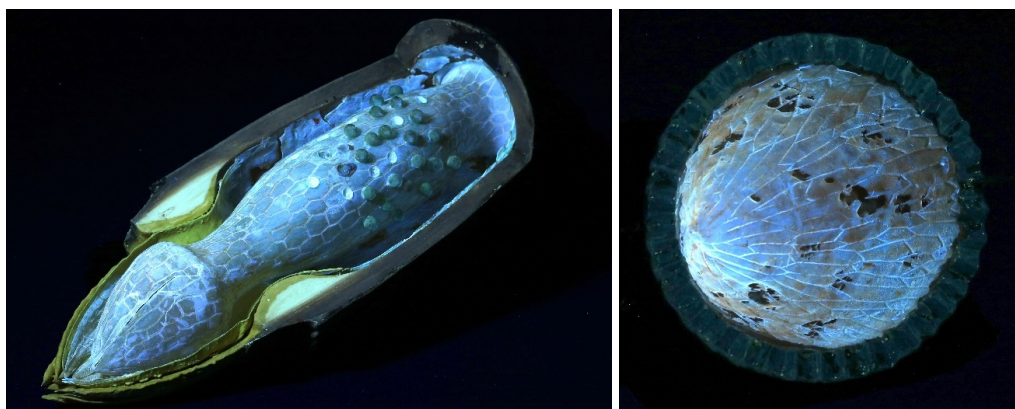
*Fig. 136 Ech. B.4.6 : particules d'ultramarine bleu dans la gélatine du Brachytecium*



*Fig. 137 Opacifications sur la surface interne du capuchon*

### Altérations chimiques

La gélatine ne semble présenter aucune dégradation d'origine chimique, ni d'attaque de microorganismes comme de moisissures. Lors de la prise d'échantillon, la matière était encore résistante, cohésive et relativement souple. Un jaunissement généralisé peut être relevé.



*Fig. 138 Base de la capsule et chapeau sous rayonnement UV*

Le vernis en revanche apparaît très irrégulier sous rayonnement UV. En dehors du réseau de fines craquelures, des grandes fissures/zones lacunaires dans la couche de vernis ou des fluorescences orangées sont visibles. Généralement, les cassures ou les déformations dans la membrane de gélatine sont des zones particulièrement lacunaires au niveau du vernis.



## Altérations structurelles

L'objet présente de nombreuses cassures. A la jonction columella-membrane fine, une fracture complète de tout le tour de la zone de jonction rend la columella mobile. Le capuchon est cassé en 3 grand fragments, avec plusieurs cassures/fissures fermées.

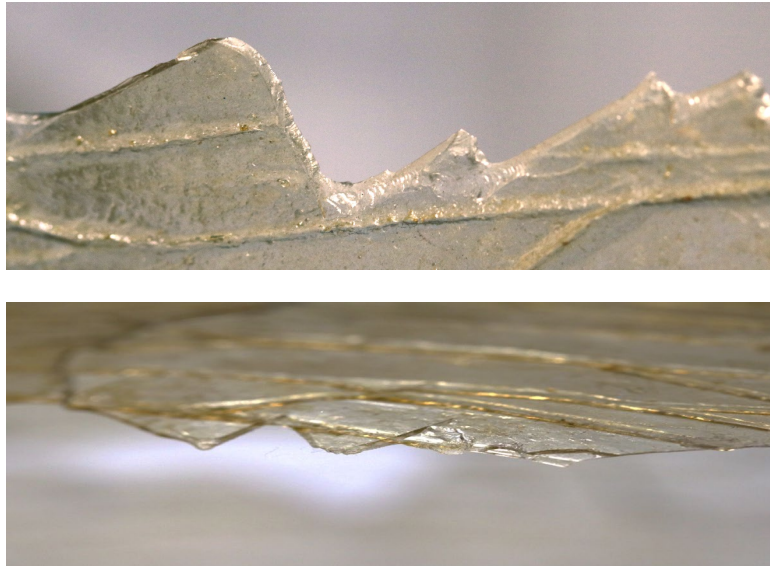
Généralement ces cassures sont irrégulières. La ligne de casse est souvent très accidentée. Quelques fois plusieurs cassures sont embranchées à partir d'un point central avec une morphologie « en étoile ». Les tranches de ces cassures sont souvent biseautées et irrégulières, rarement planes et droites. Des délaminations et des légères déformations de la matière sont également visibles le long des cassures.



*Fig. 139 Cassure à la base de la columella*



*Fig. 140 Cassures complètes et cassures fermées*



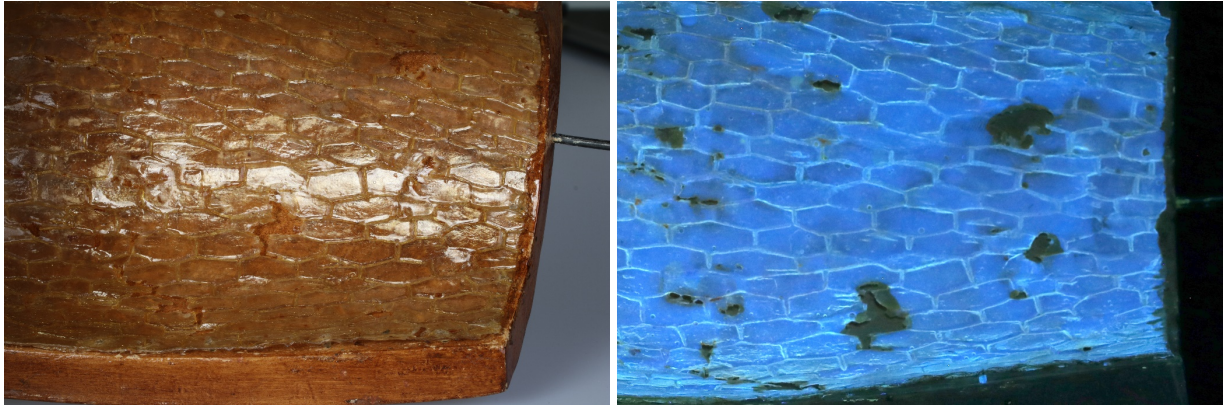
*Fig. 141 Différentes lignes de casse accidentées, avec délaminations, etc.*

Des lacunes sont également visibles. Elles se situent généralement le long des cassures : le capuchon présente 4 grandes lacunes (env. 1-4 cm de long) ainsi que quelques plus petites lacunes (env. 3-5 mm). La cassure à la base de la columella est aussi lacunaire et les tranches sont peu jointives.

Le bord dentelé du capuchon ainsi que les dents ajoutées du péristome présentent quelques extrémités dont il manque la pointe.



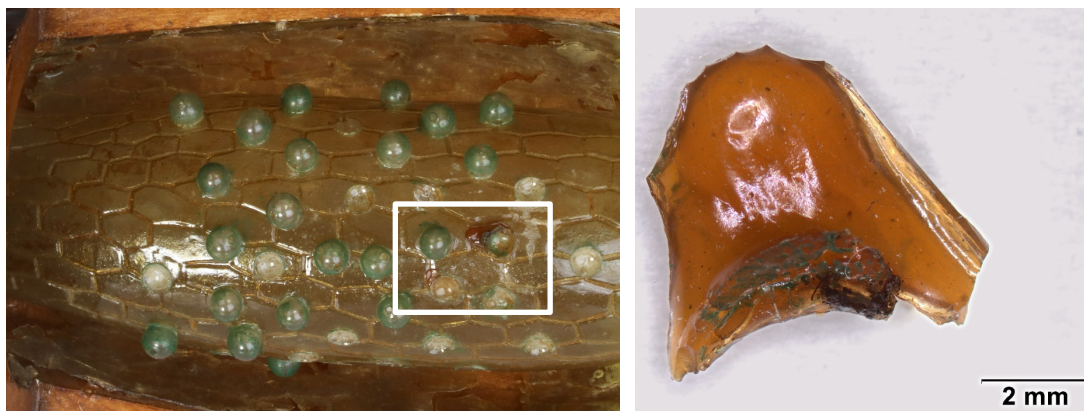
La fine membrane sur les parois internes de la capsule et du chapeau est perforée irrégulièrement. L'altération est uniquement située sur les parties non-peintes. Le bord de ces perforations peut être lisse ou accidenté et, sous rayonnement UV, ils apparaissent avec une coloration brune-orangée. Cette fine membrane ne semble pas avoir été vernie.



*Fig. 142 Fine membrane sur la paroi du dessus de la capsule (lumière visible et UV (360nm))*

Sur la columella, 19 creux vides témoignent d'absence de spores. Au total, il y a 21 spores encore en place, et 19 creux vides, ce qui fait un total de 40 spores à l'origine.

### Anciennes réparations



*Fig. 143 Spores collées avec de la colle de peau et échantillon B.1.1. de cette colle*

Trois des spores sur la columellae sont collées avec un adhésif épais, brun orangé, cassant. Cette matière est à base de protéines animales (Spectre FTIR : Fig. 207, p.199), ce qui, associé à son aspect, laisse penser à une colle de peau/d'os.

Le capuchon a été réparé à l'aide de ruban adhésif qui a été apposé le long des cassures. Cette réparation a été faite pour stabiliser des morceaux partiellement détachés ou joindre des fragments. Au total, 31 morceaux différents sont visibles, et plusieurs type de bande adhésive ont été identifiées. Il y a des rubans adhésifs avec un support en papier et une masse adhésive basée sur du caoutchouc, de rubans adhésifs transparent ou mats avec une masse adhésive acrylique (Spectres FTIR : Fig. 213 à Fig. 217, p.202).

En plus de cela, des traces d'anciens collages similaires, où le support a été retiré mais pas les résidus d'adhésif, sont visibles, notamment sous forme de taches pégueuses ou cristallisée de couleur orangées /

brunes / jaunes, parfois en léger relief. Une partie de ces morceaux de ruban adhésif sont peu adhérents avec des bord décollés, mais la majorité est bien ancrée sur la surface en gélatine vernie.

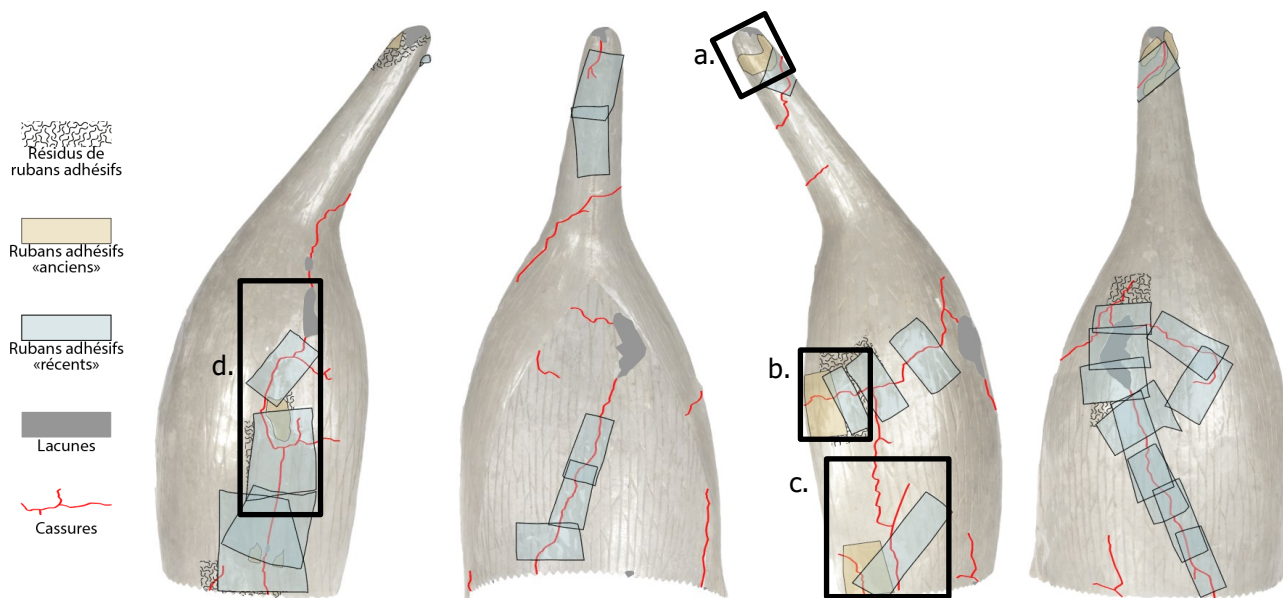


Fig. 144 Cartographie d'une partie des altérations sur le capuchon



Fig. 145 Gélatine vernie avec réparations au ruban adhésif et anciens résidus (cerclé de blanc)



### 3.1.3 Diagnostic et pronostic

La gélatine est dans un bon état de conservation, mis à part les dégâts mécaniques comme les cassures. Il est difficile de juger d'un jaunissement de la gélatine en raison du vernis présent, également jauni. Mais même les parties qui ont très peu de vernis (Fig. 142, p.86), par exemple les membranes sur les parois, ont une teinte jaune. Pour cet objet, supposément conservé dans un musée depuis son acquisition<sup>156</sup>, le jaunissement reste modéré. L'exemplaire *Brachythecium* (Nr 1) de l'école Rämibühl (ZH) est d'une coloration beaucoup plus sombre (Fig. 146, ci-dessous). Cet objet a en effet été utilisé pour l'enseignement ce qui implique une autre histoire matérielle. La quantité de pigment ultramarine bleu dans la gélatine influence aussi fortement sur la perception de la couleur de ces parties. Dans un troisième exemple de *Brachythecium*, (non-étudié dans ce travail mais observé lors d'une visite à la Alte Kantonsschule Aarau (AG)), les parties en gélatine avait une couleur beaucoup plus prononcée, dans les teintes vertes.



*Botmus*



*Kantonsschule Rämibühl (ZH)*



*Alte Kantonsschule Aarau (AG)*

*Fig. 146 Trois différentes colorations de la gélatine des modèles *Brachythecium* (Nr 1)*

Il est probable que ce matériau organique continue à s'oxyder, à se réticuler. La gélatine peut jaunir et devenir de plus en plus cassante, la rapidité de cette altération sera dépendante de facteur intrinsèque au matériau (qualité de base, conditions d'extraction et de mise en œuvre) et à des facteurs externes (exposition des objets à certaines conditions climatiques, notamment une exposition lumineuse inadaptée). De manière générale, la conservation préventive va jouer un rôle important dans la pérennité des modèles en gélatine.

Les cristallisations orangées ainsi que les opacifications localisées n'ont pas trouvé d'explication claire. Elles peuvent simplement être dues à la qualité de la gélatine utilisée (présence d'impuretés, fraction lipidique), mais plusieurs autres facteurs peuvent être potentiellement à l'origine de ces observations, comme la mise en œuvre de la membrane, un agent de démoulage ou des produits d'entretien utilisés sur les objets.

Les différentes cassures sont dues à des chocs ou des chutes. L'ajout de durcisseurs dans le mélange de base, le vieillissement naturel du film et l'exposition à de la lumière font réticuler la gélatine, cette réticulation peut rendre la gélatine plus cassante. Les parties cassées et séparées de l'objet risquent d'être dissociées les

<sup>156</sup> Aucune archive des collections du Botmus n'existent, mais il est probable que ces modèles aient été acquis par Hans Schinz au début du XXe siècle. (Discussion avec le conservateur Dr. Kocyan)



uns des autres si aucune intervention pour réassembler ces morceaux n'est entreprise. Les bords vifs et parfois soulevés des cassures peuvent facilement s'accrocher dans le tissu d'un, ce qui risque de provoquer des détachement de fragments, des agrandissement de cassures existantes ou l'apparition de nouvelles fractures, et, dans le pire des cas, une chute de l'objet.

Les perforations irrégulières observées dans les fines membranes en gélatine sur les parois de la capsule et du chapeau ne semblent pas avoir leur origine dans une attaque d'insectes, comme le laisse supposer une première observation. Les autres parties en gélatine ne sont pas dégradées et ces perforations se rencontrent dans tous les modèles de *Brachythecium* observés. Dans le catalogue Brendel, la description de l'objet précise « *la colonne centrale (columella), reliée avec le col de la capsule et entourée de restes de cellules de parenchyme flétries*<sup>157</sup> » et le Dr Eidam, botaniste, écrit au sujet de ce modèle en 1885 « *Plus tard, la columelle rétrécit, elle se détache du couvercle, à l'intérieur duquel on peut encore voir des restes de cellules de parenchyme séchées*<sup>158</sup> ». Une supposition plausible est que ces perforations soient intentionnelles, pour illustrer ces cellules flétries. Ceci est un excellent exemple de l'importance d'une compréhension complète de ce que ces modèles représentent. Sans la recherche approfondie autour de ce modèle, ces perforations auraient pu être interprétées comme de simples dégradations (insectes ou cassures localisée) qui devraient être comblées lors d'une intervention.

L'irrégularité du vernis visible sous lumière UV peut être due à plusieurs facteurs : soit l'application du vernis était irrégulière lors de la fabrication de l'objet, soit les objets ont été manipulés préférentiellement par certaines parties, entraînant ainsi une usure et dégradation localisées sur certaines surfaces, ou alors il s'agit d'une combinaison de ces deux facteurs. Les lacunes dans le vernis semblent indiquer que l'adhérence de celui-ci sur la gélatine n'est pas très forte. L'absence de « plastifiant » dans le vernis est également à l'origine de sa fragilité mécanique. S'il s'agit bien d'un vernis sandaraque pur, ceux-ci sont connus pour être cassants<sup>159</sup>, ce qui, sur un matériau organique réactif à l'humidité comme la gélatine (variation dimensionnelles), implique probablement des tensions entre les deux couches.

Les réparations au ruban adhésif sont la dégradation qui est la plus problématique sur cet objet. Les bandes adhésives, rubans adhésifs ou films d'adhésifs (*pressure-sensitive tape PST* en anglais) sont commercialement répandus depuis les années 1920. Elles sont composées de plusieurs couches différentes : Une **couche anti-adhérence** (pour le déroulage facilité du rouleau), un **support** (papier, toile ou films synthétiques comme le cellophane, acétate de cellulose et polypropylène), un **couche d'ancrage** (résine qui assure la liaison entre le support et l'adhésif) et une **masse adhésive**<sup>160</sup> (Fig. 147, p.90).

---

<sup>157</sup> Brendel, 1900-1901, p.9

<sup>158</sup> « Später schrumpft die Columella, sie reißt sich los vom Deckel, auf dessen Innenseite noch Reste vertrockneter Parenchymzellen zu sehen sind » (Eidam, 1885, p.5-6)

<sup>159</sup> Gettens et Stout, 1966, p.60

<sup>160</sup> Bonellia *et al.*, 2018, p. 5933 ; Dauga, 1997, p. 14-16

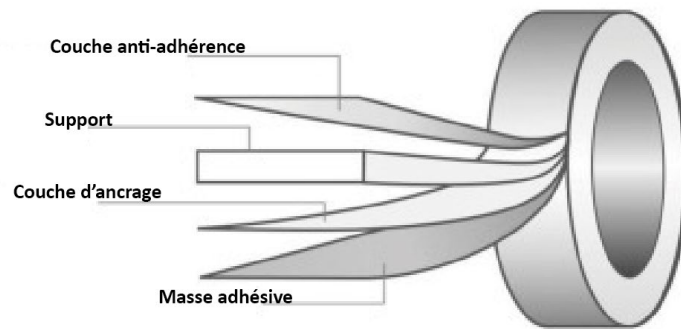


Fig. 147 Schéma de la composition de rubans adhésifs ©Germinario 2020

Dans les masses adhésives, on distingue deux familles souvent rencontrées : les caoutchoucs (naturels ou synthétiques) et les acryliques<sup>161</sup>. Toutes deux présentes sur ce capuchon. Ces adhésifs sont viscoélastiques et souvent modifiés à l'aide d'agent tackifiants\* (change la pégosité), plastifiants (phtalates), charges et stabilisants. Globalement, les rubans adhésifs base caoutchouc sont plus anciens et bien moins stables que les acryliques. Aujourd'hui, même si les acryliques se sont largement imposés, il existe encore des films d'adhésifs bon marché formulés à base de caoutchouc<sup>162</sup>.

Lorsqu'un ruban adhésif est mis en contact avec une surface, la masse adhésive, malléable et viscoélastique, aidé par les agent tackifiants, va créer une adhésion mécanique et chimique avec cette surface.

La problématique posée par ces rubans adhésifs est que la masse adhésive reste visqueuse à température ambiante, et, avec le temps, migre dans le substrat. Dans le cas des parties en gélatine des modèles de Brendel, il s'agit principalement du vernis, déjà identifié comme fragile mécaniquement. Si la migration est très entamée, mais que le ruban adhésif est encore dans un bon état, le retrait mécanique risquerait d'arracher le substrat. Sinon, le support va se désolidariser de la masse adhésive et laisser des résidus dans le substrat. Parfois, la masse adhésive, composée d'une multitude de composés, se dégrade, réticule, jauni et/ou devient friable. C'est souvent le cas des masse à base de caoutchouc, car un des agents tackifiants utilisé est la résine copal<sup>163</sup>. Les masse acryliques conservent leur propriétés plus longtemps, mais avec le temps et des conditions environnementales défavorables, la masse risque de devenir réticulée et oxydée, insoluble aux solvants organiques<sup>164</sup>. Le retrait des morceaux de ruban adhésifs du capuchon est donc primordiale et doit être fait le plus vite possible afin d'éviter l'infiltration de l'adhésif et son vieillissement. Ces réparations sont instables tant mécaniquement, car elles ne sécurisent que sommairement les cassures et fragments, que chimiquement car le vernis et la gélatine, déjà en partie dégradé par les résidus, risquent d'être définitivement altérés en contact avec ces rubans adhésifs.

<sup>161</sup> Satas, 1989, p. 244

<sup>162</sup> Comyn, 1997, p. 70-71

<sup>163</sup> Satas, 1989, p. 244

<sup>164</sup> Dauga, 1997, p. 18

### 3.1.4 Valeurs culturelles associées

Les modèles Brendel peuvent être retrouvés dans deux situations différentes. Les modèles font soit partie d'une collection patrimoniale, avec un statut de bien culturel protégés, soit ce sont des outils pédagogiques dans des institutions dédiées à l'enseignement (Fig. 149, ci-dessous). Dans le premier cas, l'environnement de conservation est généralement optimal et les modèles sont exposés comme objet historique ou scientifique, parfois aussi en lien avec l'art contemporain<sup>165</sup>. Dans la deuxième situation, les modèles sont encore manipulés et utilisés dans le cadre de cours de biologie, comme c'est le cas au Colegio de Buenos Aires, l'Université de Strasbourg ou dans les écoles secondaires d'Aarau (AG) ou Rämibühl (ZH) en Suisse<sup>166</sup>.

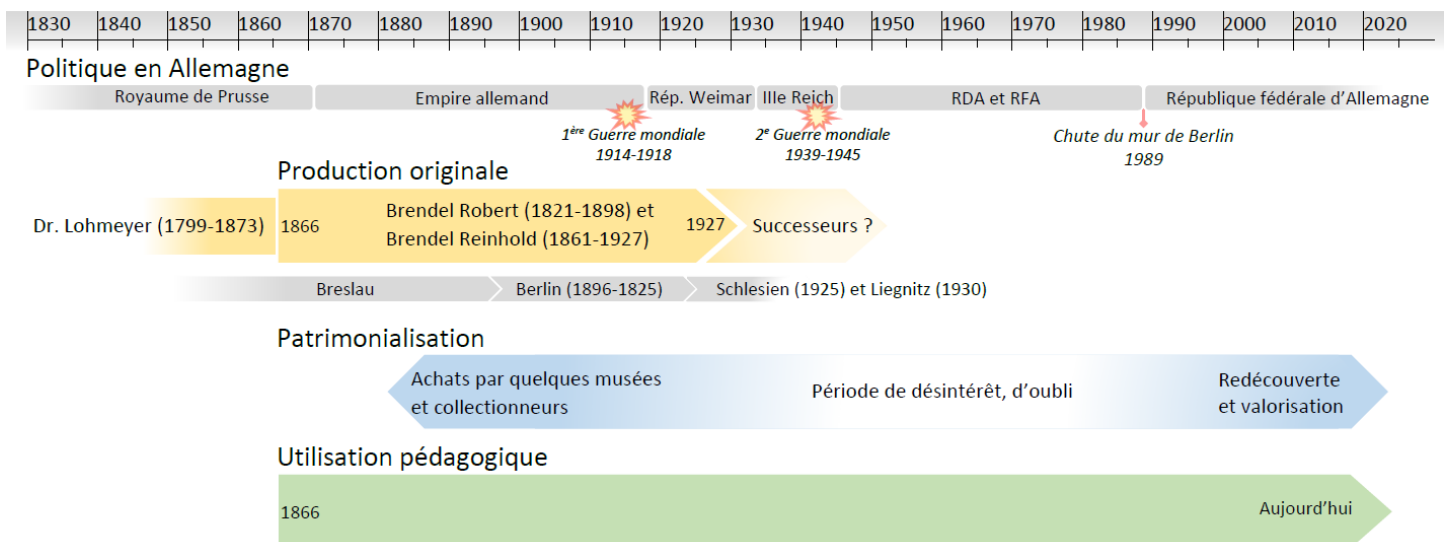


Fig. 148 Différent utilisations et statuts des modèles en fonction de l'époque

Les valeurs culturelles associées aux modèles Brendel, du point de vu général cette fois, vont donc être distinguées en deux catégories différentes : celles qui sont associées à leur époque de production et d'utilisation comme support d'enseignement (Tableau 5, p.92), et celles qui sont associées après leur patrimonialisation (Tableau 6, p.92).



Fig. 149 Modèles Brendel dans une armoire de l'université de Jena (DE)

<sup>165</sup> Tessier, 2020, p.15

<sup>166</sup> Ibid.



Tableau 5 Valeurs culturelles associées des modèles Brendel non-patrimoniaux



Epoque de production et utilisation / modèles encore utilisés aujourd'hui	
Pondération	Valeurs associées
<div>Importante</div>  <div>Secondaire</div>	<p><b>Valeur pédagogique</b> : Rôle de support d'enseignement, d'outil didactique essentiel pour expliquer et comprendre des végétaux complexes.</p> <p><b>Valeur marchande</b> : Modèles produits et commercialisés à une échelle internationale (Europe, USA, Amérique du Sud). Des étiquettes ou plaquettes de commerçants/revendeurs qui aidaient à la distribution internationale sont visibles sur les objets. Aujourd'hui encore, les modèles non-patrimonialisés apparaissent dans des ventes aux enchères ou sur des marchés spécialisés.</p> <p><b>Valeur de recherche</b> : Ces modèles informent les enseignants sur l'état des connaissances en botanique, leur permet probablement de mettre à jour leur cours et d'être le plus rigoureux possibles.</p> <p><b>Valeur esthétique</b> : Réalisés de manière à être appréciés esthétiquement en plus d'être exacte scientifiquement, les modèles étaient/sont souvent exposés dans des petites vitrines comme décorations des salles de cours des sciences naturelles lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour l'enseignement.</p>

Tableau 6 Valeurs culturelles associées des modèles Brendel patrimoniaux

Patrimonialisation / modèles conservés dans des collections d'objets d'art	
Pondération	Valeurs associées
<div>Importante</div>  <div>Secondaire</div>	<p><b>Valeur historique</b> : Objet liée au développement et à la transmission des sciences naturelles du XIXe siècle. Production arrêtée dans les années 1930.</p> <p><b>Valeur de recherche</b> : Mise en œuvre de techniques et d'un artisanat relativement inédit, uniquement accessible à travers la matérialité de ces objet (pas d'archives).</p> <p><b>Valeur de rareté</b> : Valeur concernant d'autant plus les modèles avec des parties en gélatine. Ils sont très fragiles et donc enclins à une destruction puis disparition complète.</p> <p><b>Valeur associative</b> : Objets désignés comme modèles « Brendel », directement associés à deux artisans bien précis. Les modèles PhyWe utilisent cette association au nom Brendel comme gage de qualité pour leurs modèles anatomiques</p> <p><b>Valeur esthétique</b> : les modèles sont appréciés pour leur aspect, aujourd'hui plusieurs expositions les mettent en valeur et parfois les associent visuellement à d'autres formes d'art.</p>

## Impact des altérations de la gélatine sur les valeurs culturelles des modèles patrimonialisés

La majorité des objets abordés durant ce travail ne sont plus en utilisation en tant que modèles pédagogiques, ce sont des œuvres patrimonialisées. Les altérations décrites diminuent avant tout leur valeur esthétique, particulièrement pour les modèles Brendel en gélatine. Leur intégrité matérielle étant parfois également mise en danger, les dégradations risquent d'impacter la majorité des valeurs culturelles associées. Un fort état de dégradation peut mener à l'incompréhension de ces modèles ou la disparition de certaines parties. La dégradation de la gélatine impacte aussi la valeur de recherche de ces objets, car il devient difficile de distinguer un effet voulu lors de la production d'une dégradation. L'absence de documentation de cette production, rend ces objets d'autant plus précieux. Ces pièces sont rares et elles seules renferment des informations précieuses quant aux techniques de fabrication des Brendel.

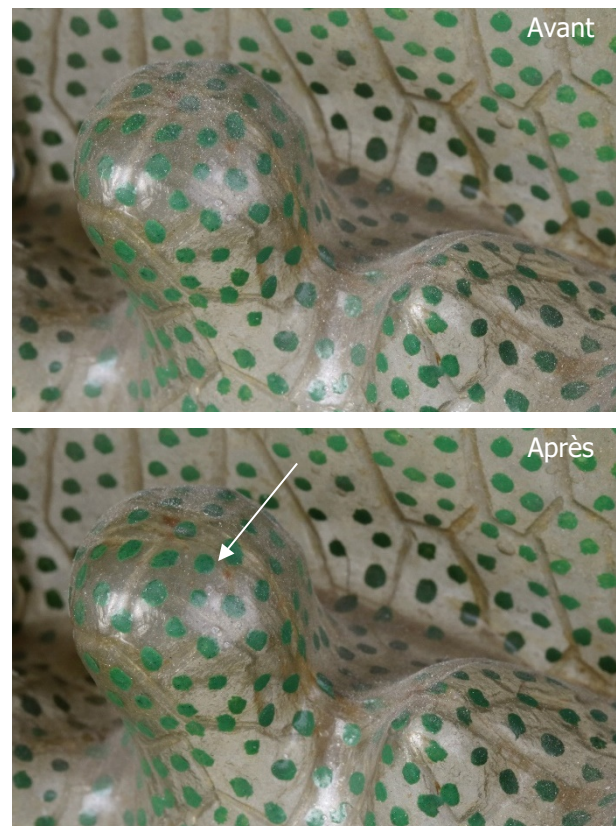
### 3.2 Proposition d'intervention

Ces propositions sont avant tout applicables aux dégradations relevées sur le modèle de *Brachythecium rutabulum* (Nr 1). Cependant, elles sont facilement adaptables à d'autres pièces en gélatine des modèles Brendel qui présenteraient les mêmes altérations.

#### 3.2.1 Dépoussiérage et nettoyage à sec

Le dépoussiérage de l'ensemble des surfaces peut se faire avec un pinceau souple et doux à poils longs, combiné à une micro-aspiration. Pour les parties les plus inaccessibles, les outils doivent être adaptés. L'utilisation d'une pipette pasteur en verre fixée à l'embout de l'aspirateur permet de retirer la poussière même dans les zones délicates d'accès.

L'éponge en latex permet un nettoyage plus poussé des surfaces. Après un frottement circulaire de quelques secondes avec une pression modérée, la brillance du vernis n'est visuellement pas altérée. L'éponge, qui a retiré des résidus gris foncé, laisse le vernis intact (pas de résidus de vernis sur l'éponge observés sous rayonnement UV). Pour la majeure partie des surfaces, ces deux étapes – micro-aspiration puis éponge en latex – sont largement suffisantes pour éliminer l'aspect terne et retrouver une surface brillante et homogène.



*Fig. 150 Exemple de dépoussiérage sur un autre modèle en gélatine (Equisetum Nr 4)*

### 3.2.2 Protocole de nettoyage aqueux

Le gélatine non vernie n'est généralement pas concernée par un nettoyage aqueux/avec solvants. Elle se retrouve majoritairement comme surface interne, peu exposée aux manipulations et à l'encrassement. La méthode ci-dessous est donc principalement développée pour les parties vernies, mais pourrait être adaptée à la gélatine non vernie.

Les surfaces vernies sont sensibles à la majeure partie des solvants un tant soit peu polaires (Annexe 7.10.3, p.187). En revanche, l'eau ne solubilise que très peu le vernis et reste inoffensive si elle n'est pas en contact prolongé avec la gélatine. Un nettoyage aqueux est donc possible, à condition d'en maîtriser les principaux paramètres (ajustement de la solution aqueuse à la surface et application contrôlée).

L'eau est un solvant très polaire, qui, grâce à sa composition moléculaire réactive et stable (H<sub>2</sub>O) et sa haute constante diélectrique, peut ioniser ou dissocier des molécules par des réactions acido-basiques et des hydrolyses<sup>167</sup>. Il s'agit donc d'un solvant idéal pour éliminer les matériaux hydrophiles, notamment certains dépôts, encrassements et salissures se trouvant sur les œuvres muséales<sup>168</sup>. Dans le cas présent, les encrassements se retirent très facilement à l'eau et ne se solubilisent pas avec un solvant apolaire comme la ligroïne (Fig. 155, p.102). De nombreux travaux, notamment menés par Dr Richard Wolbers et Dr Paolo Cremonesi, se penchent sur le nettoyage aqueux en conservation-restauration. Si l'utilisation de l'eau est très efficace, elle doit être adaptée au cas par cas. Un nettoyage aqueux nécessite donc une compréhension de plusieurs éléments, notamment le pH, la conductivité et la méthode d'application.

Avant d'entreprendre un nettoyage aqueux, il est important de définir des conditions de pH et de conductivité qui ne risquent pas de dégrader la surface à nettoyer (dans notre cas, le vernis sandaraque ou la gélatine). Le pH, pour potentiel hydrogène, est une échelle (0-14) qui indique la concentration de ions [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] dans une solution aqueuse et donc son acidité (0-7) ou alcalinité (7-14)<sup>169</sup>. Les solutions aqueuses doivent être de pH proche (+/- 1) à celui de la surface à traiter pour éviter une réaction acido-basique avec les matériaux à préserver<sup>170</sup>. Pour ce qui est de la conductivité (mesure « indirecte » de la concentration en ions dans une solution), les solutions de nettoyage doivent être isotoniques à la surface à traiter, voir légèrement hypertoniques, pour éviter une migration des composés de la surface dans l'eau. La solution aqueuse doit donc avoir une conductivité similaire ou 1-2 fois plus élevée que celle qui est mesurée sur la surface à nettoyer<sup>171</sup>. Lorsque la solution est de pH et conductivité adaptés aux surfaces à traiter et aux résidus à retirer, il s'agit d'une « eau ajustée ».

La surface de la gélatine vernie est sensible à l'eau en forme libre (c'est-à-dire dont l'application/rétention n'est pas contrôlée) du fait de sa structure micro-craquelée. Celle-ci permet à l'eau de pénétrer jusqu'à l'interface gélatine/vernis, risquant ainsi d'aggraver les micro-craquelures du vernis (apparition d'un chancis

---

<sup>167</sup> Wolbers, 2003, p.9

<sup>168</sup> Ibid., p.5

<sup>169</sup> Ibid., p.13-14 ;

<sup>170</sup> Communications orales de M. Paolo Cremonesi, novembre 2020

<sup>171</sup> Conférence de M. Paolo Cremonesi, *Developing and Evaluating Treatment Interventions : Cleaning*. Lugano: Swiss CRC : Common course, 2019



localisé (voir Encadré 3, p.96)) et d'hydrolyser la gélatine, provoquant son gonflement et dégradation. Par conséquent, si l'eau utilisée doit être ajustée, il faut également sélectionner une méthode d'application permettant de limiter l'apport de cette solution uniquement à la surface.

### 3.2.2.1 Mesure du pH et de conductivité

Le pH et la conductivité ont été mesurés à l'aide de plots d'un gel aqueux d'agarose à 4%, déposés pendant 1 minute sur les surfaces (dépoussiérées au préalable) (Fig. 152, ci-dessous). Ces plots ont ensuite été placés dans un pH-mètre et un conductimètre de la marque Horiba®.

Trois types de surfaces ont été définies grâce à l'observation sous rayonnement UV (360nm) des objets : surface avec une couche de vernis épais/régulier, surface avec un vernis fin/irrégulier et surface sans de gélatine sans vernis (Fig. 151, ci-dessous).

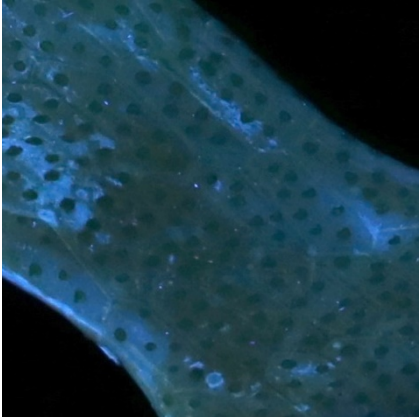
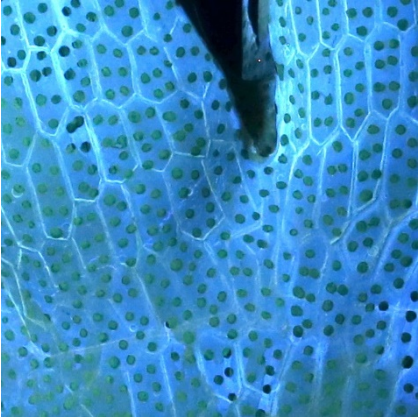

Surface vernis épais/uniforme	Surface vernis fin/irrégulier	Surface de gélatine sans vernis
		
<i>Equisetum (Nr 4) Burgdorf</i>	<i>Equisetum (Nr 4) Botmus</i>	<i>Brachythecium (Nr 1) Botmus</i>

Fig. 151 Différentes surfaces vernies

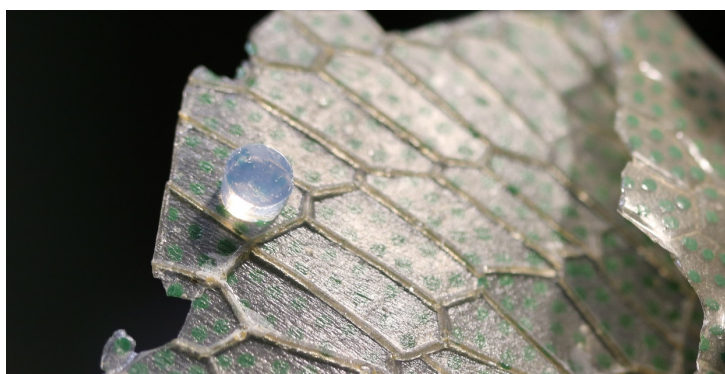
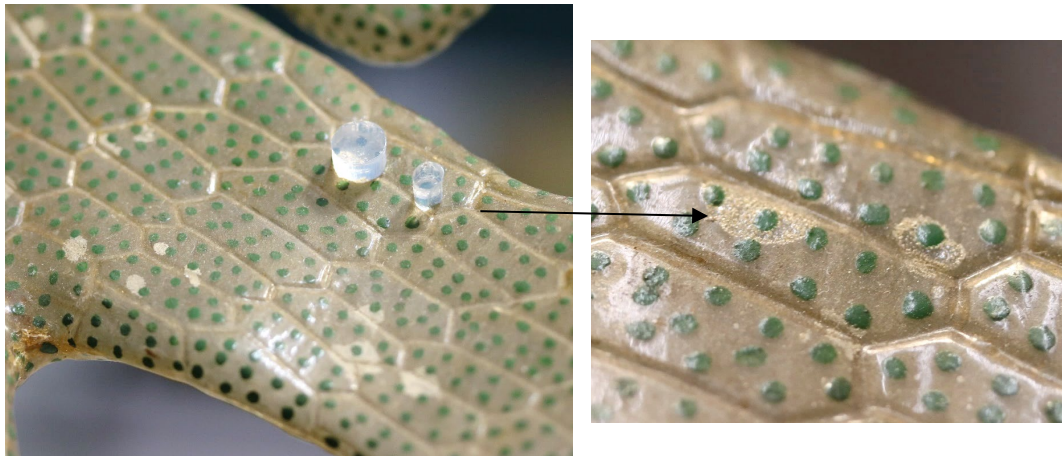


Fig. 152 Exemple de mesure avec du gel d'agarose

Pour le pH comme pour la conductivité, trois mesures par zone ont été réalisées. Habituellement, l'agarose est laissée plus longtemps que 1 minute. Dans le cas des modèles Brendel en gélatine vernie, la diffusion de l'eau est trop importante après 2 minutes de contact surface-gel (chancis).

### Chancis provoqué par de l'eau en contact avec la surface de gélatine vernie



Lors du de la mesure du pH et de la conductivité avec un gel d'agarose (voir Chapitre 3.2.2.1), un chancis est apparu sur dans le vernis si le gel était laissé trop longtemps (2 min). Le chancis plus particulièrement, est un dégradation du vernis, voir également du liant de la peinture sous-jacente, qui au niveau se traduit par une microporosité, ce qui modifie localement l'indice de réfraction et donne cet effet plus ou moins opaque et blanchâtre. L'apparition des chancis est due à un apport d'eau, sous forme vapeur ou liquide, sur un vernis trop fragile<sup>172</sup>. Dans le cas montré ci-dessus, l'opacification s'est estompé au bout d'une dizaine de minutes, cela n'a donc pas provoqué de dégâts irréversibles et a permis la mise en avant de la sensibilité du vernis à l'eau « libre ».

*Encadré 3 Chancis provoqué par les mesures de pH et de conductivité*

Avec un temps de pose de 1 minute, les mesures restent utiles mais sont très superficielles<sup>173</sup>. Ces mesures (résultats complets en Annexe 7.11, p.190), résumées dans le tableau ci-dessous, ont été conduites sur cinq objets en gélatine différents, dont le modèle de *Brachythecium* (Nr 1) traité, qui sont issus de la collection du Botmus et d'écoles :

*Tableau 7 Mesures de pH et de conductivité*

	pH		Conductivité [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	
	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle
<i>Vernis épais/uniforme</i>	5.29	4.94 - 5.72	339	223 - 542
<i>Vernis fin/irrégulier</i>	5.24	5.01 - 5.61	297	199 - 563
<i>Gélatine sans vernis</i>	5.8	5.22 - 6.15	382	196 - 586

Les paramètres des mesures ne permettent pas de mettre en avant des différences majeures entre les trois types de surfaces. Les surfaces vernies sont dans un domaine légèrement plus acide que la gélatine. De manière générale, le pH se situe dans une zone légèrement acide (pH 5.2-5.8) et la conductivité est peu élevée (env. 300-400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

<sup>172</sup> Genty-Vincent *et al.*, 2018, p.91

<sup>173</sup> Conférence de M. Paolo Cremonesi, *Developing and Evaluating Treatment Interventions : Cleaning. Lugano: Swiss CRC : Common course*, 2019

### 3.2.2.1 Choix des solutions de nettoyage

D'après les valeurs pH/conductivité mesurées à la surface de la gélatine vernie, une solution aqueuse a été tamponnée<sup>174</sup> :

#### Eau ajustée 1

Solution tampon d'acide acétique/NaOH à pH 5, conductivité diluée à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
(pKa acide acétique : 4.76)

Cette solution a un pH et une conductivité adaptés pour l'ensemble des surfaces. Les objets présentant des encrassements et des résidus très hétérogènes, une action chimique peut cependant être nécessaire. Une deuxième solution tampon a donc été sélectionnée :

#### Eau ajustée 2

Solution tampon acide citrique 25mM/NaOH 0.1M à pH 5.5, conductivité diluée à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
(pKa acide citrique : 3.13, 4.76, 6.40<sup>175</sup>)

L'acide citrique, avec ses trois groupes carboxyliques, a une action complexante à partir de pH 4 qui va s'accroître en augmentant le pH<sup>176</sup>. A pH 6.40, les trois groupes fonctionnels sont ionisés, formant des complexes plus stables (selon l'ion métallique). A pH 5.5, deux des groupes fonctionnels sont ionisés, l'action complexante est donc modérée<sup>177</sup>.

Les complexants, ou agents chélateurs, sont des molécules possédant deux ou plusieurs groupes fonctionnels qui peuvent former un complexe avec un ion métallique, changeant ainsi ses propriétés, par exemple sa solubilité<sup>178</sup>. Si l'utilisation des complexants en lien avec la conservation-restauration des métaux est bien connue et les réactions chimiques peuvent être prévues et plus ou moins maîtrisées, leur application dans le nettoyage de surfaces et matériaux organiques est beaucoup plus aléatoire et moins étudiée. Le choix du complexant se fait généralement en fonction de l'ion à solubiliser et des matériaux que l'on veut préserver. Dans le cas du nettoyage d'encrassements, la nature des résidus que l'on désire solubiliser est inconnue et probablement composite. La composition exacte de la surface d'un objet organique est aussi difficile à définir.

Le rinçage des complexants est l'un des inconvénients de ce type de nettoyage. Il est important de ne pas laisser de réactifs sur l'objet, car ceux-ci peuvent continuer à interagir avec la surface, se décomposer et

---

<sup>174</sup> Acide faible et base conjugué ou base faible et acide conjugué, qui ont une valeur de pH équivalent au pKa (+/- 1). Ce pH va être très stable et va conserver sa valeur, malgré l'ajout de petites quantités d'acide ou de base faibles. Le pH de la solution de nettoyage ne va donc pas changer au cours du nettoyage. (Wolbers, 2003, p.111)

<sup>175</sup> Wolbers, 2003, p.111

<sup>176</sup> Ibid., p.111-112

<sup>177</sup> Ibid.

<sup>178</sup> Ibid., p.109



créer de nouvelles réactions non-contrôlées. Dans un substrat poreux, il peut être très difficile d'éliminer tous les résidus. Pour être certain qu'aucun réactif ne s'infiltre dans les micro-craquelures du vernis par exemple, celui-ci doit impérativement être saturé avec du solvant siliconé D5 avant le nettoyage. De cette manière uniquement le rinçage peut être optimal.

### 3.2.2.2 Choix de la méthode d'application

Les gels constituent l'un des moyens régulièrement utilisés en restauration pour une application ciblée et une diffusion contrôlée d'une solution de nettoyage. Le gel d'agarose ayant provoqué un chanci dans le vernis, les gels à base aqueuse tels que l'agar-agar, la gellane, les Nanorestore®, etc. ne semblent pas être adaptés pour les surfaces de gélatine vernie. Pour appliquer une méthode aqueuse sur le vernis - non-soluble dans l'eau mais sensible à l'eau de par sa structure craquelée - il faut un système qui retienne complètement la solution et ne permette qu'une action très superficielle de nettoyage.

Le gel de silicone KSG 350 Z Shin-Etsu a été sélectionné comme méthode d'application. Ce gel est largement utilisé dans le nettoyage de peintures acryliques sensibles mais aussi pour des spécimens naturalisés<sup>179</sup>.

Le KSG 350 Z est un gel à base d'une structure poly(diméthicone)<sup>180</sup>. En plus de la chaîne éthoxylate de pontage, des chaînes aliphatiques et siloxanes linéaires ont été greffées à cette structure de base<sup>181</sup>. Ainsi, ce gel permet une rétention de l'eau optimale, en formant une émulsion gel de silicone-solvant (eau, mais aussi solvants organiques polaires ou apolaires) qui ne diffusera presque aucun liquide à la surface de l'objet. Lors de l'application, l'émulsion est légèrement remuée à l'aide d'un pinceau pour que la phase aqueuse/solvant puisse interagir avec



Fig. 153 Gel KSG 350 Z

les dépôts se trouvant sur la surface. L'émulsion est ensuite rincée à l'aide d'un solvant siliconé, le cyclométhicone D5 (decaméthylpentacyclosiloxane). Ce solvant de très basse polarité\* a une tension superficielle extrêmement faible et a aussi l'avantage d'être complètement volatil<sup>182</sup>. Il peut également être utilisé comme barrière hydrophobe pour isoler temporairement un substrat sensible à l'eau<sup>183</sup>.

De manière générale, le KSG 350 Z Shin-Etsu est le gel de silicone favorisé aujourd'hui. Contrairement à son prédécesseur, le Velvexil Plus, il ne laisse presque aucun résidu à la surface<sup>184</sup> et il peut être mélangé

<sup>179</sup> Mildwaters et Measday, 2018

<sup>180</sup> Stavroudis, 2015, p.181

<sup>181</sup> Ibid.

<sup>182</sup> Stavroudis, 2012, p.25-26 ; Stavroudis, 2015, p.179

<sup>183</sup> Stavroudis, 2015, p.179

<sup>184</sup> Youn Chung *et al.*, 2017, p.7 ; Cardaba *et al.*, 2020, p.5

avec des hydrocarbures aliphatiques<sup>185</sup>. Dans l'élaboration du protocole, le KSG 350 Z a été testé en émulsion avec de l'eau ajustée et en émulsion avec de l'alcool benzylique (Tableau 9, p.100).

A titre de comparaison, un gel aqueux de xanthane a aussi été testé. Contrairement au KSG 350 Z, les gels aqueux de xanthane sont non-toxiques, peu coûteux et les éventuels résidus sont totalement inoffensifs. La xanthane est un polysaccharide qui permet de créer un gel visqueux à partir d'une faible concentration (~1%) ; il permet de stabiliser des émulsions et a un effet de tensio-actif sur l'eau<sup>186</sup>. Deux mélanges ont été réalisés : un gel xanthane à base uniquement d'eau ajustée et un gel à base d'un mélange d'eau ajustée et d'alcool benzylique (85:15) (Tableau 8, p.100).

Une plaquette éprouvette a été fabriquée afin de tester les différentes méthodes d'application et leur innocuité (ou non) sur la gélatine vernie. Cette éprouvette est un film de gélatine avec additifs (durcisseur, plastifiant, pigment) et une couche de vernis sandaraque (résine diluée dans de l'éthanol, avec de l'huile essentielle *Lavandula angustifolia*, appliqué à chaud). La plaquette a été vieillie artificiellement pour être plus proche du cas réel des objets étudiés (protocole complet en Annexe 7.14.3, p.229). Si les méthodes n'endommageaient pas l'éprouvette, elles étaient testées ensuite sur l'objet.

Critères d'évaluation pour l'éprouvette :

1. **Retrait du vernis/effet sur la surface** : Le vernis est-il affecté par la méthode ? Y a-t-il un retrait visible à l'œil nu, sous lumière visible ou UV ? Y a-t-il un changement d'apparence de la surface, blanchiment, auréole, perte/accentuation de la brillance ? Différences avant et après application (observations sous lumière visible et UV) ?
2. **Rétention de l'eau/du solvant** : Apparition d'un chanci ? L'eau (ou solvant) s'infiltre-t-elle dans les micro-craquelures jusqu'à la gélatine ?

Critères d'évaluation pour l'objet :

3. **Innocuité sur l'objet** : la surface est-elle affectée par le nettoyage (retrait de vernis, modification de l'aspect de la surface, etc.) ? (Observations sous lumière visible et UV)
4. **Application** : La méthode est-elle applicable sur des surfaces verticales, dans des creux/reliefs ? La préparation et la mise en œuvre sont-elles contraignantes (temps d'attente très longs, gestes difficiles à maîtriser, etc.) ?
5. **Efficacité** : Les encrassements sont-ils éliminés ? La surface est-elle nettoyée et visuellement uniforme ?

---

<sup>185</sup> Stavroudis, 2015, p.181

<sup>186</sup> Cremonesi, 2011, p.22-24

Tableau 8 Tests de nettoyage Xanthane

Gel xanthane				
Critères d'évaluation	1% dans eau ajustée (solution tampon acide acétique/NaOH, pH 5)		1% dans eau ajustée - alcool benzylique (85-15%)	
	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5
1. Retrait du vernis/effet sur la surface	Pas de retrait mais blanchiment des craquelures	Léger blanchiment des craquelures, difficulté d'étaler le gel et de le rincer	Retrait important du vernis	Léger blanchiment des craquelures, difficulté d'étaler le gel et de le rincer. Réactivation du vernis.
2. Rétention de l'eau/du solvant	Moyenne	Moyenne	Mauvaise	Moyenne
3. Innocuité sur l'objet	<i>En raison des mauvais résultats obtenus avec le gel de xanthane sur l'éprouvette, ce gel n'a pas été appliqué sur l'objet.</i>			
4. Application				
5. Efficacité				

Tableau 9 Tests de nettoyage au KSG 350 Z

Gel de silicone KSG 350 Z				
Critères d'évaluation	80% de gel et 20% d'eau ajustée (solution tampon acide acétique/NaOH, pH 5)		80% de gel et 20% d'alcool benzylique	
	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5
Retrait du vernis/effet sur la surface	Aucun	Aucun	Léger retrait	Très léger retrait observé
Rétention de l'eau/du solvant	Satisfaisante (pas d'infiltration ni de chancis observé)	Satisfaisante (pas d'infiltration ni de chancis observé)	Non suffisante à cette concentration ou pour ce solvant	Non suffisante à cette concentration ou pour ce solvant
Innocuité sur l'objet	Satisfaisante (pas de modification de la surface)	Satisfaisante (pas de modification de la surface)	<i>En raison des mauvais résultats obtenus avec le gel de silicone avec de l'alcool benzylique sur l'éprouvette, celui-ci n'a pas été appliqué sur l'objet.</i>	
Application	Facile mais plusieurs rinçages nécessaires	Très facile, mais plusieurs rinçages nécessaires		
Efficacité	Retrait efficace des encrassements	Retrait efficace des encrassements		

Le gel de silicone KSG 350 Z a été retenu comme méthode d'application, car il permet un nettoyage très contrôlé. Le gel de xanthane est difficile d'application sur la gélatine vernie. Son rinçage est difficile et la rétention de la solution/du solvant n'est pas adaptée à des surfaces sensibles (Fig. 154, ci-dessous). Le nettoyage des surfaces encrassées se fera donc principalement avec une émulsion de gel de silicone KSG 350 Z et d'eau ajustée. Aucune différence n'a été observée avec ou sans l'imperméabilisation D5 préalable au nettoyage de la surface.



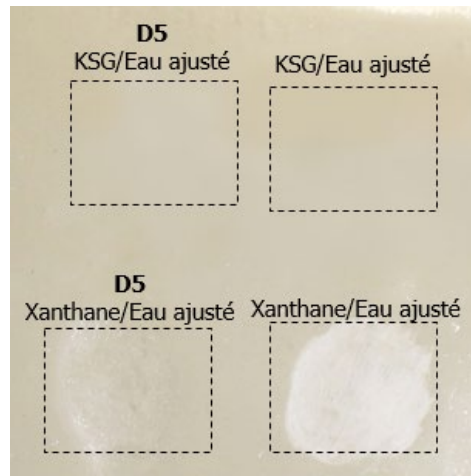


Fig. 154 Comparaison KSG 350 Z et gel de Xanthane sur l'éprouvette-test en gélatine vernie vieillie

Par précaution, notamment si l'eau ajustée nécessaire contient des additifs comme des complexants, la surface sera imperméabilisée au D5 afin de s'assurer que le rinçage soit optimal, sans résidus de réactifs/de gel laissés en surface ou dans les craquelures. Si des solvants sont nécessaires, pour retirer des résidus d'adhésifs par exemple, la surface doit également être préalablement imperméabilisée. Le gel de silicone a été testé à des concentrations de 10% avec de l'acétate d'éthyle et de l'acétone (Tableau 10, ci-dessous) et aucun retrait de vernis ou modification de la surface n'a été observé. Les solvants les plus agressifs pour le vernis, les alcools, sont cependant à proscrire.

Tableau 10 Tests de nettoyage KSG 350 Z avec acétate d'éthyle et acétone

Gel de silicone KSG 350 Z				
Critères d'évaluation	90% de gel et 10% d'acétate d'éthyle		90% de gel et 10% d'acétone	
	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5
Retrait du vernis/effet sur la surface	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Rétention de l'eau/du solvant	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante
Innocuité sur l'objet	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante	Satisfaisante
Application	Facile, mais plusieurs rinçages nécessaires	Facile, mais plusieurs rinçages nécessaires	Facile, mais plusieurs rinçages nécessaires	Facile, mais plusieurs rinçages nécessaires
Efficacité	Retrait peu efficace des encrassements. Nécessite beaucoup de passages.	Pas de retrait des encrassements	Aucune efficacité sur les encrassements	Aucune efficacité sur les encrassements

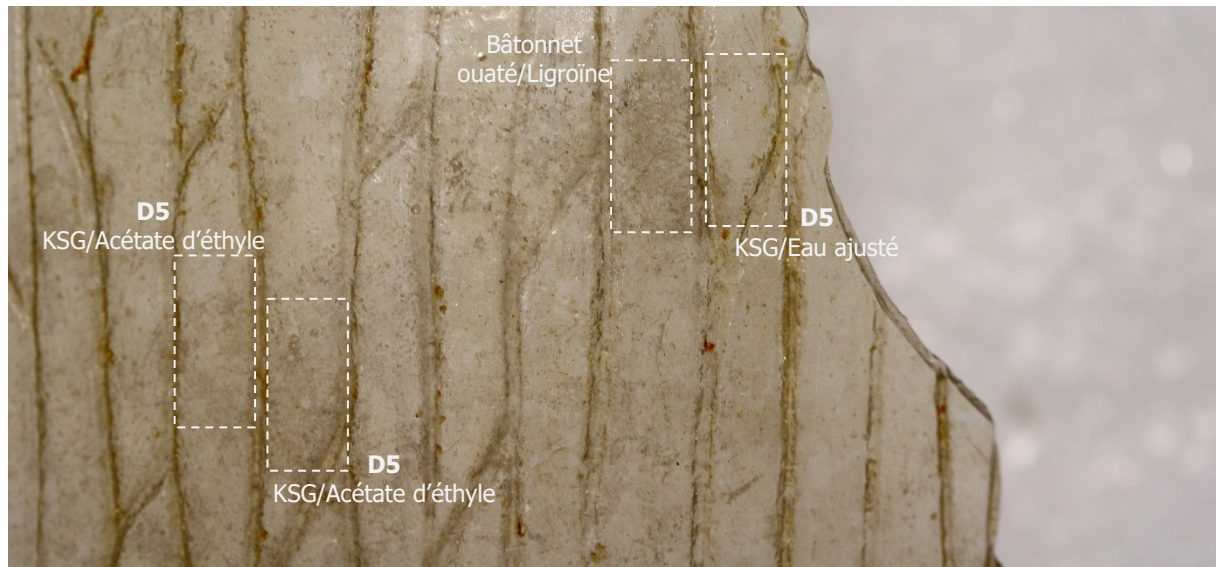


Fig. 155 Tests de nettoyage sur une zone encrassée du capuchon, comparaison méthode à base de solvants et méthodes aqueuses

### 3.2.3 Protocole de retrait des réparations au ruban adhésif

#### 3.2.3.1 Sensibilité des matériaux aux solvants

La gélatine et le vernis ont été évalués au niveau de leur réactivité aux solvants organiques. Le but était de définir les domaines de solubilité qui risquent d'altérer ces matériaux, et d'identifier les solvants qui n'interagissent que peu ou pas avec le vernis ou la gélatine. Les solvants seront utiles dans le retrait d'anciens collages et pour guider le choix d'un adhésif pour la restauration des cassures.

La gélatine a été caractérisée à l'aide d'un test de réactivité aux solvants sous microscope (Annexe 7.10.2, p.185). Un échantillon a été placé dans une atmosphère saturée en vapeur du solvant choisi, et des photographies microscopiques ont été prises à intervalle régulier. Il a ainsi été possible d'observer le gonflement ou non de l'échantillon au fil des secondes et donc sa réactivité au solvant.

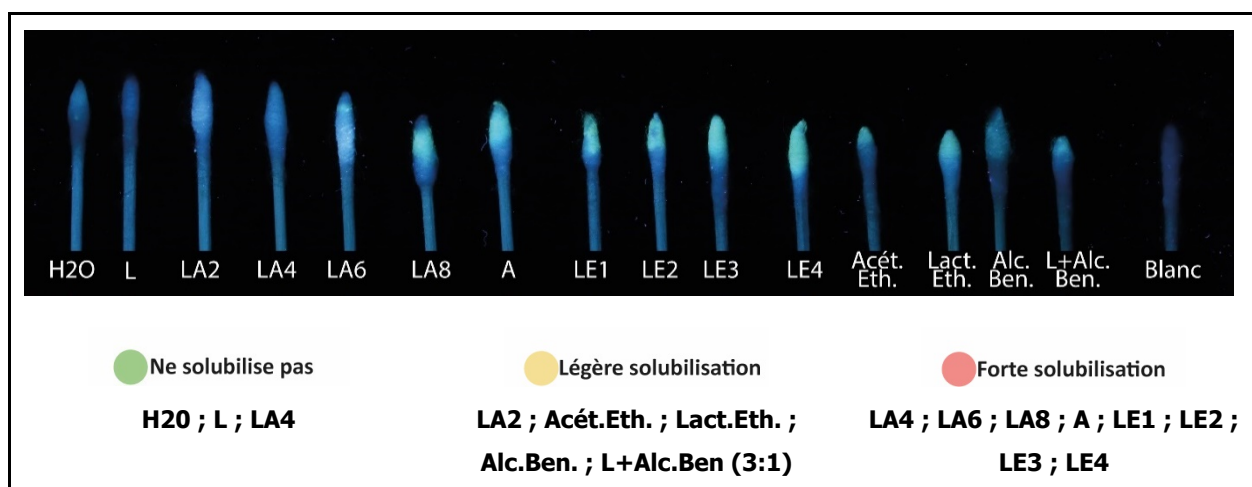
La gélatine, sans surprise, est très réactive au contact de la vapeur d'eau. Le gonflement de l'échantillon testé est important. Il en va de même pour l'éthanol. Avec l'acétone (cétones) et l'acétate d'éthyle (esters), les échantillons réagissent mais de manière moins significative. Avec l'isooctane (aliphatique) et le shellsol A (aromatique), l'échantillon ne présente pas de gonflement (Tableau 11, ci-dessous).

Tableau 11 Sensibilité de la gélatine aux solvants

Eau déionisée	Ethanol	Acétate d'éthyle	Acétone	Shellsol A	Isooctane
Réaction rapide est forte		Réaction modérée	Réaction faible	Pas de réaction	
<div><div>Polaire</div><div>Apolaire</div></div>					

Le vernis n'a pas pu être testé à l'aide de la technique appliquée à la gélatine. Les quantités prélevées étaient trop faibles et, lors de la séparation avec le support en gélatine, les échantillons se délitent en une poussière fine, difficile à utiliser pour le test de réactivité aux solvants. Pour caractériser la solubilité du vernis présent sur les objets, un test avec des mélanges de solvants a été utilisé (Annexe 7.10.3, p.187). Le chimiste Paolo Cremonesi a développé un test qui quadrille une large zone du triangle de Teas avec des mélanges à base de ligroïne, éthanol et acétone. Les recherches littéraires sur les vernis sandaraque indiquent déjà une solubilité aux solvants polaires, plus particulièrement les alcools<sup>187</sup>. Par conséquent, seuls les mélanges avec une grande proportion de ligroïne ont été testés. Le but était de trouver quelle proportion de solvant polaire reste inoffensive pour le vernis. La sandaraque étant soluble dans les alcools, l'éthanol ou le méthanol risquaient clairement de solubiliser le vernis ; ils ont donc été évités. L'eau déionisée, l'acétate d'éthyle, le lactate d'éthyle et l'alcool benzylique ont également été testés. Le test de solubilité montre que la plupart des solvants avec un peu de polarité solubilisent le vernis. L'acétate d'éthyle et le lactate d'éthyle solubilisent de manière modérée le vernis. Les mélanges ligroïne-acétone, avec >60% de ligroïne, restent inoffensifs dans une certaine mesure. L'eau n'affecte que très peu le vernis, ce qui n'est pas surprenant. Les résines végétales, contrairement aux gommes, ne sont en effet pas solubles dans l'eau<sup>188</sup>.

Tableau 12 Résumé du test de solubilité du vernis



### 3.2.3.2 Retrait de rubans adhésifs sur une surface vernie

Sur le capuchon du modèle *Brachythecium rutabulum* (Nr 1), plusieurs rubans adhésifs différents sont présents. Ils se répartissent dans deux familles de masses adhésives distinctes. Les spectres FTIR obtenus sont ceux de poly-isoprènes et de copolymères méthacrylates, qui ont été interprétés respectivement

<sup>187</sup> Gettens et Stout, 1966, p.58

<sup>188</sup> Barth, 2000, p.112



comme du caoutchouc et une masse adhésive de la famille des acrylates (Spectres FTIR : Fig. 213 à Fig. 217, p.204)<sup>189</sup>.

Le retrait des 31 morceaux de rubans adhésifs est complexe en raison de la nature diverse de ces matériaux (supports en plastique ou papier, masse adhésive acrylique ou à base de caoutchouc). Il n'existe pas de réelle étude publiée concernant le retrait de rubans adhésifs sur un vernis fragile. L'intervention devra donc être adaptée des techniques utilisées dans les arts graphiques. De manière générale, la méthode de retrait de rubans adhésifs à sec est préférable à celle requérant des solvants, car ceux-ci vont avoir tendance à faire migrer des résidus d'adhésif gonflés ou dissous dans le substrat.

La démarche est la suivante :

- 1) Retrait du support du ruban adhésif par petits morceaux pour éviter la déformation ou l'arrachage du substrat<sup>190</sup>. Dans le cas des rubans adhésifs ayant un support en papier, des spatules chauffantes sont parfois utilisées pour faciliter le décollement. Dans le cas de la gélatine cependant, un échauffement trop fort risquerait de déformer et dénaturer le matériau.
- 2) Retrait des résidus d'adhésifs restés à la surface de l'objet à l'aide de gomme crêpe en latex ou de gomme vinylique blanche, avec des petits mouvements circulaires et une pression adaptée<sup>191</sup>.
- 3) Évent. utilisation de solvants.

Pour le point 3, il convient de sélectionner des solvants qui solubilisent les masses adhésives à base de caoutchouc et d'acrylique. Les isoprènes à l'état non-réticulé et non-oxydé sont relativement solubles dans l'alcool, l'acétone et le benzène<sup>192</sup>. Le caoutchouc est soluble jusqu'à un certain point dans la térébenthine et le naphta (pétrole)<sup>193</sup>. Un solvant très apolaire, comme la ligroïne ou un mélange contenant de la ligroïne, pourrait donc éventuellement aider à réduire les résidus d'adhésif sur l'objet.

Pour les masses adhésives à base acrylique, le domaine de solubilité peut être très varié. Les tests de Dauga (1997) sur un Scotch Magic 810TM, ayant une masse adhésive acrylique, montrent que les solvants les plus efficaces sont l'acétate d'éthyle, le toluène, le xylène et les solvants chlorés. La toxicité de ces trois derniers solvants étant élevée, ils vont être évités. L'adhésif à base acrylique vieilli devient également soluble dans le n-hexane (aliphatique), qui a des paramètres de solubilité similaires à la ligroïne ou l'isooctane (tous deux aussi des aliphatiques). L'acétate d'éthyle, l'acétone et la ligroïne sont donc sélectionnés.

L'application de solvants peut se faire par utilisation de gommes très peu imprégnées de solvant (Saugwunder de Kremer GmbH, éponges à maquiller ou en mousse de mélamine)<sup>194</sup>. Mais l'utilisation de gel KSG 350 Z en émulsion et d'une imperméabilisation de la surface avec du cyclométhicone D5 peut également être intéressante pour appliquer de manière contrôlée les solvants.

---

<sup>189</sup> Communications orales du Dr Stefan Zumbühl (analyste à la HKB Berne), avril 2021

<sup>190</sup> Dauga, 1997, p.21

<sup>191</sup> Ibid, p.23

<sup>192</sup> Reyne, 1975, p.28

<sup>193</sup> Ibid.

<sup>194</sup> Dauga, 1997, p.28

### 3.2.4 Protocole de collage

Plusieurs adhésifs différents ont été testés sur des éprouvettes en gélatine vieillie artificiellement. Les produits sélectionnés pour ce test comprenaient plusieurs types d'acryliques de la famille des Paraloid™ et de la colle d'esturgeon. L'ensemble des tests et de la réflexion sur le choix de ces adhésifs se trouve en Annexe 7.15.4, p.236.

Les adhésifs ont été évalués en fonction de leur résistance mécanique en lien avec le substrat de gélatine, mais également au niveau de leur facilité de mise en œuvre et rendu esthétique.

Deux adhésifs ont été retenus :

Un **mélange de Paraloid™ B72 et B48N (3:1)**, car il s'applique très facilement et offre un compromis entre un joint de collage suffisamment solide pour les fines tranches et un adhésif qui ne risque tout de même pas d'être trop résistant pour la membrane de gélatine. Le B72 est le Paraloid™ le plus connu en conservation-restauration. Il présente des très bonnes caractéristiques de vieillissement et reste soluble dans les solvants organiques, même de nature non-polaire<sup>195</sup>. Le B48N offre une certaine souplesse au joint d'adhésif car il contient un plastifiant, il a été moins testé que le B72 mais semble créer peu de jaunissement au long terme<sup>196</sup>. Pour le mélange de Paraloid™ B72/B48N, le solvant choisi est l'acétate d'éthyle. En effet, il offre un temps de travail confortable car moins volatile que l'acétone, mais s'évapore tout de même assez rapidement pour permettre un collage efficace de plusieurs parties en même temps. Autre point important, les matériaux présents réagissent de manière modérée à ce solvant.

La **colle d'esturgeon à 5% dans l'eau**, pour certaines cassures fermées qui doivent être consolidées (fracture qui risque de se prolonger si une contrainte est appliquée à la zone) et ne peuvent qu'être infiltrée. Cet adhésif est exactement de la même nature chimique que la gélatine (protéines animales dénaturées) et forme un joint de collage totalement compatible avec la gélatine, mais les collages sont complètement irréversibles.

---

<sup>195</sup> Down, 2015, p.98

<sup>196</sup> Lazzari et Chiantore, 2000, p.6455

### 3.3 Interventions de conservation-restauration

Le protocole d'intervention développé a été appliqué sur le capuchon du modèle *Brachythecium rutabulum* (Nr 1) issu des collections du Botmus. La conservation de cette pièce est primordiale, car sur les multiples exemplaires de *Brachythecium* observés dans d'autres collections, dans des écoles secondaires, des inventaires en ligne ou des publications, le capuchon est toujours manquant. Cette pièce est mobile, simplement posée sur le couvercle. Ajouté à sa grande dimension, il est très probable qu'elle ait été exposée à de nombreuses chutes et chocs. La multitude des cassures et des réparations avec du ruban adhésif de différentes époques sur la pièce du Botmus attestent de cette vulnérabilité. Il n'était pas rare, dans les collections non-patrimonialisées notamment, que les éléments trop endommagés soient jetés. Ceci expliquerait la rareté de cette pièce, alors que les modèles de *Brachythecium* (Nr 1) sont régulièrement rencontrés. En plus de sa rareté et donc de l'importance de sa conservation, le capuchon présente de nombreuses problématiques représentatives des altérations observées sur les modèles Brendel (encrassements, cassures, anciennes réparations).



*Fig. 156 Capuchon du Brachythecium (Nr 1) avant intervention, profil et face*



### 3.3.1 Retrait des rubans adhésifs

**Retrait mécanique du support en film synthétique/papier des rubans adhésif :** la partie supérieure du support du ruban adhésif a tout d'abord été entaillée à l'aide d'une lame de scalpel afin d'être découpée en fines lamelles. Cette étape est délicate, car il ne faut pas inciser complètement l'épaisseur film, action qui risquerait d'abimer la surface de l'objet. Le bord de chaque lamelle est soulevé grâce à une fine spatule ou un scalpel, puis maintenu avec une pincette (Fig. 157 et Fig. 158, ci-dessous).



Fig. 157 Après la découpe, le bord du ruban est soulevé

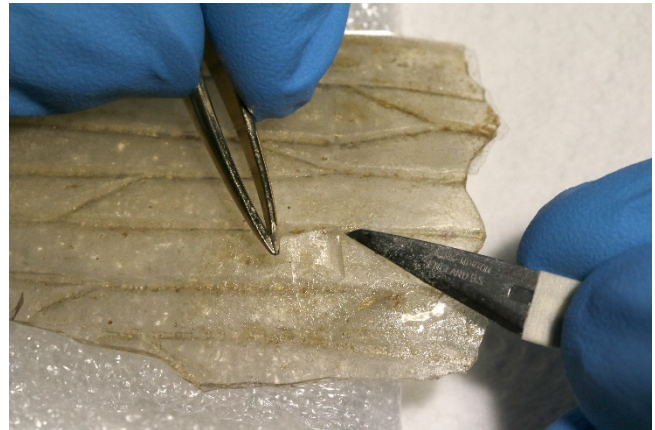


Fig. 158 Retrait du support en tranchant la masse adhésive

Le retrait à proprement parler se fait en tirant la lamelle parallèlement à la surface, tout en « tranchant » la masse adhésive avec un scalpel au niveau de la jonction entre le ruban adhésif et la surface de l'objet. Ainsi, la masse adhésive ne peut pas arracher le vernis sur lequel elle adhère et le support en film synthétique/papier peut être retiré.

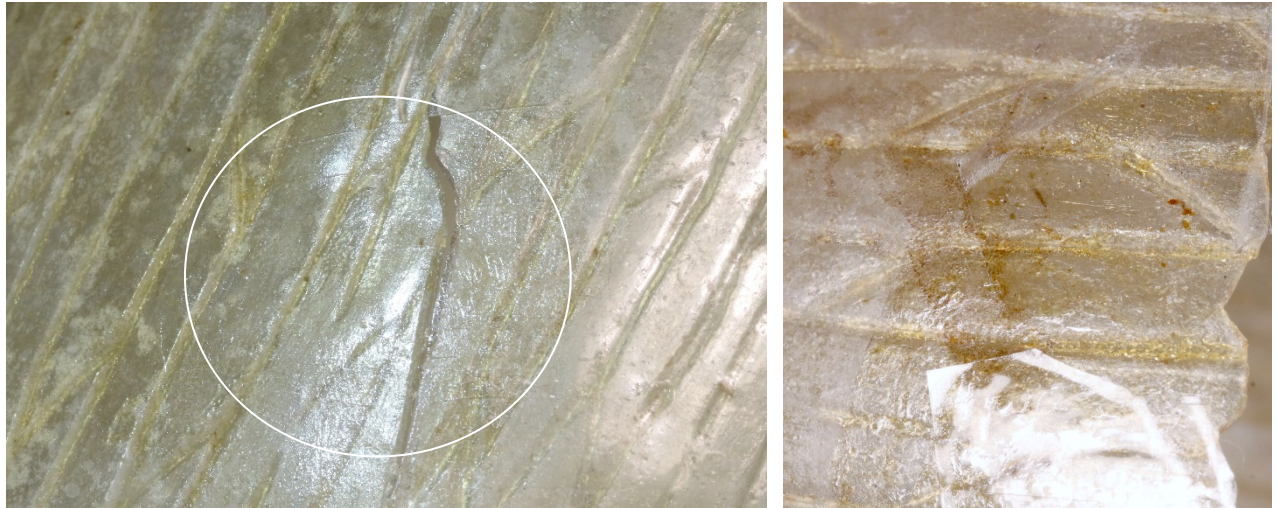
**Retrait des résidus de masse adhésive :** Les résidus d'adhésifs qui restent à la surface de l'objet peuvent être jaunis, durs et cassants ou alors élastiques, translucides et collants. Le retrait à sec, à l'aide de gommes, n'était pas efficace sur cet objet. L'intervention est menée en ramollissant les résidus à l'aide des émulsions gel de silicone KSG-solvant<sup>197</sup> suivantes :

- KSG 350 Z en émulsion avec 10% d'acétate d'éthyle
- KSG 350 Z en émulsion avec 10% d'acétone
- KSG 350 Z en émulsion avec 10% de ligroïne
- KSG 350 Z en émulsion avec 10% d'un mélange d'acétone et de ligroïne (2:3)

La surface est préalablement imprégnée de solvant D5 qui va s'infiltrer sous les résidus de masse adhésive.

---

<sup>197</sup> L'ensemble des interventions impliquant des solvants siliconés ou organiques se sont faites dans une chapelle de laboratoire avec aspiration.



*Fig. 159 Résidus de masse adhésive après le retrait du support*

Les résidus ramollis par l'émulsion sont ensuite accrochés/attrapés à l'aide d'un bâtonnet ouaté ou d'une pointe en bois légèrement frottée à la surface. Le gel de silicone est finalement rincé avec du D5. Plusieurs cycles KSG+solvant et rinçage D5 sont nécessaires réussir à retirer les résidus de manière satisfaisante. Le D5 agit également comme un « anti-redéposition » pour les résidus d'adhésif qui, grâce au D5, ne peuvent ainsi plus recoller à la surface une fois détachés.



*Fig. 160 Fragment après retrait du support (résidus de masse adhésive)*



*Fig. 161 Fragment après retrait des résidus de masse adhésive au KSG en émulsion avec des solvants*

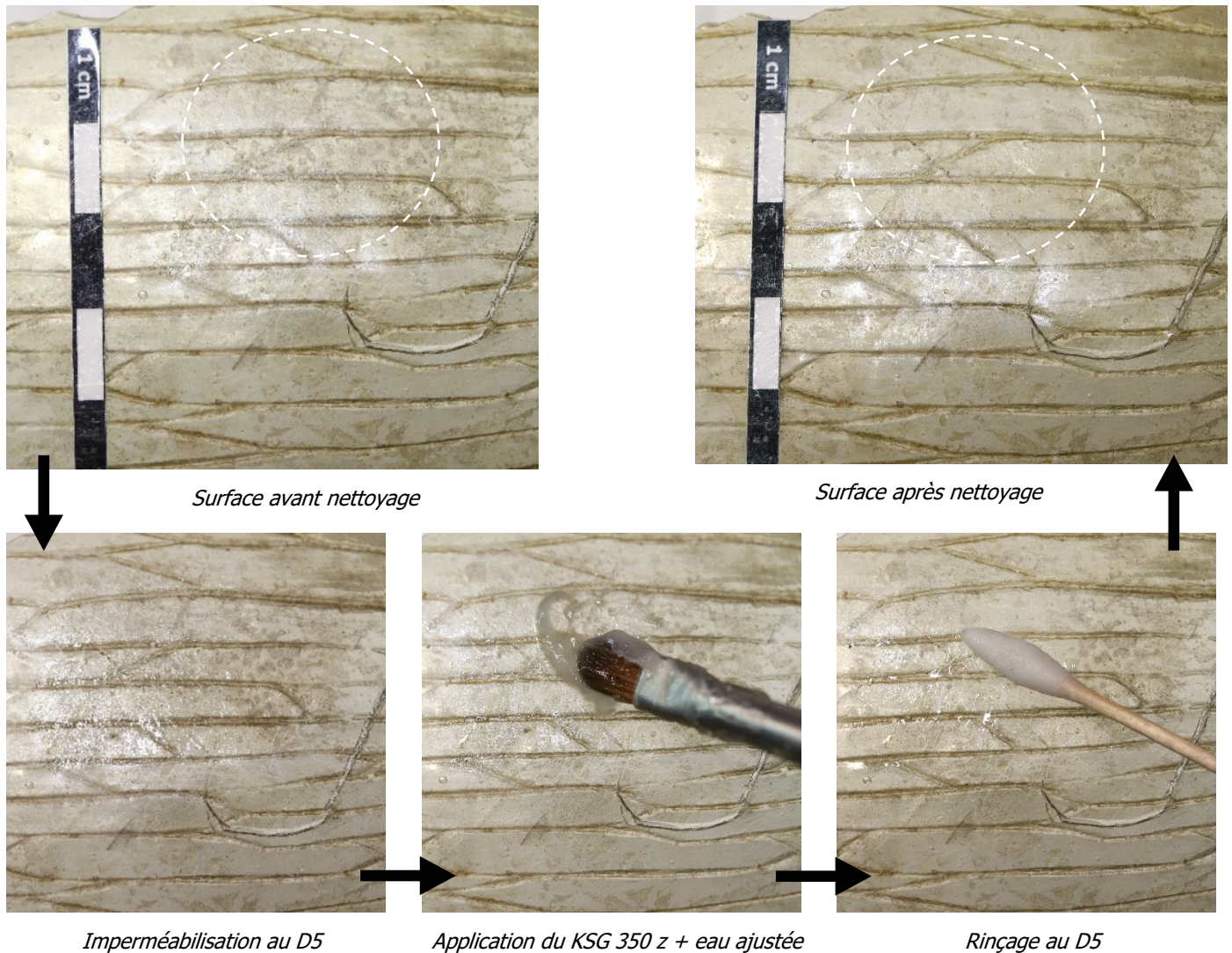
### 3.3.2 Dépoussiérage et nettoyage

L'aspiration n'était pas nécessaire pour le capuchon, car aucune poussière volatile n'était présente sur cette pièce. La gomme en latex Artsponge®, bien qu'ayant permis de retirer un dépôt foncé de la surface, n'a pas été suffisante pour retirer les encrassements sombres présents sur la partie supérieure de l'objet.

Le nettoyage des parties a pu se faire avec une émulsion de KSG 350 Z avec 20% d'eau ajustée 1 (acide acétique/NaOH pH 5) ou, à quelques endroits, d'eau ajusté 2 (acide citrique/NaOH pH 5.5). Les surfaces étaient imperméabilisées au préalable avec du cyclométhicone D5, solvant également utilisé pour le rinçage



du gel (Fig. 162, ci-dessous). L'efficacité du nettoyage a été jugée selon l'homogénéité de la surface et la coloration de l'émulsion en gel siliconé, qui prenait une teinte gris-brunâtre (Fig. 163, p.109). Lorsque le gel ne se colorait plus/très peu, il était retiré et la surface était rincée au D5 4-5 fois.



*Fig. 162 Etapes du nettoyage au KSG*



*Fig. 163 Vérification de l'efficacité du nettoyage sur une serviette en papier blanc*

Après le retrait des rubans adhésifs, des délimitations très nettes se sont formées entre les surfaces encrassées et les zones sous les rubans adhésifs (protégées de l'encrassement) (Fig. 164, p.110). Le nettoyage a permis de faire disparaître ces délimitations (Fig. 165, p.110).

Les surfaces intérieures du capuchon, en gélatine non-vernie, ont simplement été nettoyée à sec, avec la gomme en latex, et si nécessaire, avec un bâtonnet ouaté très légèrement imbibé d'éthanol.



*Fig. 164 Démarcation surface sous ruban adhésif/surface encrassée*



*Fig. 165 Nettoyage et disparition de la démarcation*

### 3.3.3 Collage

Après le dernier rinçage des surfaces au D5, l'idéal est d'attendre au moins 24h pour être sûr que le solvant s'est complètement évaporé<sup>198</sup>. Ainsi, l'adhésif sera uniformément réparti sur les tranches et assurera un collage résistant.

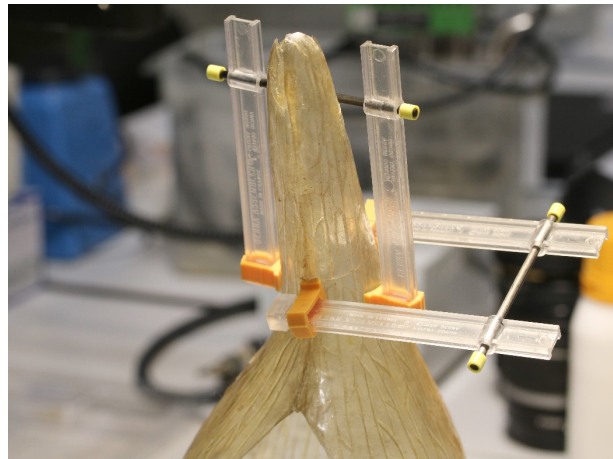
L'adhésif Paraloid™ B72/B48N a été appliqué au pinceau en très fine couche sur les tranches. Le but est d'éviter tant que possible des débordements d'adhésif car celui-ci ne peut pas être nettoyé avec un solvant, en particulier sur la surface vernie. Une fois les deux tranches jointes, les éventuels débordements sont laissés à sécher quelques secondes, puis piqués avec la pointe d'un scalpel. A ce stade, le débordement d'adhésif a formé en surface une fine pellicule solidifiée mais reste très liquide. Il adhère à la pointe de scalpel et se détache complètement de la ligne de collage sans laisser de résidus sur la surface.

---

<sup>198</sup> Mildwaters et Measday, 2018



Pour maintenir les collages en place, des fines bandelettes de ruban adhésif ont été utilisées. Deux types de ruban adhésif ont été retenus : bande de masquage bleue 3M et de la bande de masquage pour surfaces délicates rose Tesa®. Ces bandelettes ont avant tout été placées sur les surfaces interne en gélatine non-vernies. Divers type de pincettes et outils ont servis à maintenir certains collages sous tension le temps du séchage, notamment des pincette plates en métal et des pinces d'assemblage Berna Assembler®.

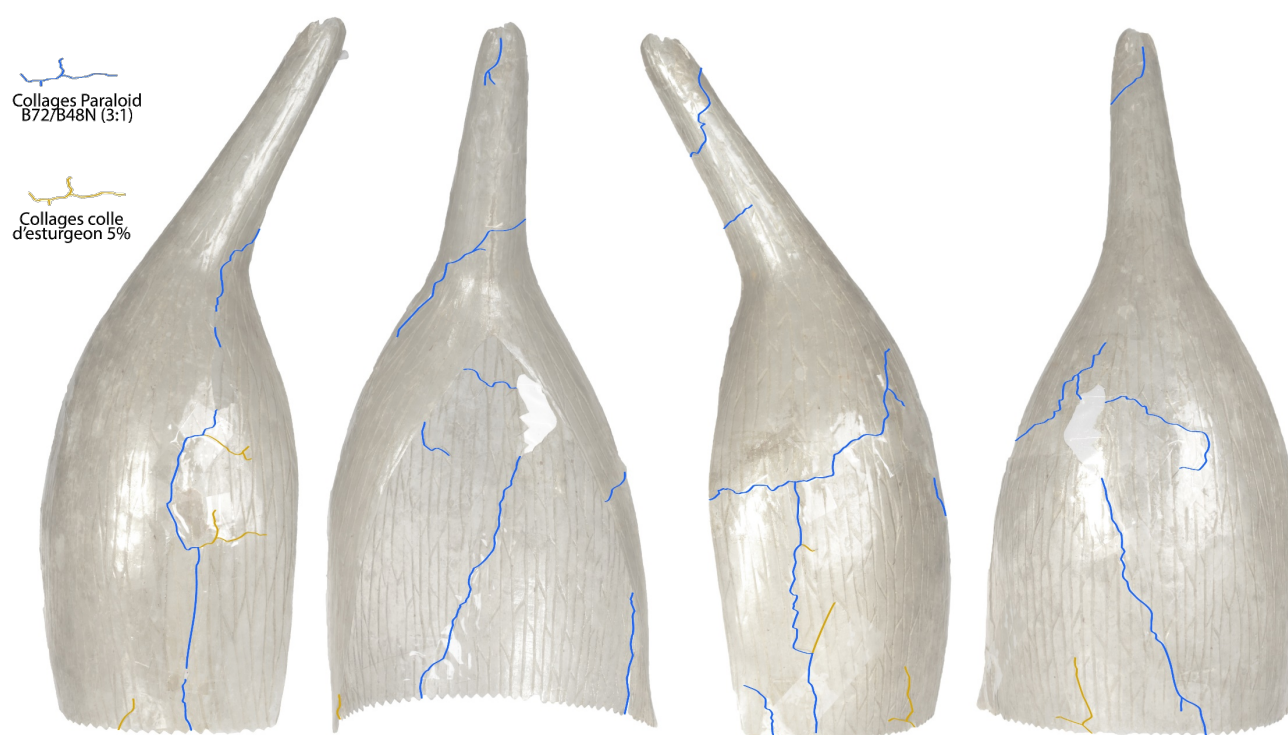


*Fig. 166 Collage des fragments avec l'aide de bande de masquage et de pinces*

La majeure partie des cassures fermées ont été infiltrées à l'aide d'une solution de colle d'esturgeon à 5%. Il était nécessaire de consolider ces cassures car elles fragilisaient des zones complètes des fragments (plusieurs cassures fermées proches). Les cassures qui ont été infiltrées avec de la colle d'esturgeon ont été documenté dans une cartographie de l'intervention.



*Fig. 167 Infiltration d'une cassure fermée*

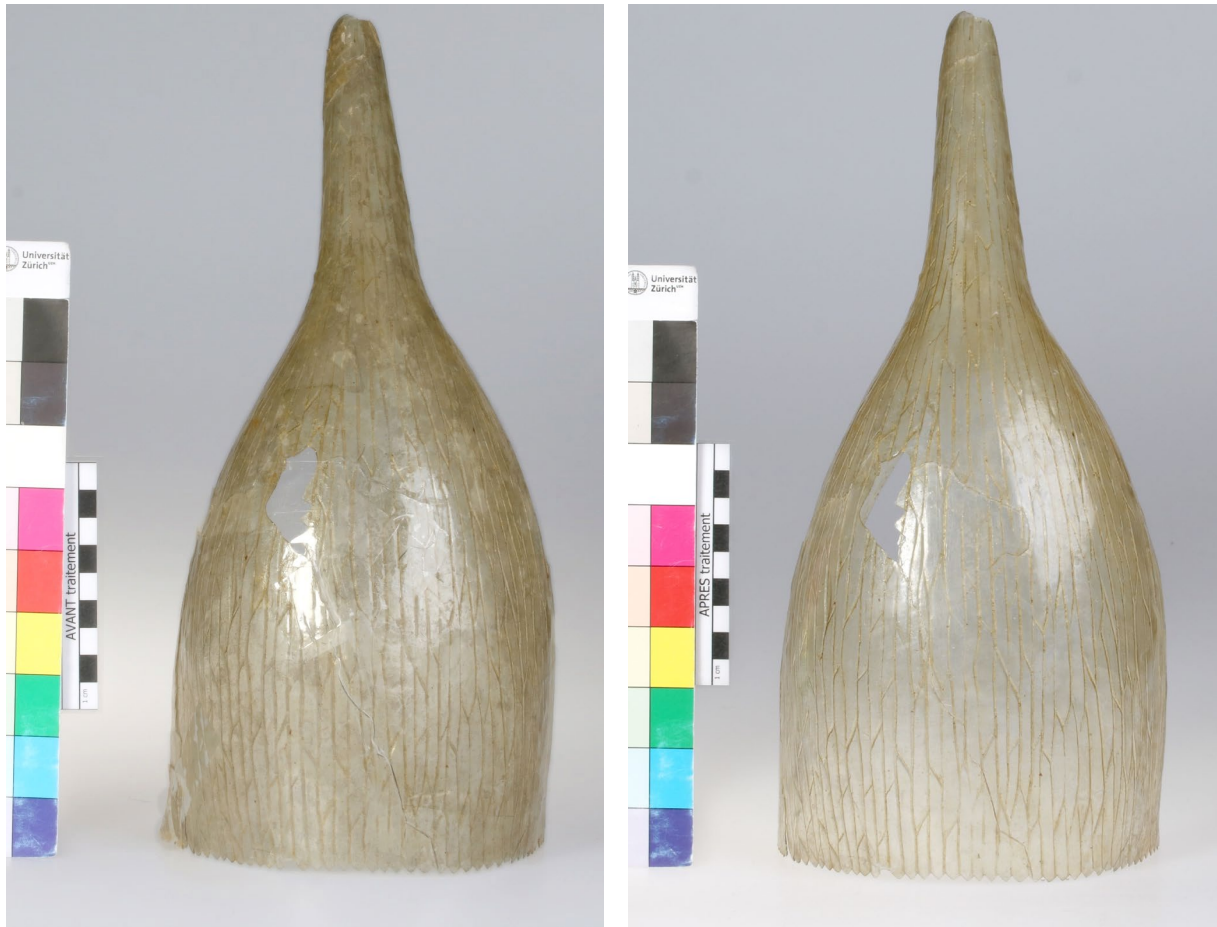


*Fig. 168 Cartographie des collages réalisés et des adhésifs utilisés*

### 3.3.4 Bilan des interventions

Dans l'ensemble, les interventions de conservation-restauration sur le capuchon du *Brachythecium* (Nr) du Botmus ont été satisfaisantes (Fig. 169, p.113 et, en annexe, Fig. 176 à Fig. 183, p.165). L'objet est plus stable mécaniquement et les dégradations chimiques liées à l'interaction de la surface en gélatine vernie avec les rubans adhésifs ont pu être endiguées. L'impact visuel de ces altérations et des encrassement a également pu être diminué, l'aspect général de l'objet en a été grandement amélioré.



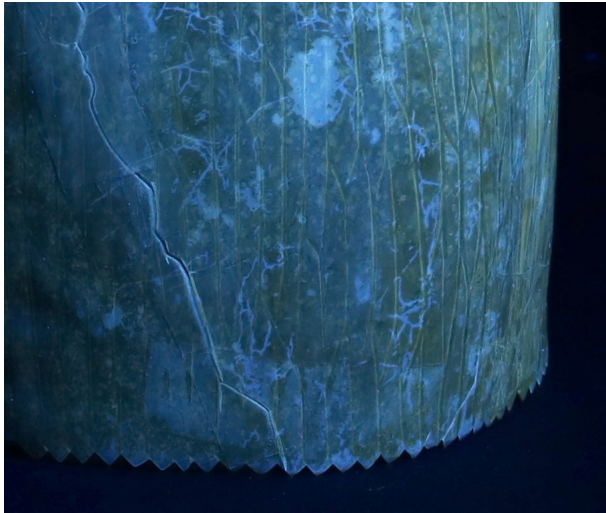


*Fig. 169 Dos du capuchon avant et après intervention*

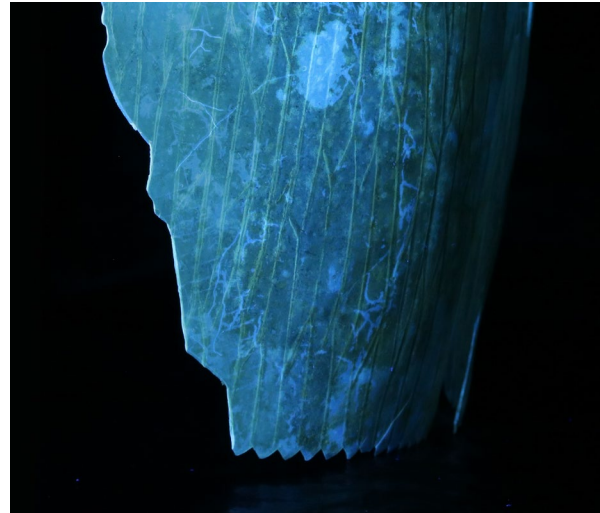
Dès le développement du protocole d'intervention, il était clair que le retrait des rubans adhésifs de la surface en gélatine vernie serait complexe et comprendrait certains risques. Notamment en raison de la fragilité mécanique du vernis et de son adhérence peu optimale sur la membrane en gélatine. Le vernis sur le capuchon était déjà très lacunaire avant l'intervention et l'action mécanique de retirer ces rubans adhésifs et l'utilisation d'émulsion gel de silicone-solvant risquaient d'agrandir les lacunes.

Le choix a été pris d'intervenir tout de même, en dépit ce risque. Le fait de laisser les réparations au ruban adhésif en place impliquaient au long terme une destruction complète du vernis situé en dessous, tandis que le retrait offrait la possibilité de préserver au moins une partie de ce vernis. Le simple fait de stabiliser mécaniquement les fragments entre eux était également important, une partie des rubans adhésifs les plus anciens montraient des décollages et des relâchements, indiquant que ces réparations seraient peu fiables au long terme. Des photographies sous rayonnement UV avant puis après retrait des rubans adhésifs d'une zone sur le capuchon montrent que, si les lacunes et les bords dégradés de la couche de vernis ont été légèrement agrandis, la majeure partie du vernis présent sous les rubans adhésifs a pu être préservée après le retrait de ceux-ci.





*Fig. 170 Zone avant retrait des rubans adhésifs*



*Fig. 171 Zone après retrait des rubans adhésifs*

Le retrait de la masse adhésive a été la partie la plus délicate de l'intervention. Si la plupart des reliquats des rubans adhésifs présents ont pu être retirés/fortement réduits, certaines zones, notamment avec des très anciens résidus cristallisés et jaunis, n'ont pas pu être traités de manière optimale. Le retrait avec l'émulsion de KSG-solvants a été poussé jusqu'à une réduction satisfaisante de résidus, mais le retrait total, impliquant une action prolongée avec le gel, n'a pas été réalisé. Ces adhésifs vieillissants ayant généralement complètement migré dans le vernis, cette action aurait été dommageable pour celui-ci. De plus, ces résidus, une fois réduits, ne dérangent plus visuellement sur l'ensemble de cet objet.

Concernant le nettoyage, la technique des émulsions gel de silicone-eau ajustée permet un nettoyage très ciblé et progressif, ce qui évite un résultat trop hétérogène. En revanche, il est très difficile de juger de la quantité nécessaire pour rincer la totalité de l'émulsion avec du D5. Des tests plus poussés seraient nécessaires pour connaître le nombre de passages nécessaires pour retirer avec certitude tous les résidus de gel siliconé KSG.

Le collage des différentes parties a donné un résultat satisfaisant dans l'ensemble. Les différents fragments présentaient parfois des légères déformations notamment au niveau de leurs bords, ce qui a rendu certains collages moins jointifs. Les collages au PB72/48N (3:1) semblent résistants, mais cette pièce est beaucoup plus flexible qu'il n'y paraît, il se peut qu'au séchage complet du joint le mélange d'adhésif choisi ne soit pas assez souple pour certains collages très sollicités lors des manipulations de l'objet. Toutefois, si c'est le cas, les joints de collages lâcheront et les fragments seront intacts. Un nouveau collage sera possible avec un mélange fait d'une plus grande proportion de Paraloid™ B48N, ce qui créera un joint plus souple et résistant.

### 3.3.5 Suivi de l'objet

En évitant d'exposer les objets à des conditions climatiques défavorables (variations importantes ou valeurs inadéquates de température et d'humidité relative, présence de polluants, exposition prolongée à lumière) et à des chocs/tensions mécaniques, l'altération de la gélatine des modèles Brendel peut être considérablement ralentie. Il est aussi important d'éviter l'empoussièrement des surfaces. La présence de poussière favorise en effet l'apparition de micro-organismes, comme les moisissures, notamment en présence d'humidité.

Les valeurs climatiques de conservation adaptées pour ce type d'objets composites sont la combinaison des recommandations pour les objets en cuir, les peintures et les négatifs photographiques. L'idéal est un climat stable sans brusques variations, avec une température relativement basse, environ 18-20°C, et particulièrement une hygrométrie entre 40-50%<sup>199</sup>. Il convient d'éviter toute exposition lumineuse inutile ou à des rayonnement UV et de ne pas excéder une valeur de 150 lux. Les conditions de conservation actuelles des réserves du Botmus remplissent ces critères.

Ces objets sont très sensibles aux chocs, comme en témoigne la plupart des cassures visibles. Il est très important que leur manipulation, transport et emballage soient réalisés avec le plus grand soin et une attention particulière, ainsi qu'en évitant les mouvements inutiles.

Le modèle *Brachythecium* (Nr 1) en particulier est fragile au niveau du capuchon. Celui-ci, simplement posé sur l'extrémité du modèle, n'est pas doté de système de verrouillage et a tendance à glisser de l'objet. Cette pièce doit être sécurisée lors des manipulations ou être transportée à part.

---

<sup>199</sup> Levillain *et al.*, 2002, p.72

## 4 Discussion

L'histoire des Brendel et de leur production comporte encore beaucoup de zones vides. En dehors de l'absence totale de documentation technique, d'archive ou de photographies sur la production elle-même, les vies de Robert et Reinhold Brendel, ainsi que de leur éventuel successeurs reste également très mystérieuses. Aucun lien avec la communauté juive persécutée dans l'Allemagne des années 1900-1950 n'a pu être établi avec certitude, pourtant de nombreuses connexions se dessinent : leur amitié avec le Dr. Prof. Ferdinand Julius Cohn, personnalité juive de l'université de Breslau, la situation de leur point de vente à Breslau en 1866 à la Riemerzeile n°15<sup>200</sup>, situé non loin de la synagogue historique de la ville et le destin de leur villa à Berlin-Gruenewald, qui servira d'école pour des enfants juifs exclus des établissements officiels. Il est impossible avec les informations disponibles aujourd'hui d'affirmer quoi que ce soit. Mais les recherches menés dès 2006 sur la collection de l'université de Florence, mènent certains historiens travaillant sur les Brendel à penser qu'il se pourrait qu'il y a une corrélation entre leurs connexions avec la communauté juive, la politique antisémite de l'Allemagne à cette même époque et la disparition de la production Brendel dans les années 1930<sup>201</sup>.

Les liens entre les différentes production allemandes du XIXe et XXe siècle ne sont pas non plus clairs. Osterloh travaillait à Leipzig, ville à l'est de l'Allemagne, et il devait connaître le travail de Brendel (et réciproquement). Parfois, les modèles d'un même spécimen Brendel ou Osterloh sont très similaires. Et ce n'est certainement pas non plus un hasard que les uniques autres modèles anatomiques en gélatine hors production Brendel, soient des pièces Osterloh. Dans la même réflexion, la firme PhyWe possède peut-être également des informations précieuses quant aux archives Brendel. Leur utilisation spécifiquement du nom et logo Brendel laisse penser qu'ils ont peut-être repris l'entreprise, des archive ou du moins ce qu'il restait lié à la production. Mais cette transition n'a pas été complète. Le savoir-faire de modèles en gélatine a été perdu ou laissé de côté et ne se retrouve pas ailleurs que dans la production originale Brendel de 1866-1930.

L'étude des collections de modèles anatomiques de botanique Brendel en Suisse est à peine amorcée. Le travail du Dr. Kocyan est déjà très avancé dans la région suisse-allemande, mais le reste de la Suisse est encore peu recherchée. Le recensement de collections hors-musées est le point le plus urgent mais également le plus chronophage et énergivore. L'établissement de contacts fructueux et la recherche de personnes responsables pour ces collections, s'il y en a dans l'institution, nécessite l'échange de beaucoup de mails et coups de téléphones, ainsi qu'un suivi documenté de cette recherche. Mais une fois une collection repérée et la collaboration avec l'institution établi, la découverte et le recensement d'une nouvelle collection jusqu'alors inconnue en dehors de l'école concernée sont très gratifiants. Cette recherche devra se

---

<sup>200</sup> Fournier, 1866, p.96

<sup>201</sup> Fiorini et Menicagli, 2006



poursuivre et nécessitera beaucoup de moyens pour parvenir à une vision globale des collections Brendel en Suisse.

L'étude technologique a permis d'avoir une meilleure idée des moyens potentiellement utilisés pour fabriquer ces pièces en gélatine. Malgré cela, l'étendue du savoir-faire et l'habileté que les Brendel ont développé pour obtenir ces pièces et les produire en série n'a probablement qu'été effleurée. Pour continuer cette investigation technologique, l'idéal serait d'avoir à disposition plusieurs exemplaires du même modèle. Les trois pièces d'Equisetum (Nr 4) et les deux Brachythecium (Nr 1) sont les objets qui ont le mieux permis de mettre en avant des détails liés aux techniques de mises en œuvre. L'étude d'autres modèles Brendel en gélatine en séries permettrait d'approfondir et d'affiner, voir réfuter, les hypothèses émises durant ce travail. Certains détails technologiques ont été aperçus, notamment les parties en textile enrobé pour illustrer les rhizoïdes, mais n'ont pas pu être investigués plus en profondeur dans ce travail. L'agent d'enrobage ainsi que la nature des fibres textiles n'ont pas pu être identifiés, et sont un très bon exemple des inconnues qu'il reste à explorer en lien avec la technologie de ces objets.

La restauration de ces parties reste complexe, et si le protocole développé lors de ce travail permet d'avoir quelques outils pour intervenir sur ces parties, il est probable que de nombreuses autres pistes de traitements devront être examinées. En conservation-restauration d'objets patrimoniaux, il est important de ne pas tomber dans la simple application de « recettes » toutes prêtes. Cela est d'autant plus vrai lorsque l'on a affaire à des problématiques encore peu connues comme c'est le cas pour cette membrane en gélatine peinte et vernie. Le protocole d'intervention développé dans ce travail ne doit pas être envisagé sous l'angle de solutions rapides pour une restauration facile de ces pièces, mais plutôt comme un premier pas dans une plus vaste réflexion autour du traitement des modèles en gélatine Brendel. Il faudra également attendre d'avoir un peu de recul par rapport aux interventions sélectionnées. Le KSG est un produit qui laisse entrevoir de nombreuses applications possibles sur les surfaces très sensibles à l'eau, mais il a rarement été étudié hors du cadre des peintures acryliques. Le choix d'appliquer un adhésif synthétique comme le Paraloid™ sur ces pièces en gélatine va à contre-courant des interventions faites jusqu'alors sur les modèles Brendel en gélatine, où l'utilisation de colle animale est favorisée. Ces traitements devront encore être affinés et évalués à long terme, et adaptés aux autres objets en gélatine Brendel.

Les parties manquantes et les lacunes sont une des problématiques soulevées au cours du constat d'état de ces objets. La réintégration et le comblement de ces altérations n'ont pas pu être abordés dans le cadre de ce travail de master. Des solutions pour reconstituer des pièces similaires, qui s'incorporent visuellement auprès de cette membrane translucide, est probablement un défi. Notamment car certains de ces comblements auront potentiellement une fonction structurelle, tandis que d'autres réintégrations auront peut-être juste un but esthétique d'harmonisation de l'ensemble.

## 5 Conclusion

L'étude des modèles Brendel en gélatine conservés au Botanisches Museum UZH a permis d'apporter quantité de nouvelles informations mettant en lumière l'ingéniosité dont les Brendel ont fait preuve pour créer leur modèles de plantes. Toutes les productions de modèles anatomiques au XIXe siècle ont des caractéristiques qui leur sont propres. Mais la technologie utilisée par les Brendel pour l'obtention de pièces creuses en volume, prévues pour l'enseignement -avec tous les risques et contraintes que cela comprend- est exceptionnelle. Le ou les artisans de ces modèles devaient parfaitement gérer toutes les propriétés de la gélatine et des additifs, des températures de travail et des différentes phases, tout en appliquant un savoir-faire manuel exceptionnel. Les informations tirées de l'étude approfondie des 19 objets étudiés permettent de mieux comprendre les modèles en gélatine Brendel et d'en apprécier le savoir-faire dans toute sa complexité.

Le développement et l'évaluation de nouveaux traitements ont permis de mettre en place un protocole satisfaisant pour des altérations complexes à traiter. Le retrait de rubans adhésifs plus particulièrement a représenté un défi de taille, notamment par l'absence de techniques connues en dehors du domaine des arts graphiques. L'utilisation de KSG en émulsion avec des solvants s'est révélé efficace pour retirer les résidus de masse adhésifs sur l'objet traité et semble être une piste intéressante pour traiter d'autres problématiques d'anciennes réparations. Dans le cadre de ce travail de master, l'intervention sur une partie d'un objet, le capuchon du modèle *Brachythecium* (Nr 1), a permis de montrer que la stabilisation mécanique et chimique, ainsi que l'amélioration esthétique, sont possible au travers des traitement développés. La lisibilité de l'objet traité a également été grandement améliorée.

Les modèles en gélatine sont encore peu exposés en comparaison avec les modèles de fleurs en papier-mâché Brendel. L'étude de ces objets et leur conservation-restauration aideront potentiellement à rendre ce patrimoine unique plus accessible. Ainsi il sera possible de favoriser la (re)connaissance de ces modèles en gélatine, beaux, étranges et fascinants, tant dans le milieu patrimonial qu'auprès du grand public.

Cette reconnaissance est primordiale car ces objets sont un patrimoine autant rare qu'en danger. Si les collections muséales sont connues, peu de recensement exhaustifs existent en dehors de ce cadre patrimonial, et un grand nombre des modèles décrits dans les catalogues d'origine ne se retrouvent pas dans les collections répertoriées aujourd'hui. Néanmoins, l'espoir subsiste que les modèles encore présents et oubliés dans les institutions d'enseignement viennent bientôt enrichir l'héritage Brendel d'aujourd'hui et la connaissance de cette production unique. En espérant que ce travail de master ait amené ne serait-ce qu'une toute petite pierre à cette entreprise.

## 6 Bibliographie

- AFNOR, 2013** : AFNOR. *Recueil de normes : Conservation des biens culturels et du patrimoine*. AFNOR Éditions, La Plaine Saint-Denis Cedex, 2013.
- Aguirre-Alvarez et al., 2011** : Aguirre-Alvarez G., Pimentel-González D. J., Campos-Montiel R. G., Foster T. et Hill S. E.. « The effect of drying temperature on mechanical properties of pig skin gelatin films ». In *CyTA - Journal of Food*, 9:3, 2011, p.243-249.
- Albert et al., 1986** : Albert K, Peters B, Bayer E, Trieber U, Zwilling M. *Crosslinking of gelatin with formaldehyde*. C NMR study. *Z Naturforsch* 41b, p.351–358.
- Alleger, 1894** : Alleger, W. W. *Formalin*. Proceedings of the American Microscopical Society, 01.03.1894.
- Angelova et al., 2017** : Angelova Lora V., Ormsby Bronwyn, Townsend Joyce H. et Wolbers Richard (éd.). *Gels in the Conservation of Art*. Archetype Publications, London, 2017.
- Artioli, 2010** : Artioli Gilberto. *Scientific methods and Cultural Heritage – An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservative science*. Editions Oxford University Press, New-York, 2010.
- Arus, 2017** : Arus Anne. *Conservation of 19th Century Botanical Teaching Aids at the University of Tartu*. Poster, University of Tartu Art Museum, The 11<sup>th</sup> Triennial Meeting for Conservators of the Baltic States – Changing Contexts: from Environment to Ideas, Tartu, Estonia, 2017.
- Azémar et al., 2017** : Azémar Clara, Ménager Matthieu et Vieillescazes Cathy. *On the tracks of sandarac, review and chemical analysis*. Environmental Science and Pollution Research, Springer, 2017.
- Baglioni et Chelazzi, 2013** : Baglioni Piero et Chelazzi David (éd.). *Nanoscience for the Conservation of Works of Art*. RSC Publishing Nanoscience & Nanotechnology No. 28, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2013.
- Barjot, 2020** : Dominique Barjot (dir.). *Transmission et circulation des savoirs scientifiques et techniques*. Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, Paris, 2020.
- Barth, 2000** : Barth, Angie. *Restauration d'un bureau à cylindre estampillé par François-Gaspard Teuné, provenant du département des Objets d'art du musée du Louvre. Les substances filmogènes naturelles entrant dans la composition des vernis testés*. Diplôme de fin d'études, Institut National du Patrimoine INP, Paris, 2000.
- Baudry, 2002** : Baudry Marie-Thérèse. *Sculpture – méthode et vocabulaire*. Editions Imprimerie Nationale, Être des monuments nationaux, Monum, Editions du patrimoine, Paris, 2002.



- Bjelkhagen, 1995** : Bjelkhagen Hans. *Silver-Halide Recording Materials for Holography and Their Processing*. Springer Series in Optical Sciences, Berlin-Heidelberg, 1995.
- Bogaert-Damin, 2007** : Bogaert-Damin, Anne-Marie. *Voyage au cœur des fleurs – Modèles botaniques et flores d'Europe au XIXe siècle*. Presses universitaires de Namur, Namur, 2007.
- Bogue, 1922** : Bogue R. H. *The Chemistry and Technology of Gelatin and Glue*. McGraw-Hill Book Co., Inc.: New York, 1922.
- Bonellia et al., 2018** : Bonellia Nicole, Montisa Costanza, Mirabilec Antonio, Bertia Debora, et Baglioni Piero. *Restoration of paper artworks with microemulsions confined in hydrogels for safe and efficient removal of adhesive tapes*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS, June 5, 2018 115 (23), p. 5932-5937
- Brendel, 1885** : Brendel Robert. *Verzeichniss der botanischen Modelle. Nach dem System von EICHLER geordnet. + PREIS-VERZEICHNISS der von R. Brendel, Berlin W., Kurfürstendamm 101 angefertigten botanischen Modelle*. BERLIN W., Kurfürstendamm IOI. Datum des Poststempels 1885.
- Brendel, 1890** : Brendel, R. « Verzeichnis von plastischen Lehrmitteln für den Unterricht in der Anthropologie, Zoologie, Mineralogie und Mikroskopie » R. Brendel, Verlagsanstalt für Lehrmittel, Berlin W., 1890.
- Brendel, 1900-1901** : Brendel. *Preisliste über Botanische Modelle gefertigt und herausgegeben von R. Brendel*. Grunewald bei Berlin, Bismarck-Allee 37, 1900-1901.
- Brendel, 1913-1914** : *Preisliste der Botanischen Modelle von R. Brendel*. 1913-1914.
- Brierley, 2009** : Brierley Liesa. « Art Forms in Nature EXAMINATION AND CONSERVATION OF A BLASCHKA GLASS MODEL OF THE PROTOZOAN AULOSPHAERA ELEGANTISSIMA ». In *Studies in Conservation*, 54:4, 2009, p.255-267.
- Busemann et al., 1992** : Busemann Hertha Luise, Daxner Michael et Fölling Werner. *Insel der Geborgenheit – Die Private Waldschule Kaliski, Berlin 1932 bis 1939*. Verlag J.B. Metzler Stuttgart – Weimar, 1992.
- Calixto et al., 2018** : Calixto Sergio, Ganzherli Nina, Gulyaev Sergey et Figueroa-Gerstenmaier Susana. « Review : Gelatin as a Photosensitive Material ». In *Molecules*, 23, 2064, publié en 2018.
- Cambridge, 1991** : Cambridge E. M. « Benzene and Turpentine: The Pre-History of Drycleaning ». In *Ambix*, Vol. 38, Part 2, July 1991, p.79-84.
- Cardaba et al., 2020** : Cardaba Irene, Poggi Giovanna, Baglioni Michele, Chelazzi David, Maguregui Itxaso et Giorgi Roderico. « Assessment of aqueous cleaning of acrylic paints using innovative cryogels ». In *Microchemical Journal*, 152 (104311), 2020.

- Carlyle et al., 1990** : Carlyle Leslie, Townsend Joyce H. et Hackney Stephen. « Triammonium citrate: an investigation into its application for surface cleaning ». In Hackney Stephen, Townsend Joyce, Eastaugh Nick (éd.) et Todd Victoria (prod.). *Dirt and Pictures Separated*. The United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London, January 1990.
- Comyn, 1997** : Comyn, John. *Adhesion Science*. RSC Paperbacks, The Royal Society of Chemistry, UK, 1997.
- Coppola et al., 2008** : Coppola Mara, Djabourov Madeleine et Ferrand Maria. « Phase Diagram of Gelatin Plasticized by Water and Glycerol ». In *Macromol. Symp.* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008, 273, p.56-65.
- Cowan, 1908** : Cowan Thomas William. *Wax craft, all about beeswax : its history, production, adulteration, and commercial value*. Cornell University Library, 1908.
- Cremonesi, 2011** : Cremonesi Paolo. *L'ambiente acquoso per la pittura di opere policrome*. Il prato casa editrice, Collana I Talenti, Metodologie, tecniche e formazione nel mondo del restauro, Padova, 2011.
- Daston, 2003** : Daston Lorraine. « The Glass Flowers ». In Daston Lorraine et te Heesen Anke. *Things that Talk*. PREPRINT 233, Max Planck Institute for the History of Science, 2003, p.5-32.
- Dauga, 1997** : Dauga Nadège. *Détermination du solvant approprié pour le retrait d'un film d'adhésif acrylique sur un papier : le scotch Magic Tape 810™*. Institut national du patrimoine INP, Mémoire de fin d'études, Paris, février 1997.
- de Carvalho et Grosso, 2006** : de Carvalho R.A., et Grosso C.R.F. « Properties of chemically modified gelatin films ». In *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 23(1), 2006, p.45–53.
- Delormois, 1771** : Delormois, M. *Le vernisseur parfait ou Manuel du vernisseur*. Chez Charles-Antoine Jombert père, Libraire du Roi, rue Dauphine, à l'Image Notre-Dame, Paris, 1771.
- Deutsche Botanische Gesellschaft, 1927** : « Sitzung vom 28. Oktober 1927 – Vorsitzender: Herr H. Miede ». *Berichte der Deutschen Botanische Gesellschaft XLV*, 1927, p.35.
- Down et al., 1996** : Down Jane L., MacDonald Maureen A., Tetreault Jean et Williams R. Scott. « Adhesive testing at the Canadian Conservation Institute - an evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives ». In *Studies in Conservation*, Volume 41, 1996, p.19-44.
- Drobnik et Stebel, 2018** : Drobnik Jacek et Stebel Adam. « *Brachythecium rutabulum*, A Neglected Medicinal Moss ». In *Human Ecology*, Springer, 46, 2018, p.133–141.
- Duconseille et al., 2015** : Duconseille Anne, Astruc Thierry, Quintana Naira, Meersman Filip et Sante-Lhoutellier Véronique. « Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review ». In *Food Hydrocolloids*, Vol. 43, 2015, p.360-376.

- Duconseille et al., 2016** : Duconseille Anne, Traikia Mounir, Lagrée Marie, Jousse Cyril, Pagès Guilhem, Gatellier Philippe, Astruc Thierry et Santé-Lhoutellier Veronique. « The impact of processing and aging on the oxidative potential, molecular structure and dissolution of gelatin ». In *Food Hydrocolloids*, xxx, 2016, p.1-13.
- Duconseille et al., 2017** : Duconseille Anne, Wien Frank, Audonnet Fabrice, Traore Amidou, Refregiers Matthieu, Astruc Thierry, et Santé-Lhoutellier Veronique. « The effect of origin of the gelatine and ageing on the secondary structure and water dissolution ». In *Food Hydrocolloids*, Vol. 66, 2017, p.378-388.
- Echner, 2018** : Echner Julia. *Die Blütenmodelle der Firma Robert Brendel aus der Lehrsammlung des Instituts für Spezielle Botanik der Friedrich-Schiller-Universität Jena - Bestands- und Zustandserfassung, Erstellen eines Maßnahmenkonzepts*. Master-Thesis, non-publié, FR Konservierung und Restaurierung FH Erfurt, 2018.
- Eidam, 1885** : Eduard Eidam. *Erläuterungen Brendel'scher Modelle*. Gehr. Unger, Berlin, 1885.
- Eluk, 2006** : Eluk Dafna. *Modelado Reocinético de la Maduración de Soluciones de Gelatina en Flujo de Corte*. Travail de Diplôme, Magíster en Ciencias y Tecnología de los Alimentos, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA, Argentine, 2006.
- Feller, 1994** : Feller Robert L. *Accelerated Aging – Photochemical and Thermal Aspects*. The Getty Conservation Institute, research in conservation, 1994.
- Fernbach Livingston, 1907** : Fernbach Livingston, Robert. *Glues and gelatine; a practical treatise on the methods of testing and use*. D. Van Nostrand company, New York, 1907.
- Fiorini et al., 2005** : Fiorini Graziana, Maekawa Luana et Stiberc Peter. « La Collezione Brendel di modelli di fiori et altri organi vegetali del dipartimento di biologia vegatale dell'università degli studi di Firenze ». In *Museologia scientifica*, 22(2), 2005 (2007), p. 249-273.
- Fiorini et al., 2008** : Fiorini Graziana, Maekawa Luana et Stiberc Peter. *Save the Plants : Conservation of Brendel Anatomical Botany Models*. The Book and Paper Group Annual 27, 2008, p. 35-45.
- Fiorini et Menicagli, 2006** : Fiorini Graziana et Elia Menicagli. *L'antica Collezione Brendel di modelli di fiori ed altri organi vegetali, 100 anni per la didattica*. Poster, Atti 16° Congresso dell Associazione Nazionale Musei Scientifici, 22-25 novembre 2006, Prato.
- Frahm, 2006** : Frahm Jan-Peter. *Moose – Eine Einführung*. Weissdorn-Verlag, Jena, 2006.
- Gallenmüller et al., 2018** : Gallenmüller F, Langer M, Poppinga S, Kassemeyer H-H, Speck T. « Spore liberation in mosses revisited ». In *AoB PLANTS*, 10, 2018.
- Genty-Vincent et al., 2018** : A. Genty-Vincent, P. Baglioni, M. Eveno, G. Bastian, J. Uziel, N. Lubin Germain, M. Menu. « Les chancis des peintures de chevalet : étude des traitements de restauration actuels et proposition d'une alternative innovante ». In *Technè*, n° 46, 2018, p.90-95.

- Gerberich et Seaman, 2013** : Gerberich H. Robert et Seaman George C. *Formaldehyde*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc. 2013.
- Gettens et Stout, 1966** : Gettens Rutherford et Stout George. *Painting Materials – A short encyclopedia*. Dover Publications, Inc. New-York, 1966.
- Gold et al., 1997** : Gold, T.B., Buice, R.G., Lodder, R.A. et Digenis G.A. « Determination of Extent of Formaldehyde-Induced Crosslinking in Hard Gelatin Capsules by Near-Infrared Spectrophotometry ». In *Pharmaceutical Research*, Vol. 14, 1997, p. 1046–1050.
- Gonzalez et Wess, 2013** : Gonzalez Lee et Wess Tim. « The importance of understanding the terminology of collagen and gelatine in the study of parchment ». In *Journal of the Institute of Conservation*, Vol. 36, No. 2, 2013, p.104–108.
- Goss, 2010** : Goss Bob. *Practical guide to adhesive bonding of small engineering plastic and rubber parts*. Editions iSmithers, Shawbury, 2010.
- Gouriveau, 2016** : Gouriveau Marion. « La fabrication des modèles anatomiques en papier-mâché du docteur Auzoux ». In Laroque Claude et Lee Valérie (dir.), *Papiers en volume, traditions asiatiques et occidentales*, actes de la journée d'étude du 4 novembre 2016, site de l'HiCSA, p. 76-100.
- Greene, 1960** : Greene S. W. « The Maturation Cycle, or the Stages of Development of Gametangia and Capsules in Mosses ». In *Transactions of the British Bryological Society*, Volume 3, Issue 5, Department of Botany, Birmingham University, 1960, p.736-745.
- Hackethal, 2008** : Hackethal Sabine. « The Blaschka models of the Humboldt University of Berlin and their historical context ». In *Historical Biology*, Vol. 20, No. 1, March 2008, p.19–28.
- Hofstätter, 2020 [En ligne]** : Hofstätter Markus. « The Beauty of Making Sandarac Varnish ». In *Hofstätter Markus Photography* [En ligne], vidéo mise en ligne 25 févr. 2020 [consulté le 22.05.2021]. <https://blog.markus-hofstaetter.at/2020/02/the-beauty-of-making-sandarac-varnish/#ensandarac>
- Honegger, 2018** : Honegger, Rosmarie. *Vom Zauber einer verborgenen Schatzkammer*. Botanisches Museum der Universität Zürich, Institut für Pflanzen- und Mikrobiologie, Zürich, 2018.
- Honegger, 2018** : Honegger, Rosmarie. *Vom Zauber einer verborgenen Schatzkammer*. Botanisches Museum der Universität Zürich, Broschüre, Zurich, 2018.
- Johansson et al., 2016** : Johansson Victor, Lönnell Niklas, Rannik Üllar, Sundberg Sebastian et Hylander Kristoffer. « Air humidity thresholds trigger active moss spore release to extend dispersal in space and time ». In *Functional Ecology*, 30, 2016, p.1196–1204.
- Jones, 1895** : Jones Henry Chapman. *An introduction to the science & practice of photography*. London, 1895.



- Josef Max et al., 1870** : Josef Max und Komp. *Sieben und vierzigster Jahres-Bericht der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur – Enthält den Generalbericht über die Arbeiten und Veränderungen der Gesellschaft im Jahre 1869*. Jahresbericht, Uebersicht der Arbeiten und Veränderungen der Schlesischen Gesellschaft für Vaterländische Kultur, v.47, Breslau, 1870.
- Just, 1885** : Just, E. A. *Der Positivprocess auf Gelatine-Emulsionspapier mit besonderer Berücksichtigung der Chlorsilber-Gelatine sowie der Verwendung des Exponir-Automaten*. Schlotterhoss, R. Exponir-Automat, Im Selbstverlage des Verfassers, Wien, 1885.
- Karim et Bhat, 2009** : Karim A.A. et Bhat Rajeev. « Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins ». In *Food Hydrocolloids*, 23, 2009, p.563–576.
- Keenan, 2012** : Keenan, TR. « Gelatin ». In *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, Elsevier B.V, Volume 10, 2012, p.237-247.
- Kronsteiner, 2009** : Kronsteiner, Olga. « Robert und Reinhold Brendel. Dreidimensionale Blütenlese ». In Weber-Unger Simon (éd.), *Der naturwissenschaftliche Blick. Fotografie, Zeichnung und Modell im 19. Jahrhundert*, Wissenschaftliches Kabinett, Vienne, 2009, p. 42-51.
- Lazzari et Chiantore, 2000** : Lazzari M. et Chiantore O. « Thermal-ageing of paraloid acrylic protective polymers ». In *Polymer*, Vol. 41, 2000, p.6447–6455.
- Lea, 1868** : Lea Mathew Carey. *A manual of photography: intended as a text book for beginners and a book of reference for advanced photographers*. Benerman & Wilson, Philadelphia, 1868.
- Levillain et al., 2002** : Levillain Agnès (coord.). La conservation des collections - Fiches pratiques à l'usage des personnels des musées. Musée des techniques et cultures comtoises, Office de Coopération et d'Information Muséographiques OCIM, Salins-les-Bains et Dijon, 2002.
- Markert, 2012 [En ligne]** : Markert Michael. « Modell für den Biologieunterricht - Aus der Sammlung Biologiedidaktik: Modell der Bohnenkeimung von Osterloh ». In *Uni-Jena* [En ligne], Friedrich-Schiller-Universität, Jena, mis en ligne en février 2012 [Consulté le 15.05.2021]. <https://www4.uni-jena.de/-p-286721.html>
- Marouf et Tremblin 2016** : Marouf Abderrazak et Tremblin Gérard. *Abrégé de Biochimie Appliquée*. Nouvelle édition. Grenoble Sciences, 2016.
- Masschelein-Kleiner, 1995** : Masschelein-Kleiner, Liliane. *Ancient Binding Media, Varnishes and Adhesives*. ICCROM, Rome, 1995.
- May, 1903** : Franz. « Methodik der Naturkunde – auf Grund der Reformbestrebung der Gegenwart – mit Anschluß von mehreren Lehrproben ». Kgl. Kreisschulinspektor, Verlag Schwann, Düsseldorf, 1903.
- Mayer, 1991** : Mayer Ralph. *The Artist's Handbook of Materials & Techniques*. Fifth edition, Revised and Expanded by Steven Sheenan, Faber and Faber, London – Boston, 1991.

- Mayoni et González, 2020** : Mayoni María Gabriela et González Carlos. CATÁLOGO DE MODELOS BOTÁNICOS ROBERT BRENDEL: COLECCIÓN HISTÓRICA DEL COLEGIO NACIONAL DE BUENOS AIRES - Catalog of Botanical model of Robert Brendel: Historical Collection of the Buenos Aires National School. In HISTORIA NATURAL, Série 3, Vol. 10 (1), 2020, p.63-90.
- Mayoni, 2016** : Mayoni, María Gabriela. *Plantas de papier-mâché. Estudios técnicos y conservación de la colección Brendel del Colegio Nacional de Buenos Aires. Argentina.* Grupo Español de Conservation, 2016, p. 6-20.
- McFarland, 1899** : McFarland, F.M. « Formalin as a Preservative for Botanical Specimens ». In *Journal of applied microscopy*, Vol. 2, No 10, 1899, p.537-542
- Mcintosh, 1911** : McIntosh, John Geddes. *The Manufacture Of Varnishes And Kindred Industries Vol.3.* SCOTT, GREENWOOD & SON, London, 1911
- Mildwaters et Measday, 2018** : Mildwaters Nyssa, et Measday Danielle. Silicone-Based Solvents and Emulsions for Cleaning Natural Science Specimens: Case Studies from the Otago Museum and Museums Victoria. Poster. The 33rd annual meeting of the Society for the Preservation of Natural History Collections, Dunedin, New Zealand, August 25 – September 1, 2018.
- Mills et White, 1994** : Mills John S. et White Raymond. The Organic Chemistry of Museum Objects – Second Edition. Routledge Taylor & Francis Group, London and New-York, 1994.
- MMAQ, 2009** : Lexique Sculpture. Maison des Métiers d'Art de Québec MMAQ, Mai 2009.  
[http://intranet.metierdart.com/documents/lexique\\_sculpture\\_mai\\_2009.pdf](http://intranet.metierdart.com/documents/lexique_sculpture_mai_2009.pdf)
- Nepi, 2009** : Nepi Chiara. « I modelli in cera delle piante e delle tavole didattiche - The wax models and didactic boards ». In Mauro Raffaelli (éd.). *Il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze: Le collezioni botaniche / The Museum of Natural History of the University of Florence: The Botanical Collections.* Firenze University Press, 2009.
- Nijhoff Asser et al., 2008** : Nijhoff Asser Elizabet, Reissland Birgit, JW Grob Bart et Goetz Eva. *Lost fingers, scurfy skin and corroding veins – conservation of anatomical papier-mâché models by Dr Auzoux.* ICOM Committee for Conservation, Graphic Documents, Vol. 1, 2008, p.285-292.
- Olry, 2000** : Olry, Regis. *Wax, Wooden, Ivory, Cardboard, Bronze, Fabric, Plaster, Rubber and Plastic Anatomical Models: Praiseworthy Precursors of Plastinated Specimens.* J Int Soc Plastination, Vol 15, No 1, 2000, p.30-35.
- Pat. AT1307, 1900** : Vereinigte Gelatine-Gelatoidfolien- und Flitter-Fabriken A.-G. in Hanau (Deutsches Reich). Verfahren zur Herstellung künstlicher Blätter. Kais. Königl. Patentamt, Pat. AT1307, Autriche, 1900

- Pat. AT8107, 1902** : Vereinigte Gelatine-, Gelatoidfolien- & Flitter-Fabriken A.-G. in Hanau a. M. Verfahren zur Herstellung von Röhren und anderen Hohlkörper aus Gelatine. Kais. Königl. Patentamt, Pat. AT8107, Autriche, 1902.
- Pat. FR1194285, 1959** : Gevaert Photo Producten N.V., résident en Belegique. Durcissement de gélatine et son application dans le matériel photographique. Brevet d'invention, ministère de l'Industrie et du Commerce, Direction de la Propriété Industrielle, Pat. FR1194285, France, 1959.
- Pat. FR437876, 1911** : Société Erst Offenbacher Gelatine-Folien- und Flitter-Fabrik Kock & Liebmann résidant en Allemagne. Procédé pour la production d'objets en gélatine argentés. Office National de la propriété industrielle, Pat. FR437876, France, 1911.
- Pat. FR446549, 1912** : Devos Albert-Désiré résidant aux Pays-Bas. Procédé d'épuration et de décoloration des liquides organiques organique. Office National de la propriété industrielle, Pat. FR446549, France, 1912
- Pat. FR587637, 1923** : Soulage Ferdinand-Pierre résident en France. Dispositif pour le moulage des tubes et étuis en gélatine et autres matières. Office National de la propriété industrielle, Pat. FR587637, France, 1925
- Pat. FR592415, 1925** : Riedweg Eugène. Matière plastique à base de colle de gélatine pour moulage et procédé d'emploi. Brevet d'invention, ministère du Commerce et de l'Industrie, Direction de la Propriété Intellectuelle, Pat. FR592415, France, 1925.
- Pat. GB907675A, 1960** : Lemmerling Jose Theres et Vrancken Nicolas. Gelatine Hardening Method and Photographic Material Prepared with the Aid Therof. The Patent Office London, Pat. GB907675A, Grande-Bretagne, 1960.
- Pat. US1289053, 1918** : Mumford Russell Wiliam. Making glue and the like. United States Patent Office, Pat. US1289053, USA, 1918
- Pat. US1347226, 1920** : Atkinson McQuitty Robert. Method of manufacturing sheets of edible gelatin. United States Patent Office, Pat. US1347226, USA, 1920
- Pat. US1516663, 1923** : Beveridge Wiliam Keir. Apparatus for drying sheets of edible gelatin. United States Patent Office, Pat. US1516663, USA, 1923
- Pat. US1727611, 1929** : Edouard Kratz. Method of forming gelatin sheets and surfaces therfor. United States Patent Office, Pat. US1727611, USA, 1929.
- Pat. US1866410, 1932** : Edouard Kratz. Transparent sheet material. United States Patent Office, Pat. US1866410, USA, 1932
- Pat. US1893172, 1933** : Edouard Kratz. Transparent sheet and process of manufacture. United States Patent Office, Pat. US1893172, USA, 1933

- Pat. US2345674, 1938** : Kath Alfred W. Method of forming gelatine sheets. United States Patent Office, Pat. US2345674, USA, 1938
- Pat. US4084, 1845** : Cooper Peter. Improvement in the preparation of portable gelatine. United States Patent Office, Pat. US4084, USA, 1845
- Pat. US540538, 1895** : Colton Arthur. Machine for dipping pills. United States Patent Office, Pat. US540538, USA, 1895
- Pat. US961936, 1909** : Colton Arthur. Machine for making capsules. United States Patent Office, Pat. US961936, USA, 1909
- Pat. US9877, 1853** : James David A. Improvement in processes for making glue. United States Patent Office, Pat. US9877, USA, 1853
- Piyawattanametha *et al.*, 2018** : Piyawattanametha Wibool, Park Yong-Hwa et Zappe Hans (Editors). *MOEMS and miniaturized systems XVII*. 30-31 January 2018, International Conference on Micro Opto Electro Mechanical Systems, San Francisco, Calif., Bellingham Washington.
- Plesters, 1966** : Plesters, Joyce. « 2. Ultramarine Blue, Natural and Artificial ». In *Studies in Conservation*, Vol. 11, N°2, p. 62-75, 1966.
- Podczek et Jones, 2004** : Podczek Fridrun et Jones Brian E. *Pharmaceutical Capsules – Second Edition*. Pharmaceutical Press, London & Grayslake, 2004.
- Poller, 1931** : Poller Alphons. *Das Pollersche Verfahren zum Abformen an Lebenden und Toten sowie an Gegenständen*. Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien, 1931.
- Portier, 2016** : Portier François. *Biomatériaux collagène / gélatine : des phases cristal-liquides aux matériaux hybrides*. Thèse de doctorat de Physique et Chimie des Matériaux, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2016.
- Pouradier, 1954** : Pouradier J. « Viscosimetric study of the hardening of gelatin by chrome alum ». In *Discussions of the Faraday Society*, Volume 16, 1954, p.180-185.
- Reichenbach, 1834** : Reichenbach Ludwig. *Icones Florae Germanicae et Helveticae*. Volume 3, Lipsiae Sumptibus Ambrosii Abel., 1848.
- Reiling, 2003** : Reiling, Henri. « Beter dan de natuur ». In Jan Brand et Alex de Vries (ed.) *NEO*, catalogue d'exposition, Centraal Museum, Amsterdam, 2003, p. 221-235.
- Reyne, 1975** : Reyne M. *Les plastiques – Guide pratique de l'utilisateur*. 2<sup>e</sup> édition Paris, Eyrolles Editeur, 1975.
- Riffault *et al.*, 1862** : Riffault Jean, Vergnaud Amand-Denis et Toussaint Claude-Jacques. *Nouveau manuel complet du fabricant de couleurs et de vernis - Tome 2*. Roret, Paris, 1862.



- Rogovina et al., 1971** : Rogovina L.Z., Slonimsky G.L., Aksenova L.L. « Changements dans les propriétés des gelées de gélatine lors du remplacement de l'eau par du formaldéhyde et de la glycérine » In *Vysokomolekulyarnye soedineniya*, Serie A, Volume 13, Issue 7, 1971, p. 1451-1455.
- Sanders, 2011** : Sanders, Dawn. « THE DEATH AND LIFE OF THE PLANT SPECIMEN ». In Franz Steiner-Verlag (publ.) *Learning by Doing: Instruments in the History of Science Teaching*, Natural History Museum, UK, 2011.
- Sandu et al., 2012** : Irina Crina Anca Sandu, Stephan Schäfer, Donata Magrini, Susanna Bracci et Cecilia A. Roque. « Cross-Section and Staining-Based Techniques for Investigating Organic Materials in Painted and Polychrome Works of Art: A Review ». In *Microscopy and Microanalysis*, Vol. 18, 2012, p.860–875.
- Satas, 1989** : Satas, Donatas (éd.). *Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology – Second Edition*. Van Nostrand Reinhold, New-York, 1989.
- Schellmann, 2007** : Schellmann Nanke C. « Animal glues: a review of their key properties relevant to conservation ». In *Studies in Conservation*, Reviews in conservation, N°8, 2007, p.55-66.
- Schmidt-Bachem, 2011** : Schmidt-Bachem, Heinz. *Aus Papier : Eine Kultur- und Wirtschaftsgeschichte der Papier verarbeitenden Industrie in Deutschland*. Berlin Boston : De Gruyter Saur, 2011.
- Seaman, 1895** : Seaman Wm. H. *Some Notes on Formalin*. Proceedings of the American Microscopical Society, 01.07.1895.
- Sheppard, 1923** : Sheppard Samuel Edward. *Gelatin in photography*. D. Van Nostrand ; Rochester, N.Y. : Eastman, New-York, 1923.
- Stavroudis, 2012** : Stavroudis Chris. « More from CAPS3: Surfactants, silicone-based solvents, and microemulsions ». In *WAAC Newsletter*, Vol. 34, N°3, Septembre 2012, p. 24-27.
- Stavroudis, 2015** : Stavroudis Chris. « Silicone-based solvents in conservation. As free solvents and components of gel systems and microemulsion ». In Selva Bonino, Valentina Emanuela (ed.). *Atti del 7° Congresso Internazionale colore e conservazione*. Politecnico di Milano, 13-14 novembre 2015.
- Stavroudis, 2017** : Stavroudis Chris. « Gels: evolution in practice ». In Angelova Lora V., Ormsby Bronwyn, Townsend Joyce H. et Wolbers Richard (éd.). *Gels in the Conservation of Art*. Archetype Publications, London, 2017.
- Svojtko, 2015 [En ligne]** : Svojtko, Matthias. « Modell einer Sporenkapsel des Mooses Brachythecium rutabulum ». In *Universität Wien* [En ligne], Objekt des Monats, publié en 2015 [consulté le 13.04.2021]. [https://bibliothek.univie.ac.at/sammlungen/objekt\\_des\\_monats/011258.html](https://bibliothek.univie.ac.at/sammlungen/objekt_des_monats/011258.html)

- Tessier, 2020a** : Tessier Florence. « Les herbiers artificiels de Marie Fortier : un type méconnu de modèles botaniques ». In Barjot Dominique (dir.). *Transmission et circulation des savoirs scientifiques et techniques*. Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2020.
- Tessier, 2020a** : Tessier, Florence. *Modèles botaniques, des modèles scientifiques entre art et science*. ISTE Ltd., OpenScience, London, 2020.
- Torraca, 1990** : Torraca, Giorgio. *Solubility and solvents for conservation problems*. Fourth Edition, ICCROM, 1990.
- Towler, 1864** : Towler, John. *The silver sunbeam: a practical and theoretical textbook on sun drawing and photographic printing*. J. H. Ladd, New-York, 1864.
- Tschirch, 1885** : Alexander Tschirch. *ERLÄUTERUNGEN ZU DEN BOTANISCHEN MODELLEN VON ROBERT BRENDEL IN BERLIN W., 101 KURFÜRSTENDAMM*. Gehr. Unger, Berlin, 1885.
- Wolbers, 2003** : Wolbers Richard. *Cleaning Painted Surfaces – Aqueous Methods*. Archetype Publications Ltd, London, 2000, reprinted 2003.
- Youn Chung et al., 2017** : Youn Chung Jae, Ormsby Bronwyn, Lee Judith, Burnstock Aviva et van den Berg Klaas Jan. *An investigation of options for surface cleaning unvarnished watersensitive oil paints based on recent developments for acrylic paints*. ICOM-CC 18th Triennial Conference, 2017, Copenhagen.

## 7 Annexes

### 7.1 Glossaire

**Effet tack** : Habilité [d'un adhésif] à créer immédiatement une adhérence sur une surface avec une pression légère<sup>202</sup>.

**Évent n.m.** : Petite ouverture, de forme ronde ou carrée, percée dans un moule ou une épreuve et destinée à permettre à l'air de s'échapper<sup>203</sup>.

**Gel n.m.** : Terme générique pour une dispersion colloïdale à haute viscosité. Les termes « gel » et « sol » désignent les dispersion aux deux extrêmes de la concentration colloïdale : les sols sont à concentration très basse et possèdent des caractéristiques proches d'un liquide, tandis que les gels ont une concentration colloïdale très haute, sont rigide et ne s'écoulent pas<sup>204</sup>.

**Opercule n.m.** : Processus ou partie du corps qui suggère un couvercle : a. une plaque cornée ou lamellaire sur la face dorsale postérieure du pied chez de nombreux mollusques gastéropodes, qui ferme la coquille lorsque l'animal est rétracté. b : le revêtement des branchies d'un poisson. c. : un capuchon ou un volet de couverture (comme dans une capsule de mousse)<sup>205</sup>.

**Péristome n.m.** : La frange de dents entourant l'orifice d'une capsule de mousse ou la région autour de la bouche chez divers invertébrés<sup>206</sup>.

**Polarité n.f.** : Une liaison covalente est polaire, si la différence des électronégativités des deux atomes formant la liaison n'est pas nulle. L'atome le plus électronégatif d'une liaison polaire attire plutôt vers lui les électrons de la liaison covalente. Il en résulte l'apparition de charges dans une telle molécule. Puisque les deux électrons de la liaison covalente se trouvent plutôt du côté de l'atome le plus électronégatif, celui-ci a gagné des électrons, il est chargé négativement. Cependant, il n'a pas gagné une charge élémentaire négative entière, puisqu'il n'arrive pas à capter entièrement l'électron supplémentaire<sup>207</sup>.

**Sol n.m.** : voir « Gel ».

---

<sup>202</sup> Comyn, 1997, p.122

<sup>203</sup> MMAQ, 2009

<sup>204</sup> Angelova *et al.*, 2017, p.386

<sup>205</sup> Merriam-webster.com

<sup>206</sup> Merriam-webster.com

<sup>207</sup> [https://www.lhce.lu/Chimie/Publications/PDF/2\\_polarite.pdf](https://www.lhce.lu/Chimie/Publications/PDF/2_polarite.pdf)

## 7.2 Liste des figures et tableaux

### 7.2.1 Figures

Fig. 1 Jardin botanique de Zurich ©Botanica Suisse .....	12
Fig. 2 Affiche de l'exposition « Fleurs des Pharaons » ©Laténium.....	13
Fig. 3 Exemples de collections du Botanisches Museum UZH : Boîtes didactiques de fibres filées, collections de graines et spécimens en fluide et modèles pédagogiques ©Honegger 2018/BOTMUS .....	13
Fig. 4 Auditoire de botanique Université de Namur, carte, Jean Lemaire, 1948 ©Bogaert-Damin 2007 .....	14
Fig. 5 Herbier XVIIe siècle ©Université Lorraine .....	15
Fig. 6 Spécimen en fluide dégradé ©M.Dangeon 2016 .....	15
Fig. 7 Viola Tricolor : Planche anatomique ©Reichenbach 1834 et modèle anatomique Brendel ©Alice Gerber/BOTMUS .....	15
Fig. 8 Modèle Brendel démontable Aristolochia (Nr 102) ©Alice Gerber/BOTMUS .....	16
Fig. 9 Modèle anatomique de femme enceinte (20 cm), ivoire, Allemagne, 1600-1700 ©Science Museum Group UK.....	16
Fig. 10 « Fécondation de citrouille » et « Strelitzia reginae », modèles en cire, vers 1800, Università degli Studi di Firenze ©Nepi 2009 .....	17
Fig. 11 Collection de modèles en verre Blashka, fin XIXe, Université de Harvard, Cambridge ©Harvard University .....	18
Fig. 12 Modèle de fleur de Chrysanthème, Auzoux, XIXe, Musée National de l'Éducation ©Gouriveau 2016 .....	19
Fig. 13 Modèles Brendel de la collection du Botmus ©Ruedi Habegger/BOTMUS.....	19
Fig. 14 Modèle PhyWe et étiquette ©Alice Gerber/BOTMUS.....	20
Fig. 15 Modèle Drosera rotundifolia Osterloh, XXe ©Parakenings 2013 .....	21
Fig. 16 Modèle d'invertébrés en gélatine Aurelia aurita Osterloh, vers 1900, Institute of Biology University of Leipzig ©Hackethal 2008.....	21
Fig. 17 Marie Fortier, Herbier artificiel, fin XIXe, Textile, matériaux divers. Instituto Cardenal Cisneros, Madrid ©Tessier 2020 .....	21
Fig. 18 Dessin présentant divers modèles et leur numéro dans un catalogue Brendel ©Brendel 1913-1914.....	22
Fig. 19 Iris germanica (Nr 78) ©Université de Namur.....	23
Fig. 20 Lilium martagon (Nr 75) ©Université de Namur.....	23
Fig. 21 Catalogues Brendel : 1900-1901, 1913-1914 et 1930 ©Brendel.....	24
Fig. 22 Représentation chronologique de la production Brendel dans leur époque .....	26
Fig. 23 Pourcentage de modèles Brendel en gélatine conservés dans les collections suisses étudiées/recensées .....	27
Fig. 24 Modèles exposés au Liverpool National Museum et Projet « Brendel Plant Model Survey » ©NatSCA.....	28
Fig. 25 Modèle Brendel vendu aux enchères à Vienne ©Dorotheum.....	28
Fig. 26 Réaction de condensation lors de la formation des liaisons peptidiques ©Wikipédia.....	29
Fig. 27 Structure moléculaire ordonnée du collagène et désordonné de la gélatine ©Chembam.....	30
Fig. 28 Version schématique du système gel-sol* de la gélatine ©Chembam .....	32
Fig. 29 Création d'un masque prosthétique en gélatine ©TheProstheticsEvent 2019.....	34
Fig. 30 Visite à la Kantonsschule Küsnacht .....	35
Fig. 31 Pinus Silvestris (Nr 156) Botmus .....	36
Fig. 32 Spirogyra (Nr 205) Botmus .....	36
Fig. 33 Aspidium (Nr 8) Küsnacht.....	36
Fig. 34 Equisetum arvense (Nr 5) Küsnacht.....	36
Fig. 35 Brachythecium rutabulum (Nr 1) Botmus.....	36
Fig. 36 Brachythecium rutabulum (Nr 1) Rämibühl.....	36
Fig. 37 Equisetum arvense (Nr 4) Botmus.....	37



Fig. 38 Equisetum arvense (Nr 4) Burgdorf .....	37
Fig. 39 Equisetum arvense (Nr 4) Küsnacht.....	37
Fig. 40 Mouche (ailes en gélatine) Aristolochia (Nr 102) .....	37
Fig. 41 Textile avec gélatine, Pinus Silvestris (Nr 156) .....	37
Fig. 42 Aspidium (Nr 7) Küsnacht.....	38
Fig. 43 Aspidium (Nr 8) Küsnacht.....	38
Fig. 44 Chara (Nr 9) Aarau .....	38
Fig. 45 Chara (Nr 9) Aarau .....	38
Fig. 46 Campylotropes Ovulum (Nr 166) Botmus .....	38
Fig. 47 Tretradenbildung (Nr 155) Botmus .....	38
Fig. 48 Gélatine structurale, détail Pinus silvestris (Nr 154), lumière visible et fluorescence UV (360 nm) .....	39
Fig. 49 Versions anciennes en papier-mâché Equisetum ©Arus 2017 .....	39
Fig. 50 Versions en gélatine Equisetum arvense (Nr 3) .....	39
Fig. 51 Illustration de modèles en gélatine dans les catalogues ©Brendel 1900-1901 .....	40
Fig. 52 Mise en évidence d'un revêtement avec de la gomme, résine et gélatine sur un modèle Blaschka Aulosphaera elegantissima grâce à de la fluorescence UV (365 nm) © Brierley 2009 .....	41
Fig. 53 Echantillon Ea.1.1 prélevé sur Equisetum arvense (Nr 4) Botmus.....	44
Fig. 54 Ea.1.1 : Vue en coupe, lumière polarisée .....	44
Fig. 55 Ea.1.1 : Vue en coupe, UV 340-380.....	44
Fig. 56 Particules d'ultramarine bleu dans l'échantillon Ea.1.1, vue en coupe, fond noir.....	45
Fig. 57 Mélange bleu de Prusse et jaune de chrome pour illustrer les chloroplastes Equisetum (Nr 4) Botmus .....	46
Fig. 58 Différences de détails peints sur deux Equisetum (Nr 4) .....	47
Fig. 59 Peinture transparente Pisum (Nr 145).....	47
Fig. 60 Vernis sur gélatine Anatropes Ovulum Nr 165 .....	47
Fig. 61 Equisetum arvense (Nr 4) Burgdorf, UV 360nm.....	48
Fig. 62 Pinus Silvestris (Nr 156), Botmus, UV 360nm.....	48
Fig. 63 Exemples de modèles de Brendel majoritairement en papier-mâché.....	49
Fig. 64 Détails papier-mâché Brendel ©Mayoni 2016 .....	49
Fig. 65 Rhizoïdes Equisetum (Nr 4) Botmus et détail textile rigidifiés en tubes.....	50
Fig. 66 Détail de l'utilisation de textile dans le modèle Aspidium (Nr 8).....	50
Fig. 67 Modèle Claviceps purpurea (Nr 10g) en verre .....	51
Fig. 68 Modèle Salix alba (Nr 45) Botmus, avec structures métalliques internes visibles sous rayons X.....	51
Fig. 69 Détail modèle Marchantia polymorpha (Nr 140) Botmus.....	52
Fig. 70 Détail modèle Corylus (Nr 53) .....	52
Fig. 71 Différents socles Brendel .....	52
Fig. 72 Différentes étiquettes Brendel .....	52
Fig. 73 Soclage sous cadre du modèle en coupe Pisum (Nr 145).....	53
Fig. 74 Spirogyra (Nr 205) Botmus .....	53
Fig. 75 Translucidité du modèle Aspidium (Nr 8).....	54
Fig. 76 Différentes épaisseurs de membranes, Pinus silvestris (Nr 190) Botmus .....	55
Fig. 77 Fine membrane, Brachythecium rutabulum (Nr) Botmus .....	55
Fig. 78 Impuretés dans la gélatine, Equisetum arvense (Nr 4) Botmus .....	55
Fig. 79 Les deux surfaces et les reliefs, Equisetum arvense (Nr 4) Botmus.....	56
Fig. 80 Différences moule en positif et moule en négatif.....	56
Fig. 81 Capuchon Brachythecium (Nr 1) Botmus, face et côté, une seule ligne d'assemblage (pointillé blanc).....	57

Fig. 82 Equisetum (Nr 5), forme complexe avec de nombreuses parties assemblées et de fortes courbures .....	57
Fig. 83 Equisetum (Nr 5) Küsnacht, détail bulle coupée en deux par une ligne d'assemblage .....	58
Fig. 84 Schéma du moulage par thermoformage.....	58
Fig. 85 Schéma du moulage par trempage .....	58
Fig. 86 Déformation de la ligne de découpe Equisetum (Nr 5) .....	59
Fig. 87 Bord dentelé du capuchon, Brachythecium (Nr 1), fentes de découpe .....	59
Fig. 88 Ligne de découpe de la même partie pour les modèles d'Equisetum arvense (Nr 4) .....	59
Fig. 89 Capeau Brachythecium (Nr 1) Botmus, la ligne d'assemblage de la membrane se superpose .....	60
Fig. 90 Jonction bord à bord, Equisetum (Nr 4) Burgdorf .....	60
Fig. 91 Capuchon Brachythecium « patches » sur la ligne d'assemblage .....	60
Fig. 92 Jonction entre l'embryon et le corps, Equisetum (Nr 4) Botmus .....	61
Fig. 93 Sphère ajoutées Equisetum (Nr 5).....	61
Fig. 94 L'emplacement de ce rhizoïde était prévu (Equisetum (Nr 5)).....	61
Fig. 95 La disposition des spores sur les modèles de Brachythecium (Nr 1) est aléatoire .....	61
Fig. 96 Seules les faces externes sont vernies, Equisetum (Nr 4) Botmus .....	62
Fig. 97 Zone difficile à vernir, Equisetum (Nr 4) Burgdorf.....	62
Fig. 98 Pièce type A : Equisetum (Nr 5) .....	62
Fig. 99 Pièce type B : Capuchon de Brachythecium (Nr 1).....	62
Fig. 100 Pièce type C : Archégonia d'Equisetum (Nr 4) .....	62
Fig. 101 Equisetum arvense (Nr 4) et les différentes parties qu'il illustre.....	63
Fig. 102 Schéma des différentes parties qui ont été moulés/fabriquées pour le modèle Equisetum (Nr 4) .....	64
Fig. 103 Découpe de la pièce de base (corps et 4 lamellae supérieures) en six parties différentes : face du corps (en bleu), le devant des lamellae et le dos du corps (en orange) et le dos des 4 lamellae (en blanc) .....	64
Fig. 104 Lignes de découpe puis d'assemblage .....	65
Fig. 105 Illustration simplifiée de la découpe et du démoulage d'une pièce avec une lamellae .....	65
Fig. 106 Columella de Brachythecium (Nr 1) Botmus et cassures autour de la jonction avec les parois.....	65
Fig. 107 Columella de face .....	66
Fig. 108 Columella de dos avec ligne d'assemblage, lumière visible et rayonnement UV (360nm).....	66
Fig. 109 Détail ligne d'assemblage columella, avec repère en zigzag .....	66
Fig. 110 Lignes de découpe du sommet de la columella visible (trait plein) et cachées (pointillé) à l'oeil nu.....	67
Fig. 111 Marques à la base du cou des deux columella.....	67
Fig. 112 Ligne d'assemblage superposée modèle Aspidium (Nr 8).....	68
Fig. 113 Nervures imprécises capuchon Brachythecium (Nr1).....	68
Fig. 114 Spores Brachythecium (Nr 1) .....	68
Fig. 115 Sphères Aspidium (Nr 8).....	68
Fig. 116 Œuf Marchantia Polymorpha (Nr 141) .....	68
Fig. 117 Archégonia d'Equisetum (Nr 4) Burgdorf .....	69
Fig. 118 Appenices sous le corps d'Aspidium (Nr 7).....	69
Fig. 119 Mise en œuvre et résultat du test « Concentration et qualité de la gélatine » .....	71
Fig. 120 Théorie de mise en œuvre par trempage.....	72
Fig. 121 Illustrations des diverses étapes de l'essai de mise en œuvre .....	73
Fig. 122 Résultat d'un essai de mise en œuvre après collage des parties .....	74
Fig. 123 Etiquettes Brachythecium (Nr 1).....	77
Fig. 124 Mousse Brachythecium rutabulum et capusules surélevées ©Claire Halpin.....	78

Fig. 125 Vue sous microscope et en coupe d'une capsule ayant perdu son capuchon, couvercle et anneau. Avec les dents du péristome (ip et op), la parois de la capsule (cw) et la columella (co). ©Gallenmüller 2017 .....	78
Fig. 126 Mouvement du péristome selon l'humidité relative de l'air (HR) ©Johansson et al., 2016.....	79
Fig. 127 Le modèle démonté .....	79
Fig. 128 Démontage du modèle par étapes .....	80
Fig. 129 Image en rayonnement X du modèle de Brachythecium (Nr 1) et systèmes de verrouillage .....	80
Fig. 130 Vue de l'intérieur du dessus de la capsule, avec fine membrane, dents en relief et épine en gélatine .....	81
Fig. 131 Vue de l'intérieur de la base de la capsule et du couvercle .....	82
Fig. 132 Vue sous rayonnement UV (360 nm) du capuchon .....	82
Fig. 133 Illustration des différentes pièces en gélatine (zones colorées) du modèle Brachythecium (Nr 1).....	82
Fig. 134 Encrassement dans la surface de gélatine vernie du capuchon.....	83
Fig. 135 Exemples de bulles ou de cristallisation orangée .....	83
Fig. 136 Ech. B.4.6 : particules d'ultramarine bleu dans la gélatine du Brachythecium.....	84
Fig. 137 Opacifications sur la surface interne du capuchon.....	84
Fig. 138 Base de la capsule et chapeau sous rayonnement UV .....	84
Fig. 139 Cassure à la base de la columella .....	85
Fig. 140 Cassures complètes et cassures fermées .....	85
Fig. 141 Différentes lignes de casse accidentées, avec délaminations, etc.....	85
Fig. 142 Fine membrane sur la parois du dessus de la capsule (lumière visible et UV (360nm)) .....	86
Fig. 143 Spores collées avec de la colle de peau et échantillon B.1.1. de cette colle.....	86
Fig. 144 Cartographie d'une partie des altérations sur le capuchon .....	87
Fig. 145 Gélatine vernie avec réparations au ruban adhésif et anciens résidus (cerclé de blanc).....	87
Fig. 146 Trois différents colorations de la gélatine des modèles Brachythecium (Nr 1) .....	88
Fig. 147 Schéma de la composition de rubans adhésifs ©Germinario 2020 .....	90
Fig. 148 Différent utilisations et statuts des modèles en fonction de l'époque.....	91
Fig. 149 Modèles Brendel dans une armoire de l'université de Jena (DE) .....	91
Fig. 150 Exemple de dépoussiérage sur un autre modèle en gélatine (Equisetum Nr 4).....	93
Fig. 151 Différentes surfaces vernies .....	95
Fig. 152 Exemple de mesure avec du gel d'agarose .....	95
Fig. 153 Gel KSG 350 Z.....	98
Fig. 154 Comparaison KSG 350 Z et gel de Xanthane sur l'éprouvette-test en gélatine vernie vieillie.....	101
Fig. 155 Tests de nettoyage sur une zone encrassée du capuchon, comparaison méthode à base de solvants et méthodes aqueuses.....	102
Fig. 156 Capuchon du Brachythecium (Nr 1) avant intervention, profil et face.....	106
Fig. 157 Après la découpe, le bord du ruban est soulevé .....	107
Fig. 158 Retrait du support en tranchant la masse adhésive .....	107
Fig. 159 Résidus de masse adhésive après le retrait du support .....	108
Fig. 160 Fragment après retrait du support (résidus de masse adhésive).....	108
Fig. 161 Fragment après retrait des résidus de masse adhésive au KSG en émulsion avec des solvants .....	108
Fig. 162 Etapes du nettoyage au KSG.....	109
Fig. 163 Vérification de l'efficacité du nettoyage sur une serviette en papier blanc.....	109
Fig. 164 Démarcation surface sous ruban adhésif/surface encrassé .....	110
Fig. 165 Nettoyage et disparition de la démarcation .....	110
Fig. 166 Collage des fragments avec l'aide de bande de masquage et de pinces.....	111
Fig. 167 Infiltration d'une cassure fermée .....	112

Fig. 168 Cartographie des collages réalisés et des adhésifs utilisés .....	112
Fig. 169 Dos du capuchon avant et après intervention.....	113
Fig. 170 Zone avant retrait des rubans adhésifs.....	114
Fig. 171 Zone après retrait des rubans adhésifs.....	114
Fig. 172 Exemple de modèle Brendel <i>Geranium phaeum</i> . (Nr 93) avec socle en bois naturel et détails en gélatine ©Ruedi Habegger/BOTMUS .....	163
Fig. 173 <i>Brachythecium</i> (Nr 1) complet UV360 .....	163
Fig. 174 Capuchon, dos, UV360 .....	164
Fig. 175 Capuchon, face, UV360 .....	164
Fig. 176 Capuchon profil 1, avant intervention.....	165
Fig. 177 Capuchon profil 1, après intervention.....	165
Fig. 178 Capuchon face, avant intervention.....	166
Fig. 179 Capuchon face, après intervention.....	166
Fig. 180 Capuchon profil 2, avant intervention.....	167
Fig. 181 Capuchon profil 2, après intervention.....	167
Fig. 182 Capuchon, dos, avant intervention.....	168
Fig. 183 Capuchon, dos, après intervention.....	168
Fig. 184 Représentation graphique du pourcentage d'objets en gélatine dans les collections suisses étudiées.....	171
Fig. 185 Représentation graphique des collections suisses étudiées .....	171
Fig. 186 Cartographie des prélèvement d'échantillons : <i>Brachythecium</i> (Nr 1) Botmus, base de la capsule.....	173
Fig. 187 Cartographie des prélèvement d'échantillons : <i>Brachythecium</i> (Nr 1) Botmus, chapeau et dessus de la capsule ...	174
Fig. 188 Cartographie des prélèvement d'échantillons : <i>Brachythecium</i> (Nr 1) Botmus, capuchon.....	174
Fig. 189 Cartographie des prélèvement d'échantillons : <i>Equisetum</i> (Nr 1) Botmus .....	175
Fig. 190 Cartographie des prélèvement d'échantillons : <i>Equisetum</i> (Nr 1) Küsnacht.....	175
Fig. 191 Cartographie des prélèvement d'échantillons : <i>Equisetum</i> (Nr 1) Burgdorf.....	176
Fig. 192 Installation pour le test de réactivité. Une fois l'échantillon et le solvant mis en place les ouvertures de l'enceinte sont couvertes de lamelles en verre pour créer l'enceinte saturante.....	185
Fig. 193 Triangle de Teas du test de solubilité sur le vernis.....	188
Fig. 194 Déroulement du spot-test Amino Black 3 ©Sandu et al. 2012.....	189
Fig. 195 Mesures ph et consuctivité zone Bra.Botmus.5.....	190
Fig. 196 Mesures ph et conductivité zone Bra.Botmus.4.....	190
Fig. 197 Mesures ph et conductivité zone Bra.Botmus.3.....	190
Fig. 198 Mesures ph et conductivité zones Bra.Botmus.1 et Bra.Botmus.3 .....	191
Fig. 199 Mesures ph et conductivité zones Bra.Rämi.1 et Bra.Rämi.2 .....	191
Fig. 200 Mesures ph et conductivité zones Eq.Botmus.1, Eq.Botmus.2, Eq.Botmus.3 .....	192
Fig. 201 Mesures ph et conductivité zone Eq.Burg.1 .....	192
Fig. 202 Mesures ph et conductivité zone Eq.Küsn.1 .....	193
Fig. 203 <i>Brachythecium</i> (Nr 1) image en radiographie X de profil.....	194
Fig. 204 <i>Brachythecium</i> (Nr 1) image en radiographie X de trois-quart.....	195
Fig. 205 <i>Aspidium</i> (Nr 8) image en radiographie X de face .....	196
Fig. 206 <i>Aspidium</i> (Nr 8) image en radiographie X de profil.....	197
Fig. 207 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.1.1. Interprétation : colle animale.....	199
Fig. 209 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.1.2. Interprétation : gélatine.....	199
Fig. 209 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.1.2. Interprétation : résine diterpénique, flèches caractéristique sandaraque. 200	
Fig. 211 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.2.1. Interprétation : gélatine.....	200



Fig. 212 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.3.1. Interprétation : gélatine.....	201
Fig. 212 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.3.1. Interprétation : résine diterpénique, flèches caractéristique sandaraque. 201	
Fig. 213 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.4.1. Interprétation : Poly-isoprène avec une charge siliceuse.....	202
Fig. 215 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.4.2. Interprétation : Copolymère méthacrylate.....	202
Fig. 216 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.4.3. Interprétation : Copolymère méthacrylate.....	203
Fig. 217 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.4.4. Interprétation : Copolymère méthacrylate.....	203
Fig. 217 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.4.5. Interprétation : Poly-isoprène.....	204
Fig. 219 Spectre FTIR_transmission : Ech. B.4.6. Interprétation : gélatine.....	204
Fig. 220 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ea.1.1. Interprétation : gélatine .....	205
Fig. 221 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ea.1.1. Interprétation : huile saponifiée .....	205
Fig. 221 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ea.1.1. Interprétation : résine diterpénique, flèches caractéristique sandaraque.....	206
Fig. 222 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ea.1.2. Interprétation : gélatine .....	206
Fig. 224 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ea.1.3. Interprétation : Huile saponifiée .....	207
Fig. 225 Spectre FTIR_ATR : Ech. Ea.1.4. Interprétation : Résine époxyde (pic caractéristique en rouge) .....	207
Fig. 225 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ea.1.5. Interprétation : résine diterpénique, pics caractéristiques sandaraque ..	208
Fig. 227 Spectre FTIR_transmission : Ech. Eb.1.1. Interprétation : Gélatine.....	208
Fig. 227 Spectre FTIR_transmission : Ech. Eb.1.1. Interprétation : Résine diterpénique, pics caractéristiques sandaraque ..	209
Fig. 229 Spectre FTIR_transmission : Ech. Eb.1.1. Interprétation : huile saponifiée (traces de carboxylates de zinc) .....	209
Fig. 230 Spectre FTIR_ATR : Ech. Ec.1.2. Interprétation : Gélatine .....	210
Fig. 231 Spectre FTIR_transmission : Ech. Ec.1.2. Interprétation : résine naturelle.....	210
Fig. 232 Spectres de comparaison et d'identification de la couche picturale .....	211
Fig. 232 Mapping FTIR-ATR de la coupe Ea.1.1. ....	212
Fig. 233 Mapping FTIR-ATR de la coupe Eb.1.1. ....	212
Fig. 235 Spectres de référence pour ultramarine bleue naturel (a) et synthétique (b) ©CAMEO .....	213
Fig. 235 Spectres Raman de référence Bleu de Prusse (c) et jaune de chrome (d) ©CAMEO .....	214
Fig. 237 Spectres Raman sur les particules bleues dans la masse de gélatine pour les échantillons (de haut en bas) : Ea.1.1 ; EB.1.1 ; Ec.1.2 ; B.3.1 ; B.4.6.....	214
Fig. 238 Spectres Raman pigments dans les couches picturales sur dans les coupes Ea.1.1 ; Eb.1.1.....	215
Fig. 239 Cartographie complète des altérations sur le modèle Brachythecium (Nr 1).....	223
Fig. 239 Tests de vernissage .....	231
Fig. 241 Enceinte de photo-vieillissement HKB.....	233
Fig. 242 Film de gélatine vernie après vieillissement.....	234
Fig. 243 Tests de nettoyage sur une éprouvette .....	235
Fig. 244 Tests de nettoyage sur une zone encrassée du capuchon.....	235
Fig. 245 Eprouvettes pour tests d'adhésifs après séchage.....	240

## 7.2.2 Tableaux

Tableau 1 Résumé des propriétés de la gélatine .....	33
Tableau 2 Nombres de modèles Brendel en gélatine par catalogue .....	40
Tableau 3 Illustration de la différence de réactivité à l'eau entre un gélatine récente et une gélatine Brendel .....	46
Tableau 4 Fiche d'identification du modèles Brachythecium (Nr 1) Botmus .....	75
Tableau 5 Valeurs culturelles associées des modèles Brendel non-patrimoniaux .....	92
Tableau 6 Valeurs culturelles associées des modèles Brendel patrimoniaux.....	92
Tableau 7 Mesures de pH et de conductivité .....	96
Tableau 8 Tests de nettoyage Xanthane .....	100

Tableau 9 Tests de nettoyage au KSG 350 Z .....	100
Tableau 10 Tests de nettoyage KSG 350 Z avec acétate d'éthyle et acétone .....	101
Tableau 11 Sensibilité de la gélatine aux solvants .....	102
Tableau 12 Résumé du test de solubilité du vernis .....	103
Tableau 13 Liste des patentes consulté dans le cadre de ce mémoire.....	138
Tableau 14 Collections suisses étudiées (écoles secondaires II suisses et Botmus) et nombre d'objets.....	169
Tableau 15 Résumé du recensement des collections en Suisse (écoles secondaires II suisses et Botmus) .....	170
Tableau 16 Paramètres de solubilité des solvants utilisés .....	184
Tableau 17 Paramètres de solubilité des mélanges de solvants utilisé .....	184
Tableau 18 Test de réactivité aux solvants pour la gélatine Brendel .....	185
Tableau 19 Mesures de pH et de conductivité.....	193
Tableau 20 Tubes fluorescents sélectionnés pour le vieillissement artificiel .....	233
Tableau 21 Propriétés des adhésifs sélectionnés.....	238
Tableau 22 Préparations des adhésifs testés .....	239
Tableau 23 Déroulement des tests d'adhésifs .....	240
Tableau 24 Exemples de profils de rupture pour l'évaluation des tests d'adhésifs .....	242
Tableau 25 Résultats du test A : Cisaillement .....	242
Tableau 26 Résultats du test B : Traction.....	243
Tableau 27 Récapitulatif des résultats des tests d'adhésifs.....	244

### 7.2.3 Autre

Encadré 1 Histoire de la Villa Brendel à Berlin-Gruenewald.....	25
Encadré 2 Détails de la production de la gélatine .....	31
Encadré 3 Chancis provoqué par les mesures de pH et de conductivité .....	96

## 7.3 Patentes

Tableau 13 Liste des patentes consulté dans le cadre de ce mémoire

Abréviation	Description
<i>Pat. AT1307, 1900</i>	<i>Verfahren zur Herstellung künstlicher Blätter_Vereinigte Gelatine-Gelatoidfolien- und Flitter-Fabriken A.-G. in Hanau (Deutsches Reich).</i> Procédé qui décrit la création de feuilles artificielle en gélatine, en recouvrant la feuille d'une plante avec une solution de gélatine. Après séchage, la feuille de gélatine peut être démoulée, puis éventuellement durcie à l'aide de formaldéhyde.
<i>Pat. AT8107, 1902</i>	<i>Verfahren zur Herstellung von Röhren und anderen Hohlkörper aus Gelatine.</i> Procédé qui décrit comment fabriquer des formes creuses à partir de gélatine, notamment des tubes. Une solution de gélatine est versée sur une ficelle en caoutchouc, laissée sécher puis démoulée une fois le film sec et rigide. L'avantage du caoutchouc est qu'il ne nécessite pas d'agent de démoulage.
<i>Pat. FR437876, 1911</i>	<i>Procédé pour la production d'objets en gélatine argentés, tels que tiges, petits tubes perles, ornement.</i> Patente pour un procédé qui permet, en recouvrant des pièces de gélatine de laque "Zapon" de les plonger dans une solution d'argent et d'alcool. Le résultat, après fixation dans une solution d'hydrargyrocyane de potassium, est un objet recouvert d'une couche d'argent stable.
<i>Pat. FR446549, 1912</i>	<i>Procédé d'épuration et de décoloration des liquides organique.</i> L'auteur utilise des amalgames métalliques, notamment l'amalgame d'aluminium, pour provoquer une décomposition de l'eau (ions hydrogène et oxygène). Ces ions vont avoir une fonction de réducteur, ce qui, en contact avec un liquide organique, comme les bouillons de colle, va les purifier et les clarifier.
<i>Pat. FR587637, 1923</i>	<i>Dispositif pour le moulage des tubes et étuis en gélatine et autres matières.</i> Lorsque l'on fabrique des corps creux en matière plastique tels que des étuis en gélatine, il est difficile de séparer l'objet final du moule. L'invention est celle d'un moule à soupape, qui permet de faire entrer de l'air entre le produit final et le moule et ainsi pouvoir démouler facilement.
<i>Pat. FR592415, 1925</i>	<i>Matière plastique à base de colle de gélatine pour moulage et procédé d'emploi.</i> La gélatine décrite ici comme ayant servi depuis fort longtemps de base à de nombreux produits plastiques, présente le désavantage d'un fort retrait lors du séchage. L'inventeur propose de mélanger la gélatine un matière en poudre inerte (sable siliceux fin, brique en poudre, sciure de bois, verre en poudre) pour créer une matière sans aucun retrait, qui va permettre de façonner des pièces creuses et relativement souples.
<i>Pat. FR1194285, 1959</i>	<i>Durcissement de gélatine et son application dans le matériel photographique.</i> Le brevet explique que en dehors du durcissement avec de l'alun de chrome ou du formaldéhyde sont connus mais qu'il est également possible de durcir de la gélatine en y incorporant un polysaccharide contenant des groupes glucoses dont les fonctions alcools sont au moins en partie oxydée en fonctions aldéhydes.
<i>Pat. GB907675A, 1960</i>	<i>Gelatine Hardening Method and Photographic Material Prepared with the Aid Therof.</i> L'invention présenté consiste en l'utilisation de polysaccharides oxydés avec des cycles "pyranose". Ce durcissement est spécifiquement pensé pour les émulsions photographiques en gélatine ou pour tout autre film de gélatine qui nécessite une grande résistance au gonflement dans l'eau.


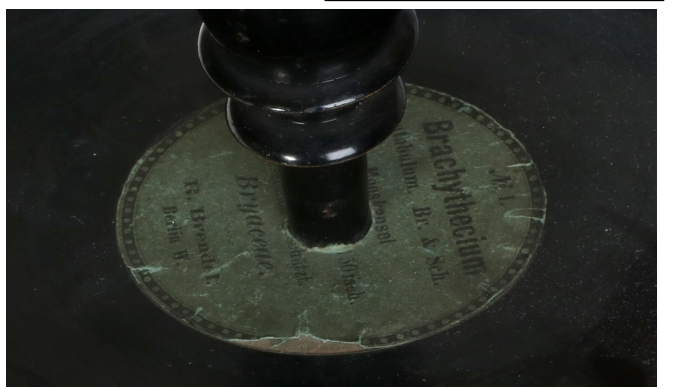


<i>Pat. US540538, 1895</i>	<p><i>Machine for dipping pills.</i></p> <p>L'inventeur décrit diverses méthodes pour enrober des médicaments dans de la gélatine. Les pilules sont plongées dans une solution, puis laissées sécher. Une fois l'enrobage durci, les pilules sont retirées du moule à l'aide d'une aiguille qui les pique ou d'un système d'air dans la contre-forme qui les décolle à l'aide de la pression.</p>
<i>Pat. US961936, 1909</i>	<p><i>Machine for making capsules.</i></p> <p>L'inventeur décrit une machine complexe pour faire des capsules à médicaments. Des contre-formes en métal sont plongées dans une solution de gélatine et laissées sécher. Ces contre-formes doivent être graissées pour permettre un démoulage des capsules.</p>
<i>Pat. US 1516663, 1923</i>	<p><i>Apparatus for drying sheets of edible gelatin.</i></p> <p>Cette invention traite d'un système pour produire rapidement des feuilles de gélatine. Sur une bande roulante en tissu, des cadres trempés dans de la gélatine sont posés. Cette bande roulante les amène dans une enceinte qui possède un système d'air chauffé et ventilé, ce qui va accélérer le processus de séchage.</p>
<i>Pat. US1866410, 1932</i>	<p><i>Transparent sheet material.</i></p> <p>Utilisation de glycol pour former une feuille fine, transparente et flexible de gélatine, pour l'emballage de divers produits de consommation (bonbon, fleurs, etc.). M. Kratz propose d'abord une fourchette de glycol entre 5 et 60% par rapport à la gélatine, en-dessous de 5% la feuille obtenue est trop cassante, et au-dessus de 60% elle sera trop molle et avec peu de cohésion. Il propose ensuite sa propre recette personnelle pour faire un film d'emballage. 25% d'une mixture à base d'éthylène glycol, 70% de gélatine sèche, 5% d'une solution aqueuse de formaldéhyde à 40%. Sa mixture plastifiante est la suivante: 60% d'éthylène glycol, 30% de glycérine, 10% d'huile de ricin sulphonée. Pour obtenir une feuille claire, blanche et transparente, il ajoute également une petite quantité d'un colorant bleu: alizarine saphirol. Une fois la solution préparée, elle est versée sur une "endless belt" puis laissée sécher.</p>
<i>Pat. US1893172, 1933</i>	<p><i>Transparent sheet and process of manufacture.</i></p> <p>Même inventeur que Pat. US1866410, il ajoute de l'acide orthophosphorique à sa recette.</p>
<i>Pat. US2345674, 1938</i>	<p><i>Method of forming gelatine sheets.</i></p> <p>L'inventeur propose une machine complexe faite de bandes roulantes et d'un système qui étale une fine couche de gélatine liquide sur une face de la bande roulante. Un système d'air chaud et froid, sèche la surface extérieure de la couche de gélatine et maintient le côté sur la bande-roulante dans un état collant, pour garantir l'adhérence sur la bande roulante. Une fois une face sèche, le film de gélatine est décollé et l'autre face est laissée sécher.</p>
<i>Pat. US4084, 1845</i>	<p><i>Improvement in the preparation of portable gelatine.</i></p> <p>L'inventeur décrit un moyen de préparer un repas instantané en créant un gel de gélatine qui contient tous les ingrédients du dit repas. Il suffit alors de rajouter une certaine quantité d'eau chaude pour dissoudre la gélatine et avoir un repas tout prêt. Il conseille d'utiliser de l'isinglass (gélatine d'esturgeon) car il est d'une qualité supérieure et moins cher que les autres gélatines. Il conseille d'ajouter du sucre et du jus de citron à la gélatine.</p>
<i>Pat. US9877, 1853</i>	<p><i>Improvement in processes for making glue.</i></p> <p>L'inventeur décrit la méthode suivante pour mieux conserver les peaux avant l'extraction de la colle: stocker les peaux empilées, avec entre elles à chaque fois une couche de chaux.</p>







<p><i>Pat. US1289053, 1918</i></p>	<p><i>Making glue and the like.</i></p> <p>L'inventeur décrit un procédé pour fabriquer un "Carbon decolorant/purifying agent" pour décolorer et purifier les liquides organiques, notamment la gélatine. Ce charbon actif sera laissé dans la solution avec un très léger remuage, puis le tout sera filtré de nombreuses fois dans un filtre à pression.</p>
<p><i>Pat. US1347226, 1920</i></p>	<p><i>Method of manufacturing sheets of edible gelatin.</i></p> <p>L'inventeur décrit la technique de fabrication habituelle pour des feuilles de gélatine : Dans un bloc de gélatine en gel, des tranches sont coupées. Chaque tranche est placée entre deux filets dans un cadre, puis laissée sécher. C'est les fils de ces filets qui impriment le damier caractéristique des feuilles de gélatine vendues dans le commerce. L'inventeur décrit un procédé dans lequel la solution de gélatine est coulée sur un support flexible, laissée sécher puis décollée. La feuille ainsi obtenue est découpée à la taille voulue, rapidement plongée dans de l'eau, puis placée entre deux filets dans un cadre pour un deuxième séchage. Les feuilles ainsi obtenues ont le damier caractéristiques, sont toutes de la même épaisseur et ont des angles nettes.</p>
<p><i>Pat. US1727611, 1929</i></p>	<p><i>Method of forming gelatin sheets and surfaces therefor.</i></p> <p>Cette patente décrit la création d'une ceinture sur laquelle il est possible de verser une solution de gélatine pour séchage, puis facile à décoller le film ainsi formé. L'inventeur décrit en premier lieu les surfaces utilisés jusqu'alors : pierre polie, métaux comme le zinc, surface en ester de cellulose comme le nitro-cellulose et l'acétate de cellulose, qui présentent des désavantages (usage limité, corrosion, fragilité mécanique). L'invention de cette patente concerne des textiles imperméabilisés. L'utilisation d'une mousseline anglaise est conseillée, puis ce textile est imprégné d'huile siccative et cuite au four à basse température. Après application de plusieurs couches successives, la surface est très lisse et la ceinture obtenue est résistante et souple. La surface peut également être gravée avec un motif qui se retrouvera sur le film de gélatine fait avec cette ceinture.</p>

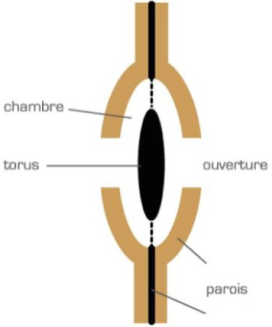

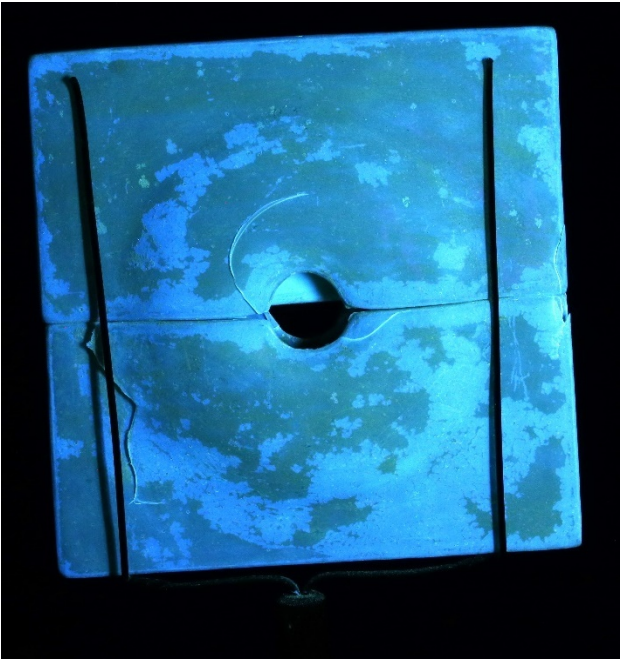
## 7.4 Corpus de modèles Brendel en gélatine étudiés

### 7.4.1 Botanisches Museum UZH






<b>Nom du modèle</b>	
Brachythecium rutabulum (Nr 1)	
<b>Collection – Provenance</b>	
Botanisches Museum UZH	
<b>N° Inventaire</b>	
ZM-00001780	
<b>Dimensions (hors socle)</b>	
45 x 35 x 14 cm	
<b>Description</b>	<b>Détail lumière visible</b>
<p>Modèle représentant la capsule de la mousse <i>Brachythecium rutabulum</i>. La capsule est l'organe reproducteur qui sert à disperser les spores.</p> <p>La base de l'objet est en papier-mâché peint. Il est démontable en 4 parties, démontage qui correspond au divers étapes par lesquelles passe la capsule lors de la maturation.</p> <p>Sur chacune des parties de l'objet est présente la fine membrane de gélatine, sous forme de film qui recouvre les parois interne de la capsule ou comme matériau de base pour des pièces à part entières.</p>	
	






Nom du modèle	
Equisetum arvense (Nr 4)	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00001776	
Dimensions (hors socle)	
30 x 27 x 21 cm	
Description	
<p>Modèle de la spore femelle d'une fougère <i>Equisetum arvense</i> (Prêle des champs), représentant plusieurs stades de la reproduction sexuée à la fois.</p> <p>Entièrement en gélatine, mis à part le socle et les rhizoïdes (filaments chez les fougères et les mousses) illustrées avec du textile enrobé en fin tubes et rigidifiés. Ce modèle n'est pas démontable. Il est fait de nombreuses pièces assemblées et présente même des structures internes visibles en transparence.</p>	
	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	

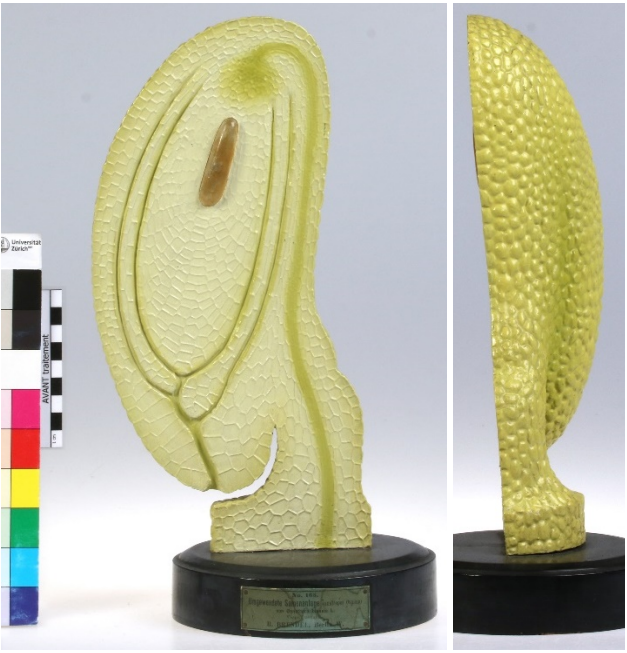



Nom du modèle	
Pinus Silvestris (Nr 156) – Behöfter Tüpfel	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00002821	
Dimensions (hors socle)	
13 x 13 x 3.2 cm	
Description	
<p>Le modèle n'a plus son étiquette d'origine ; il fait partie de la série <i>Pinus silvestris</i>. C'est le modèle « 156. Behöfter Tüpfel in zwei Hälften zerlegbar. Verg. 3600 fach. » qui représente une ponctuation auréolée (ouverture permettant le passage de divers éléments d'une cellule à l'autre).</p> <div data-bbox="119 929 391 1254">  </div> <p>Entièrement fait de gélatine, en plusieurs structures imbriquées les unes dans les autres, avec quelques fragments en textile (structure interne qui tient les moitiés de torus en suspension au milieu de l'objet), il est démontable en deux par la moitié.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	

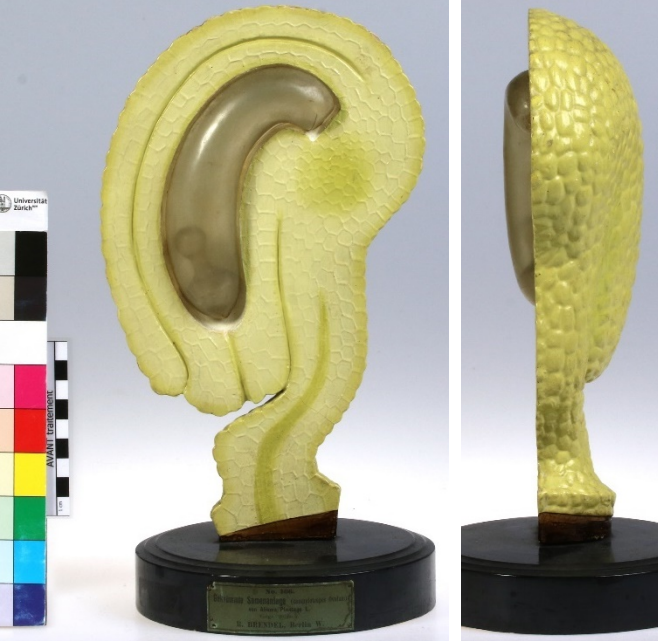


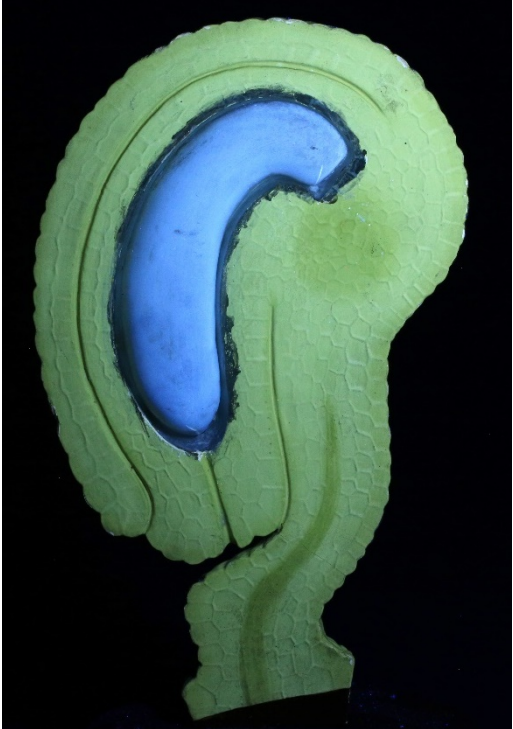


<b>Nom du modèle</b>		
Tretradenbildung (Nr 155.)		
<b>Collection – Provenance</b>		
Botanisches Museum UZH		
<b>N° Inventaire</b>		
ZM-00001770		
<b>Dimensions (hors socle)</b>		
6.3 x 6.3 x 8.1 cm		
<b>Description</b>	<div></div>	
<p>Le modèle illustre la morphologie de certaines cellules végétales.</p> <p>Il est composé de 4 formes creuses, chacune avec une face pyramidale et une face sphérique, en gélatine qui s'emboîtent les unes dans les autres. Des fines lignes d'assemblage coupent chaque pièce en deux.</p> <p>Les trois pièces qui forment la base sont fixés sur la tige du socle. La pièce du dessus peut être retirée à l'aide d'une tige métallique qui la traverse de part en part.</p>	<div></div>	<div></div>
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>	
<div></div>	<div></div>	



Nom du modèle	
Marchantia Polymorpha (Nr 141)	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00001779	
Dimensions (hors socle)	
35.8 x 9 x 7 cm	
Description	
<p>Le modèle est en papier-mâché avec une partie amovible en gélatine en forme d'œuf creux. Il représente un archégone, organe sexuel femelle de la plante <i>Marchantia Polymorpha</i> (hépatique des fontaines). L'œuf est amovible, il ne présente aucune ligne de jonction et aucune ouverture, mise à part deux trous sur chaque côté, alignés l'un en face de l'autre. La surface externe est parfaitement lisse, la surface interne est recouverte de petits points en reliefs distribués régulièrement.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
 	
	

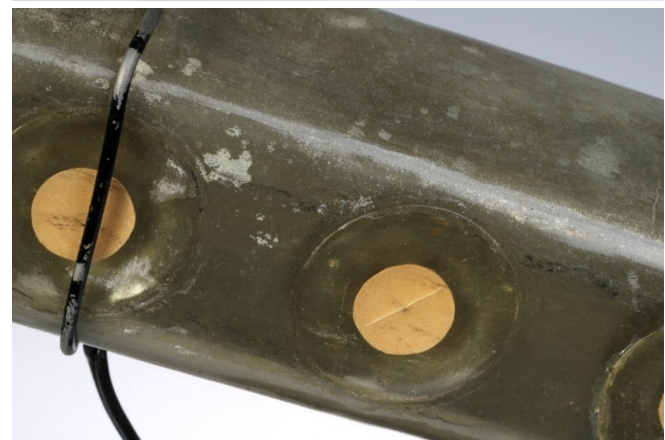


Nom du modèle	
Anatropes Ovulum (Nr 165)	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00002814	
Dimensions (hors socle)	
30.5 x 16 x 8 cm	
Description	
<p>Objet un papier-mâché non démontable, avec ovule illustrée avec de la gélatine. Cette pièce ne présente pas de ligne de jonction et elle est fixée dans la cavité en papier-mâché. Une structure interne également en gélatine est peu discernable en raison du vernis très dégradé.</p> <p>Le modèle représente un forme de morphologie d'ovule dite « anatrophe » que l'on retrouve chez les angiospermes.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	

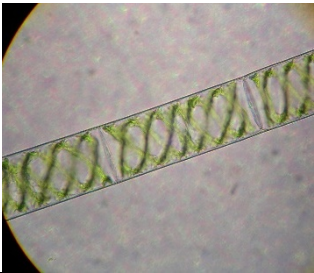
Nom du modèle	
Campylotropes Ovulum (Nr 166)	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00002815	
Dimensions (hors socle)	
27.5 x 16.5 x 6.5 cm	
Description	
<p>Objet un papier-mâché non démontable, avec ovule illustrée avec de la gélatine. L'ovule est allongée et courbée, avec une structure interne (forme de goutte allongée) à la base de l'ovule.</p> <p>Le modèle représente un forme de morphologie d'ovule dite « campylotrope » que l'on retrouve chez les angiospermes, principalement les légumineuses et certains herbacées.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	



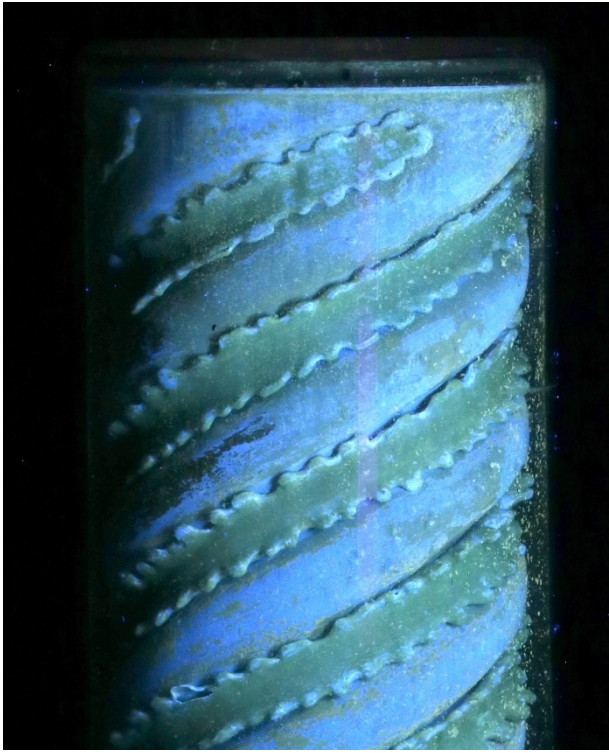


Nom du modèle	
Pinus silvestris (Nr 190) – Trachéide	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00002816	
Dimensions (hors socle)	
47 x 6 x 7 cm	
Description	
<p>Le modèle n'a plus son étiquette d'origine ; il fait partie de la série <i>Pinus silvestris</i> et c'est le modèle « 190. Trachéide, Stück einer solchen aus dem Holz der Kiefer. Vergr. 1200fach. »</p> <p>Modèle entièrement en gélatine, fait de plusieurs emboîtements de pièces allongées avec une extrémité pointue. L'autre extrémité de l'objet est ouverte ce qui donne visuellement accès à l'intérieur du modèle.</p> <p>L'objet représentant une trachéide de <i>Pinus silvestris</i> (Pin sylvestre). Les trachéides servent à transporter la sève brut dans la plante. Sur chaque côté, sont illustrés 4 « ponctuation », c'est-à-dire des ouvertures permettant le passage de divers éléments d'une cellule à l'autre.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	



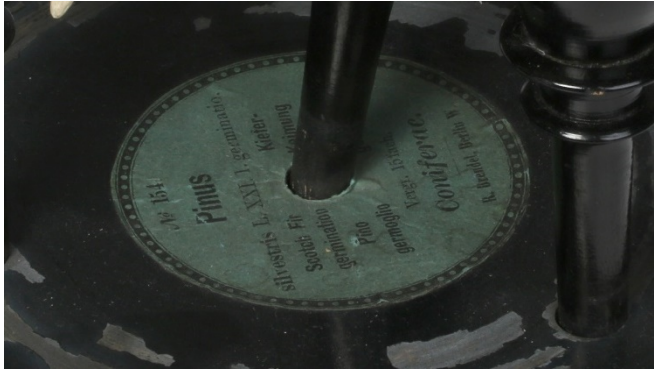











Nom du modèle
Spirogyra (Nr 205)
Collection – Provenance
Botanisches Museum UZH
N° Inventaire
ZM-00001781
Dimensions (hors socle)
12.5 x 12.5 x 41 cm
Description
<p>Cet objet n’a pas d’étiquette. Il s’agit très certainement du modèle « 205. <i>Spirogyra. Fadenzelle. Vergr. 2000fach</i> ». Il représente l’arrangement cellulaire des <i>Spirogyra</i> (algues vertes, filamenteuses de la famille des Zygnemataceae), dont les filaments montrent des chloroplastes rubanés enroulés en spirale et portant des pyrénoides (concentrations d’enzymes et d’amidon).</p> <p>Le cylindre de verre représente la paroi cellulaire. Le modèle représente également le noyau cellulaire, visible en transparence.</p>



Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
 	




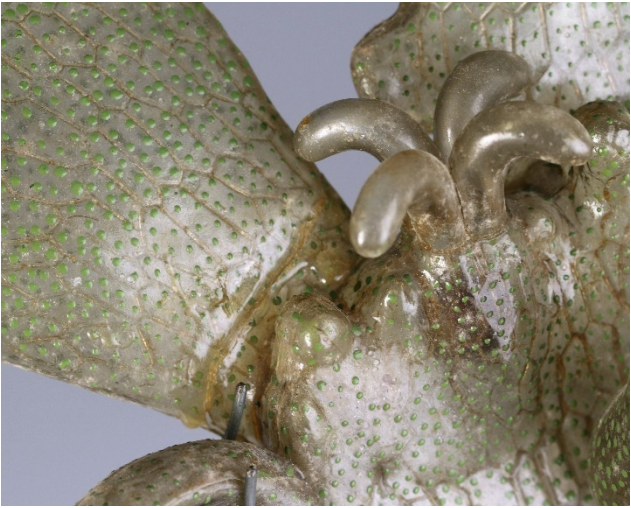
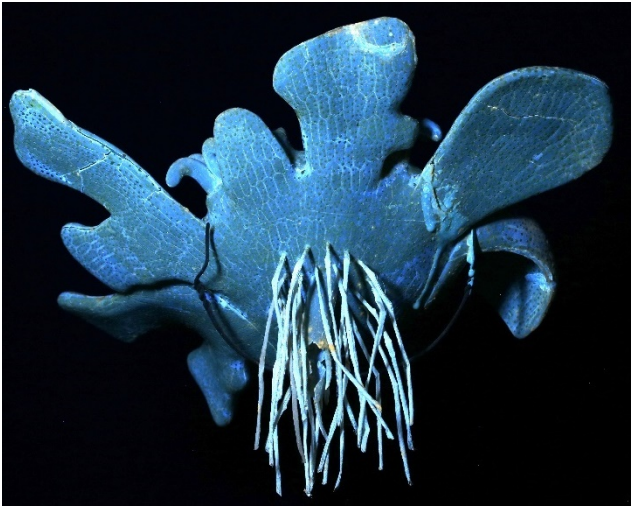
Nom du modèle	 
Pinus silvestris (Nr 154) – Kiefern-Keimung	
Collection – Provenance	
Botanisches Museum UZH	
N° Inventaire	
ZM-00001881	
Dimensions (hors socle)	
51 x 35 x 35 cm	
Description	
<p>Modèle avec plusieurs pièces : une graine ailée, démontable pour montrer l'embryon, différents stades de germination de la graine, et la jeune plante.</p> <p>La graine ailée, appelée samare, est en gélatine peinte, ainsi que la structure interne des deux graines en germinations.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
 	

<b>Nom du modèle</b>	 
Aristolochia Siphon. (Nr 102)	
<b>Collection – Provenance</b>	
Botanisches Museum UZH	
<b>N° Inventaire</b>	
ZM-00001862	
<b>Dimensions (hors socle)</b>	
42 x 20 x 15.5 cm	
<b>Description</b>	
<p>Ce modèle représente la fleur d'une liane ligneuse, Aristolochia Siphon. Il est démontable en trois parties et à l'intérieur de la cavité se trouve un insecte. Le modèle est en papier-mâché peints et décoré avec des fibres, la seule partie en gélatine est les ailes de l'insecte.</p>	
	
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>
	


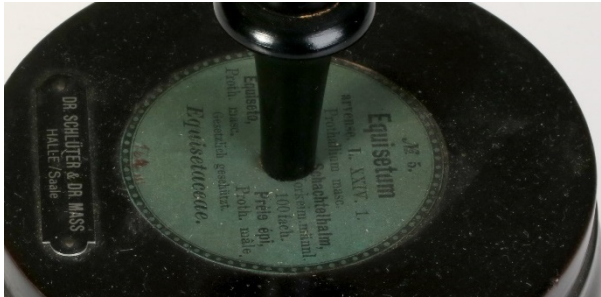

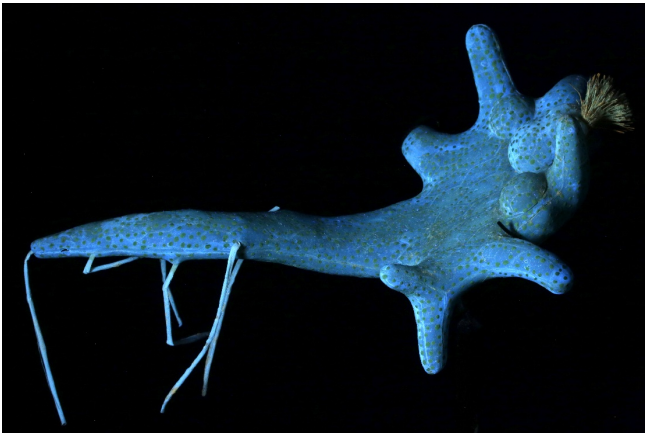






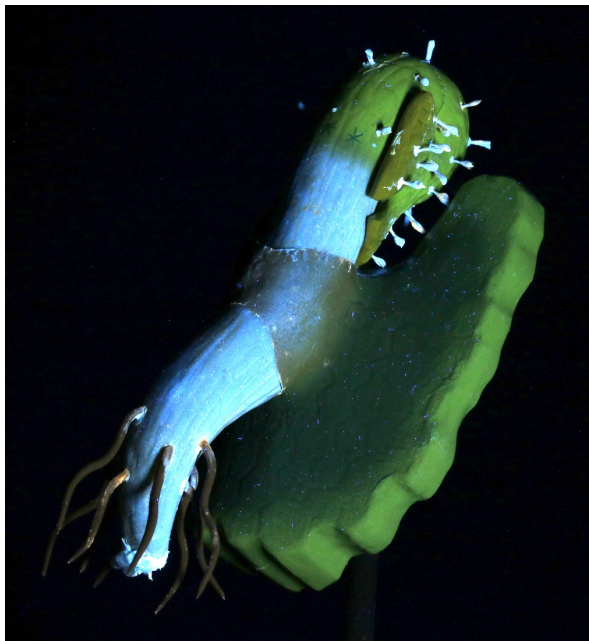

## 7.4.2 Kantonsschule Küsnacht

<b>Nom du modèle</b>		
Equisetum arvense (Nr 3)		
<b>Collection – Provenance</b>		
Kantonsschule Küsnacht		
<b>Dimensions (hors socle)</b>		
35 x 18 x 15 cm		
<b>Description</b>		
<p>Ce modèle est composé de quatre différentes pièces dont trois sont entièrement en gélatine. Il représente différents stades de la reproduction des fougères <i>Equisetum arvense</i>. Le petit bouclier avec six sacs peints en vert accrochés sur le dessous est le réservoir à spores. Les spores, sont des sphères avec des bras enroulés ou déroulés (à maturité). Une fois germées, elles vont se développer en un prothallium, ici un organe surmonté de quatre archegonia (tubes courbés).</p> 		
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>	
		






<b>Nom du modèle</b>	
Equisetum arvense (Nr 4)	
<b>Collection – Provenance</b>	
Kantonsschule Küsnacht	
<b>Dimensions (hors socle)</b>	
31 x 30 x 17 cm	
<b>Description</b>	
<p>Modèle de le prothallium femelle d'une fougère Equisetum arvense (Prêle des champs), représentant plusieurs stades de la reproduction sexuée à la fois.</p> <p>Entièrement en gélatine, mis à part le socle et les rhizoïdes (filaments chez les fougères et les mousses) illustrées avec du textile enrobé en fin tubes et rigidifiés. Ce modèle n'est pas démontable. Il est fait de nombreuses pièces assemblées et présente même des structures internes visibles en transparence.</p>	
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>
	



<b>Nom du modèle</b>	
Equisetum arvense (Nr 5)	
<b>Collection – Provenance</b>	
Kantonsschule Küsnacht	
<b>Dimensions (hors socle)</b>	
31 x 16 x 15 cm	
<b>Description</b>	
<p>Modèle représentant le prothallium mâle d'une fougère Equisetum arvense (Prêle des champs), représentant plusieurs stades de la reproduction sexuée à la fois.</p> <p>Sur le prothallium mâle, en forme de spatule avec des lobes, des bulbes se forment en se remplissant cellules reproductrices. A maturité, les bulbes se fendent et relâchent les cellules reproductrices.</p> <p>Ce modèle est (presque) entièrement fait de gélatine, avec plusieurs pièces rapportés, notamment les bulbes sur le dessus. Le relâchement des cellules reproductrices est illustré à l'aide d'une houppe de fibres dans lesquelles sont prises des perles de verre.</p>	
	
	
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>
	

<b>Nom du modèle</b>	
Aspidium (Nr 8)	
<b>Collection – Provenance</b>	
Kantonsschule Küsnacht	
<b>Dimensions (hors socle)</b>	
19 x 16 x 12 cm	
<b>Description</b>	
<p>Modèle représentant le développement d'un aspidium prothallium fécondé en embryon. Le reste de prothallium est le coussin sur lequel se développe l'embryon, lui-même composé d'un début de racine (bas) et des premières feuilles encore enroulés autour du corps.</p> <p>Le modèle est presque entièrement composé de gélatine, mise à part les jeunes feuilles qui sont en papier-mâché et les petites racines. La gélatine est en partie peinte. Une seule ligne d'assemblage est discernable sous le corps.</p>	
	
	
	
<p>Dr. SCHLÜTER &amp; DR. MASS HALLE / Saale</p>	
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>
	
	

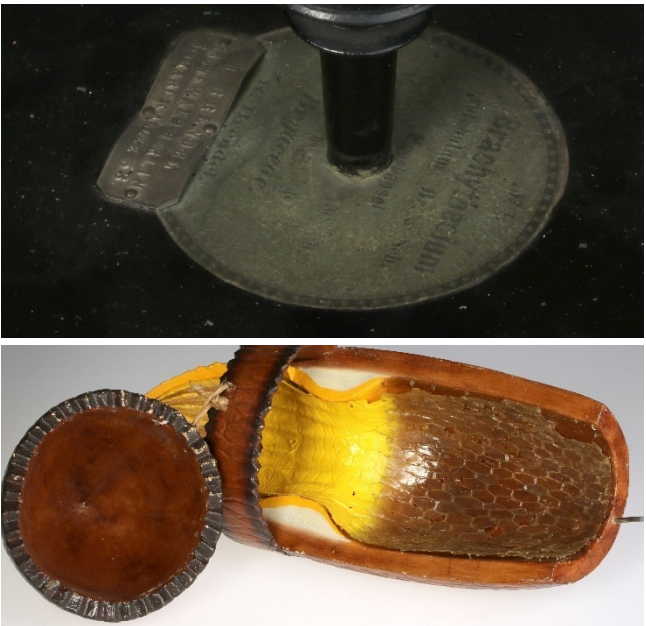



Nom du modèle	
Aspidium (Nr 7)	
Collection – Provenance	
Kantonsschule Küsnacht	
Dimensions (hors socle)	
27 x 26 x 11 cm	
Description	
<p>Modèle représentant le prothallium des fougères type « aspidium », presque entièrement en gélatine avec des rhizoïdes en textile et des perles de verre.</p> <p>Le prothallium est une couche fine de cellules, en forme de cœur. Sur la face inférieure se trouvent les organes de reproduction femelles (archéogones) et mâles (anthérides), ainsi que les rhizoïdes qui permettent au prothallium de s'accrocher. A maturité, les anthérides s'ouvrent et relâchent les cellules reproductrices mâle, tandis que les archéogones vont se couvrir de mucus qui va coller ces cellules reproductrices pour la fécondation des ovules.</p> 	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	





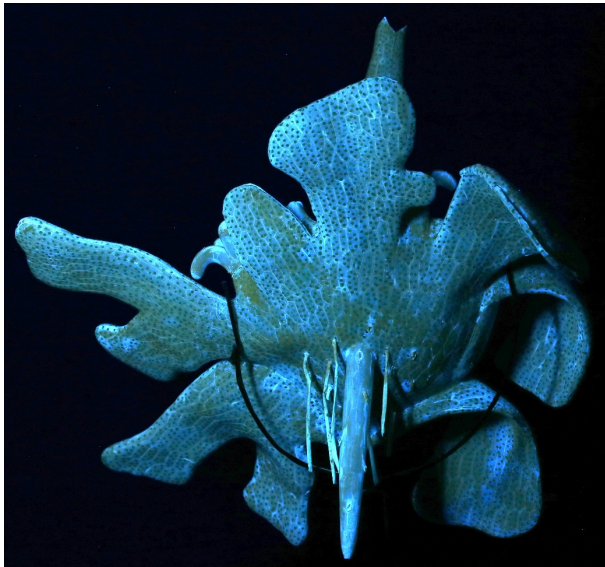
<b>Nom du modèle</b>	
Pisum Sativum (Nr 145) – Querschnitt	
<b>Collection – Provenance</b>	
Kantonsschule Küsnacht	
<b>Dimensions (hors cadre)</b>	
12 x 8 x 0.5	
<b>Description</b>	
<p>Modèle entièrement en gélatine représentant une coupe transversale de l'ovaire monocarpique de la fleur de pois.</p> <p>Le modèle est entièrement en gélatine, avec des détails peints avec des couleurs translucides. Il est soclé entre deux plaques de verres fermées par un cadre en bois peint en noir.</p>	
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>



## 7.4.3 Kantonsschule Rämibühl





Nom du modèle	
Brachythecium rutabulum (Nr 1)	
Collection – Provenance	
Kantonsschule Rämibühl (ZH)	
Dimensions (hors socle)	
40 x 35 x 14 cm	
Description	
<p>Modèle représentant la capsule de la mousse <i>Brachythecium rutabulum</i>. La capsule est l'organe reproducteur qui sert à disperser les spores.</p> <p>La base de l'objet est en papier-mâché peint. Normalement, il est démontable en 4 parties, démontage qui correspond au divers étapes par lesquelles passe la capsule lors de la maturation.</p> <p>Sur chacune des parties de l'objet devrait être présente la fine membrane de gélatine, sous forme de film qui recouvre les parois interne de la capsule ou comme matériau de base pour des pièces à part entières.</p> <p>Dans cet exemplaire, il manque le capuchon en gélatine et la membrane sur la parois interne du chapeau.</p>	
Détail lumière visible	Détail fluorescence UV (360 nm)
	

## 7.4.4 Kantonschule Burgdorf


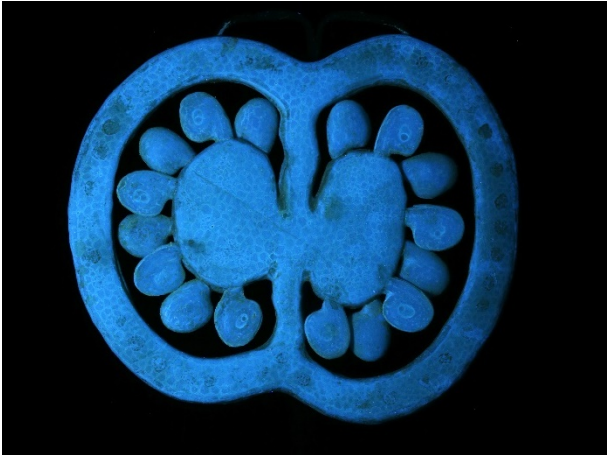

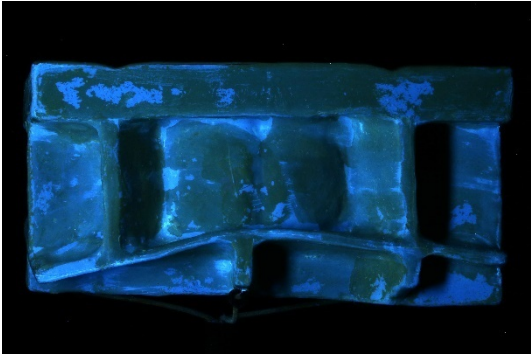
<b>Nom du modèle</b>	
Equisetum arvense (Nr 4)	
<b>Collection – Provenance</b>	
Kantonsschule Burgdorf	
<b>Dimensions (hors socle)</b>	
31 x 30 x 23 cm	
<b>Description</b>	
<p>Modèle de le prothallium femelle d'une fougère Equisetum arvense (Prêle des champs), représentant plusieurs stades de la reproduction sexuée à la fois.</p> <p>Entièrement en gélatine, mis à part le socle et les rhizoïdes (filaments chez les fougères et les mousses) illustrées avec du textile enrobé en fin tubes et rigidifiés. Ce modèle n'est pas démontable. Il est fait de nombreuses pièces assemblées et présente même des structures internes visibles en transparence.</p> 	
<b>Détail lumière visible</b>	<b>Détail fluorescence UV (360 nm)</b>
	






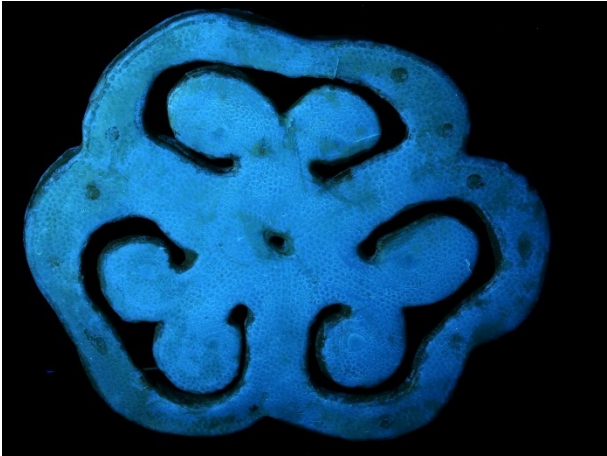
7.4.5 Écoles visitées

AARAU ALTEKANTONSSCHULE (AG)	
Chara (Nr 9)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)
	
Brachytecium (Nr 1)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)
	
Secale (Nr 13a)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)



KANTONSSCHULE FRAUENFELD (TG)	
Hyoscyamus niger (Nr 146)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)
	
Spaltöffnung von Helleborus foetidus (Nr 196)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)
	



Equisetum (Nr 3)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)
	
Scila (Nr 147)	
Modèle	Détail sous UV (360nm)
	

## 7.5 Photographies



Fig. 172 Exemple de modèle Brendel *Geranium phaeum*. (Nr 93) avec socle en bois naturel et détails en gélatine  
©Ruedi Habegger/BOTMUS

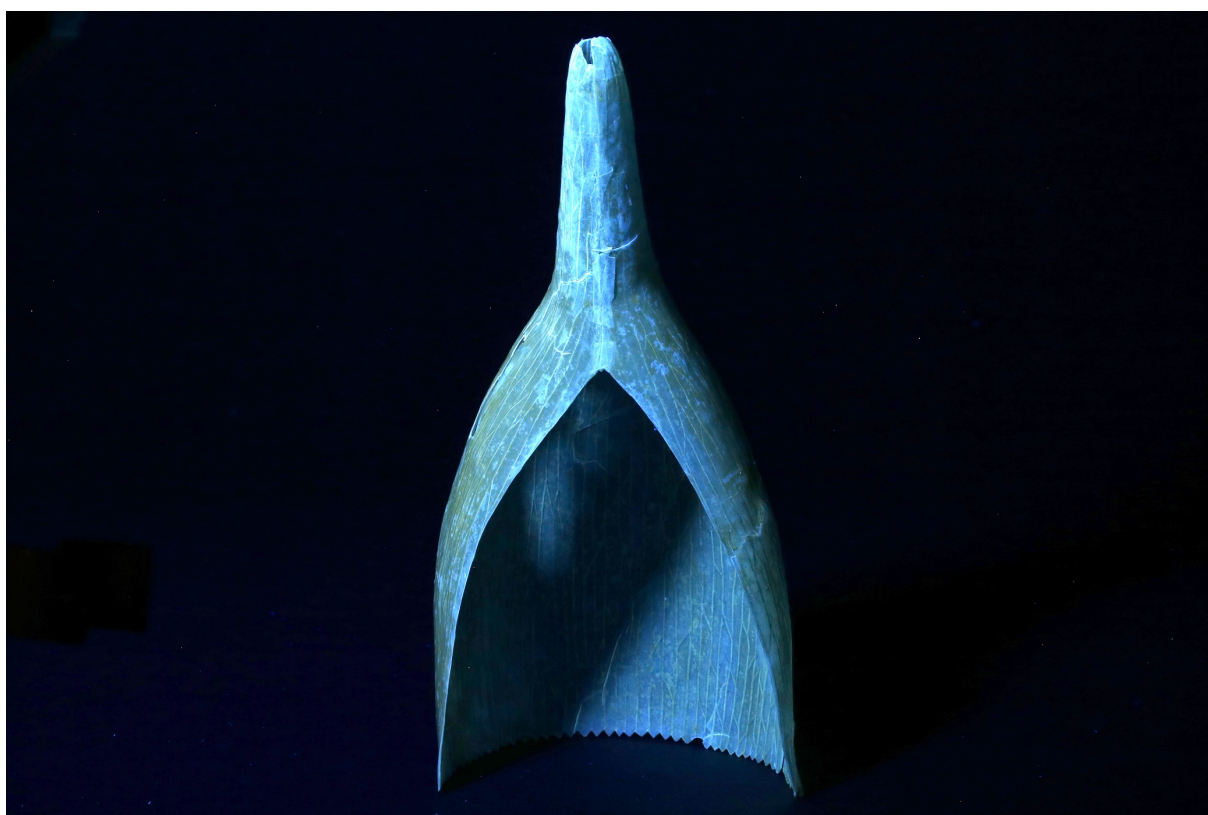


Fig. 173 *Brachythecium* (Nr 1) complet UV360





*Fig. 174 Capuchon, dos, UV360*



*Fig. 175 Capuchon, face, UV360*



*Fig. 176 Capuchon profil 1, avant intervention*



*Fig. 177 Capuchon profil 1, après intervention*





*Fig. 178 Capuchon face, avant intervention*



*Fig. 179 Capuchon face, après intervention*



*Fig. 180 Capuchon profil 2, avant intervention*



*Fig. 181 Capuchon profil 2, après intervention*





*Fig. 182 Capuchon, dos, avant intervention*



*Fig. 183 Capuchon, dos, après intervention*

## 7.6 Etude sur les collections Brendel en Suisse

En collaboration avec le Dr. Habil. Alexander Kocyan, botaniste et conservateur du Botmus, les collections présentes au Botmus et dans diverses écoles secondaire II en Suisses ont été étudiées. Ces statistiques ne sont qu'une ébauche de ce qui pourra être obtenu lorsque les collections présentes dans les musées suisses, dans les autres régions linguistiques (Tessin et Grisons), dans les universités et les autres écoles (primaire et secondaire I), etc. seront incluses.

Dans ce premier recensement, voici les écoles considérées, le total de modèles Brendel identifiés et la part d'objet en gélatine. Il y a trois catégories d'objets : sans gélatine, avec des parties en gélatine et presque entièrement en gélatine.




Exemple d'objet sans gélatine	Exemple d'objet avec des parties en gélatine	Exemple d'objet presque entièrement en gélatine
		
Viola tricolor (Nr 90)	Campylotropes Ovulum (Nr 166)	Equisetum arvense (Nr 4)

Tableau 14 Collections suisses étudiées (écoles secondaires II suisses et Botmus) et nombre d'objets

Collections et modèles Brendel	Sans gélatine	Avec des parties en gélatine	(Presque) entièrement en gélatine	Total
Botanisches Museum UZH (ZH)	80	7	4	91
Kantonsschule Küsnacht (ZH)	28	2	4	34
Literargymnasium / MNG Rämibühl (ZH)	28	2	0	30
Kantonsschule Chur (GR)	20	2	2	24

<b>Kantonsschule Frauenfeld (TG)</b>	18	1	3	<b>22</b>
<b>Gymnasium Kirschgarten (BS)</b>	18	0	0	<b>18</b>
<b>Kantonsschule Solothurn (SO)</b>	14	1	1	<b>16</b>
<b>Aarau Alte Kantonsschule (AG)</b>	11	2	1	<b>14</b>
<b>Liceo Artistico Zürich (ZH)</b>	13	0	0	<b>13</b>
<b>Kantonale Mittelschule (UR)</b>	11	0	0	<b>11</b>
<b>Kantonsschule Wettingen (AG)</b>	4	1	3	<b>8</b>
<b>Pädagogische Maturitätsschule Kreuzlingen (TG)</b>	4	2	1	<b>7</b>
<b>Kantonsschule Zürich Nord (ZH)</b>	4	2	0	<b>6</b>
<b>Kantonsschule im Lee Winterthur (ZH)</b>	4	2	0	<b>6</b>
<b>Kantonsschule am Brühl St.Gallen (SG)</b>	4	0	0	<b>4</b>
<b>Kollegium St. Fidelis (NW)</b>	4	0	0	<b>4</b>
<b>Kantonsschule Zug (ZG)</b>	2	0	0	<b>2</b>
<b>Schweizerisches Schulmuseum (BE)</b>	2	0	0	<b>2</b>
<b>Collège des Creusets (VS)</b>	1	0	0	<b>1</b>

Tableau 15 Résumé du recensement des collections en Suisse (écoles secondaires II suisses et Botmus)

<b>Résultats</b>	<b>Sans gélatine</b>	<b>Avec des parties en gélatine</b>	<b>(Presque) entièrement en gélatine</b>	<b>Total</b>
<b>Nombre de modèles</b>	270	24	19	313
<b>Pourcentage</b>	86.3%	7.7%	6.1%	



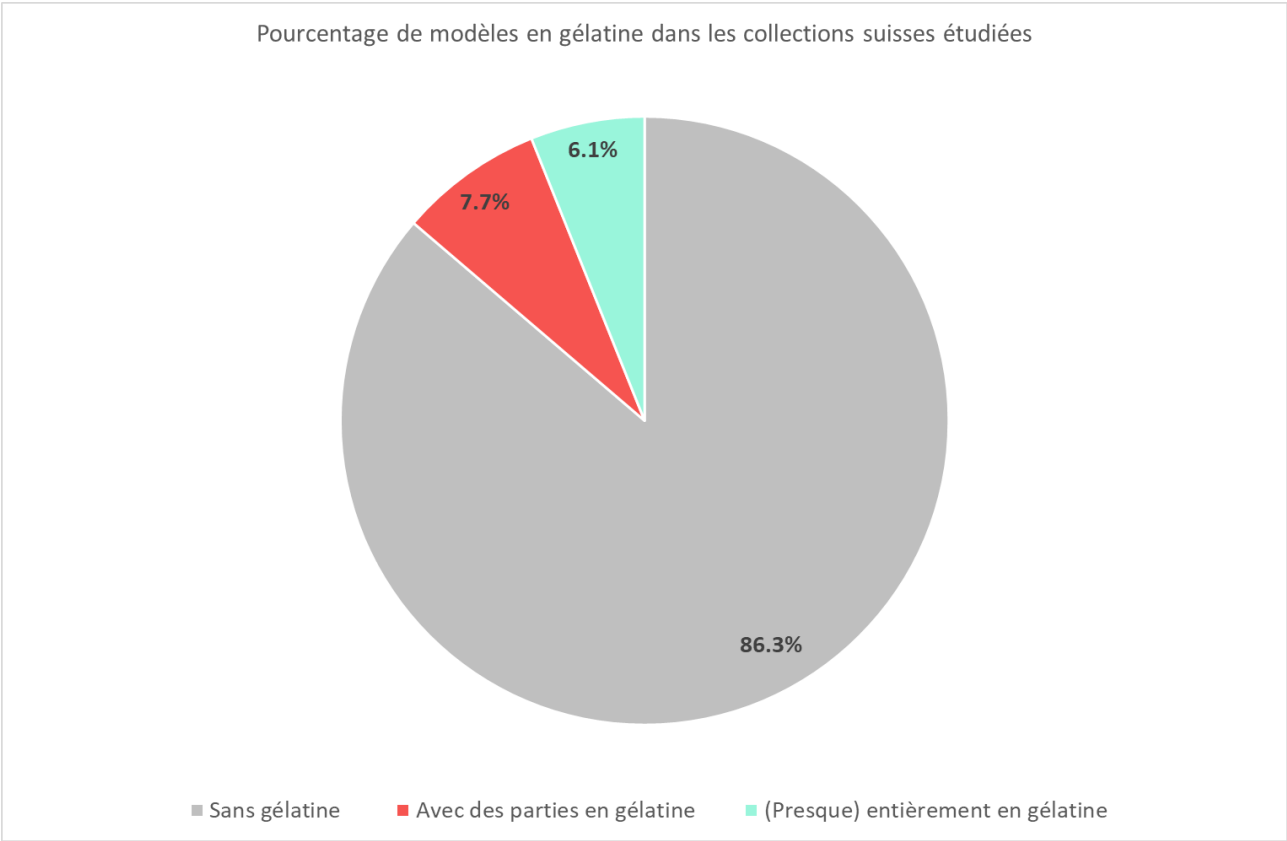


Fig. 184 Représentation graphique du pourcentage d'objets en gélatine dans les collections suisses étudiées

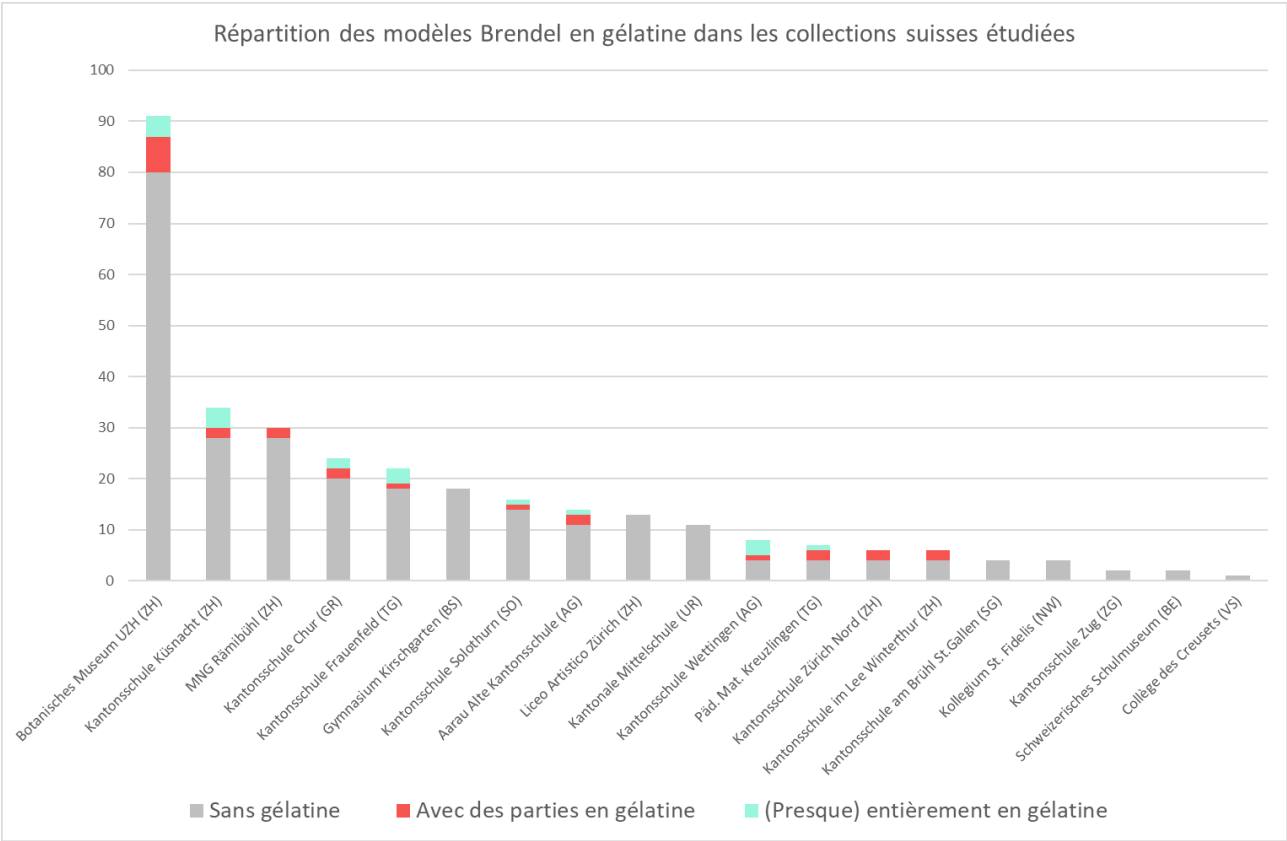


Fig. 185 Représentation graphique des collections suisses étudiées

7.7 Recensement des modèles en gélatine dans les catalogues

MODELES IDENTIFIES PAR * OU DU TEXTE DANS LES CATALOGUES BRENDL									
1900-1901					1913-1914				
Nr	Nom du modèle	Nr	T.	Nom du modèle	Nr	T.	Nom du modèle	Nr	T.
1	Brachythecium	1	*	Brachythecium rutabulum	1	*	Brachythecium rutabulum	1	*
3	Equisetum	3	*	Equisetum arvense - Schildchen	3	*	Equisetum arvense - Schildchen	3	*
4	Equisetum	4	*	Equisetum arvense - Weib. Proth.	4	*	Equisetum arvense - Weib. Proth.	4	*
5	Equisetum	5	*	Equisetum arvense - Män. Proth.	5	*	Equisetum arvense - Män. Proth.	5	*
6	Pteris serrulata	6	*	Pteris serrulata	6	*	Pteris serrulata	6	*
7	Aspidium	7	*	Aspidium Filix mas. - Prothallium	7	*	Aspidium Filix mas. - Prothallium	7	*
8	Aspidium	8	*	Aspidium Filix mas. - Embryo	8	*	Aspidium Filix mas. - Embryo	8	*
9	Chara	9	*	Chara fragilis	9	*	Chara fragilis	9	*
10	d. Penicillium	10	*	d. Penicillium glaucum	10	*	d. Penicillium glaucum	10	*
10	c. Rhizopus	10	*	c. Rhizopus nigricans	10	*	c. Rhizopus nigricans	10	*
10	b. Saccharomyces	10	*	b. Saccharomyces cerevisiae	10	*	b. Saccharomyces cerevisiae	10	*
10	a. Schizomycetes	10	*	a. Schizomycetes	10	*	a. Schizomycetes	10	*
107	Cuscuta Trifolii	107	*	Cuscuta Trifolii - Blüte	107	*	Cuscuta Trifolii - Blüte	107	*
108	Cuscuta Trifolii	108	*	Cuscuta Trifolii - Haustorien	108	*	Cuscuta Trifolii - Haustorien	108	*
145	Pisum sativum	145	*	Pisum sativum - Querschnitt	145	*	Pisum sativum - Querschnitt	145	*
146	Hysoyarnus niger	146	*	Hysoyarnus niger - Querschnitt	146	*	Hysoyarnus niger - Querschnitt	146	*
147	Scilla bifolia	147	*	Scilla bifolia - Querschnitt	147	*	Scilla bifolia - Querschnitt	147	*
148	Hypericum perforatum	148	*	Hypericum perforatum - Querschnitt	148	*	Hypericum perforatum - Querschnitt	148	*
149	Linum usitatissimum	149	*	Linum usitatissimum - Querschnitt	149	*	Linum usitatissimum - Querschnitt	149	*
150	Conium maculatum	150	*	Conium maculatum - Querschnitt	150	*	Conium maculatum - Querschnitt	150	*
151	Foeniculum capillaceum	151	*	Foeniculum capillaceum - Querschnitt	151	*	Foeniculum capillaceum - Querschnitt	151	*
154	Pinus silvestris	154	*	Pinus silvestris - Kiefer-Keimung	154	*	Pinus silvestris - Kiefer-Keimung	154	*
155	Pteris serrulata	155	*	Pteris serrulata - Tetradenbildung	155	*	Pteris serrulata - Tetradenbildung	155	*
156	Pinus silvestris - Behälter Tüpfel	156	*	Pinus silvestris - Behälter Tüpfel	156	*	Pinus silvestris - Behälter Tüpfel	156	*
189	Pediastrum Boryanum	189	*	Pediastrum Boryanum	189	*	Pediastrum Boryanum	189	*
190	Pinus silvestris - Tracheide	190	*	Pinus silvestris - Tracheide	190	*	Pinus silvestris - Tracheide	190	*
194	Diatomeen-Modell: Pinnularia major	194	*	Diatomeen-Modell: Pinnularia major	194	*	Diatomeen-Modell: Pinnularia major	194	*
196	Spaltöffnung von Helleborus foetidus L.	196	*	Spaltöffnung von Helleborus foetidus L.	196	*	Spaltöffnung von Helleborus foetidus L.	196	*
201	Tulipa Gesneriana L.	201	*	Tulipa Gesneriana L.	201	*	Tulipa Gesneriana L.	201	*
205	T. Spirogyra	205	*	Spirogyra	205	T.	Spirogyra	205	T.
				Brennhaar von Urtica	223	*	Brennhaar von Urtica	223	*
				Drüsenhaar von Primula sinensis	224	*	Drüsenhaar von Primula sinensis	224	*

MODELES NON IDENTIFIES DANS LES CATALOGUES MAIS DE LA GÉLATINE A ÉTÉ OBSERVÉE SUR LES PIÈCES									
1885					1900-1901				
Nr	Nom du modèle	Nr	Nom du modèle	Nr	Nom du modèle	Nr	Nom du modèle	Nr	Nom du modèle
1	Brachythecium	13	a. Scale cereale - Roggenkorn-Frucht	13	a. Scale cereale - Roggenkorn-Frucht	13	a. Scale cereale - Roggenkorn-Frucht	13	a. Scale cereale - Roggenkorn-Frucht
3	Equisetum	93	Geranium phaeum.	93	Geranium phaeum.	93	Geranium phaeum.	93	Geranium phaeum.
4	Equisetum	102	Aristolochia Siphon	102	Aristolochia Siphon	102	Aristolochia Siphon	102	Aristolochia Siphon
5	Equisetum	141	Marchantia polymorpha	141	Marchantia polymorpha	141	Marchantia polymorpha	141	Marchantia polymorpha - Archegonium
6	Pteris serrulata	165	Anatropes Ovulum	165	Anatropes Ovulum	165	Anatropes Ovulum	165	Anatropes Ovulum
7	Aspidium	166	Campylotropes Ovulum	166	Campylotropes Ovulum	166	Campylotropes Ovulum	166	Campylotropes Ovulum
8	Aspidium								
93	Geranium								
102	Aristolochia								
107	Cuscuta Trifolii								
108	Cuscuta Trifolii								
-	Scale cereale								

## 7.8 Prises d'échantillons

### 7.8.1 Protocole d'échantillonnage

Basé sur la norme AFNOR NF EN 16085 « Conservation des biens culturels : Méthodologie d'échantillonnage des matériaux – Règles générales<sup>208</sup> » :

- 1) Choix des zones de prélèvements : Les zones de prélèvement se doivent d'être représentatives de la problématique soulevée, mais le moins visible possible. Des zones cachées à l'œil nu ou les bords des cassures/lacunes peuvent être adaptés. Les zones de prélèvement sont cartographiées (ci-dessous). Les zones choisies ont été soumises et validées par Dr. Kocyan, conservateur de la collection.
- 2) Prélèvement : Les échantillons ont été prélevés à l'aide de pinces plates, de brucelles et d'une lame de scalpel. Tous les outils ont été nettoyés au préalable et entre chaque prélèvement avec de l'éthanol pour éviter la contamination des échantillons.
- 3) Conservation : Les échantillons ont ensuite été placés dans des éprouvettes numérotées en polypropylène PP fermées avec un bouchon.

### 7.8.2 Cartographie des prélèvements

Les prélèvements sont désignés par un nom codifié. En premier lieu vient la première lettre du modèle « B » pour brachytecium et « E » pour equisetum. Ensuite vient, les différents exemplaires sont différenciés par des lettres « a, b, c, ...etc. ». Ensuite vient un chiffre par pièce pour les objets démontables, puis tout à la fin le numéro du prélèvement.

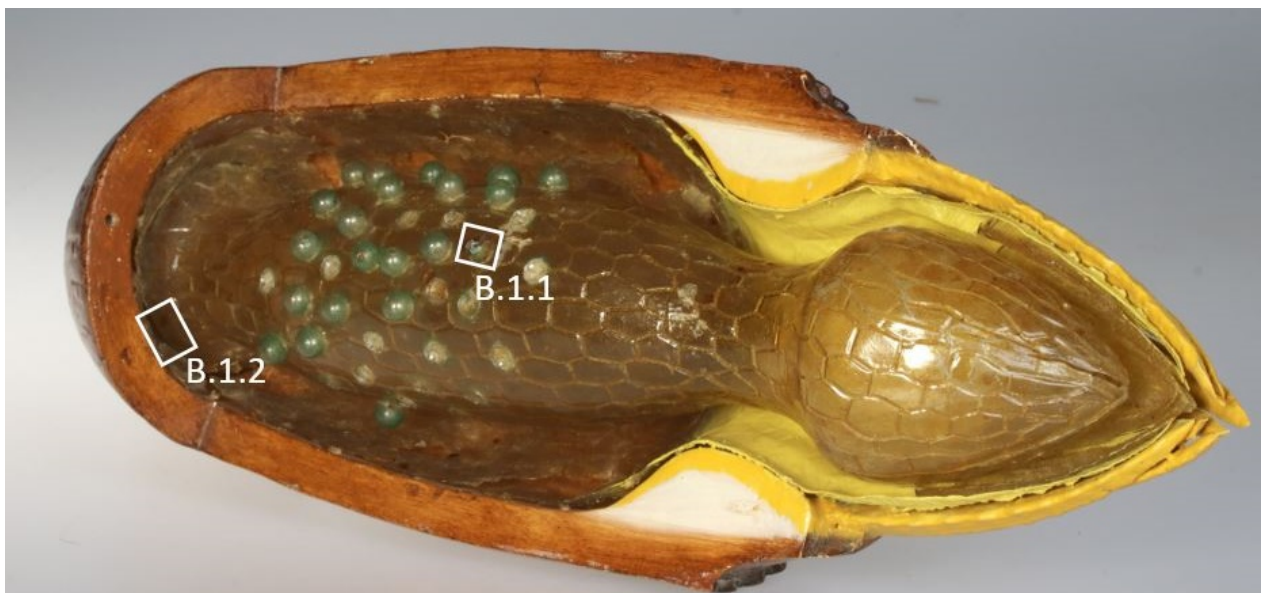


Fig. 186 Cartographie des prélèvements d'échantillons : *Brachytecium* (Nr 1) Botmus, base de la capsule (**B.1**)

<sup>208</sup> AFNOR, 2013, p.219-227

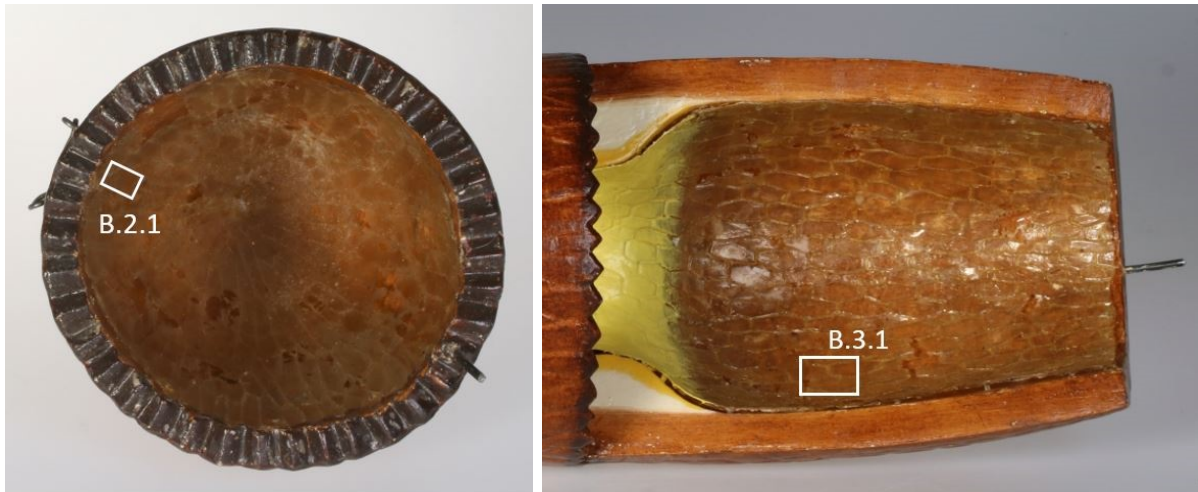


Fig. 187 Cartographie des prélèvement d'échantillons : *Brachythecium* (Nr 1) Botmus, chapeau (**B.2**) et dessus de la capsule (**B.3**)



Fig. 188 Cartographie des prélèvement d'échantillons : *Brachythecium* (Nr 1) Botmus, capuchon (**B.4**)





Fig. 189 Cartographie des prélèvement d'échantillons : *Equisetum* (Nr 1) Botmus (**Ea.1**)

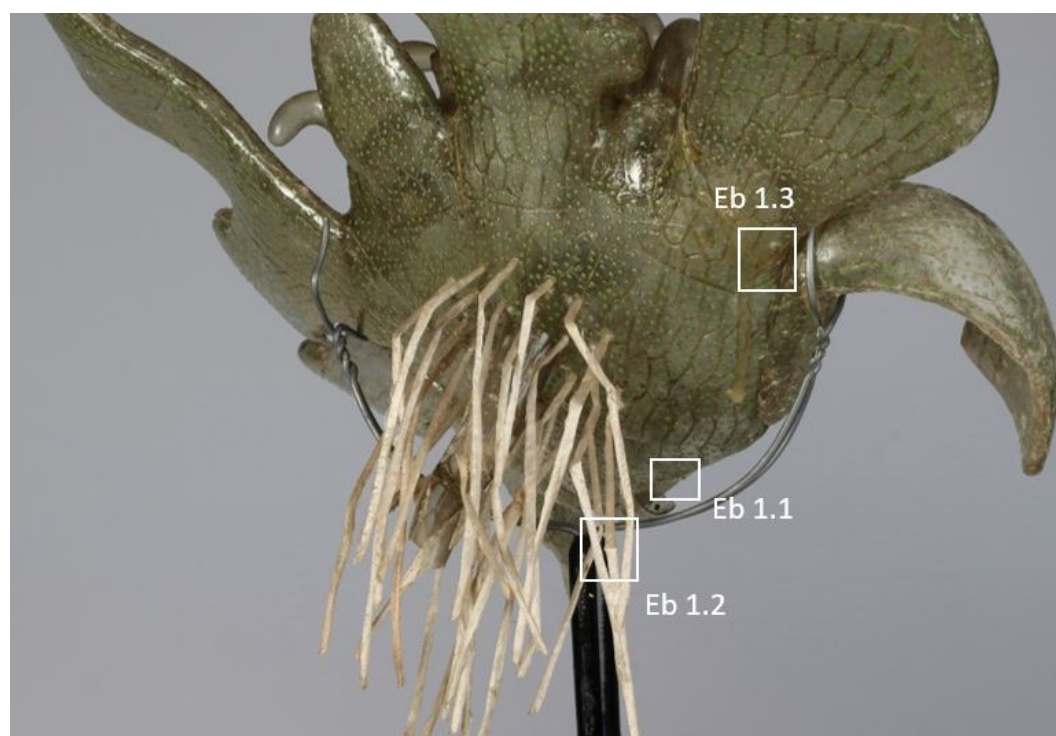


Fig. 190 Cartographie des prélèvement d'échantillons : *Equisetum* (Nr 1) Küsnacht (**Eb.1**)

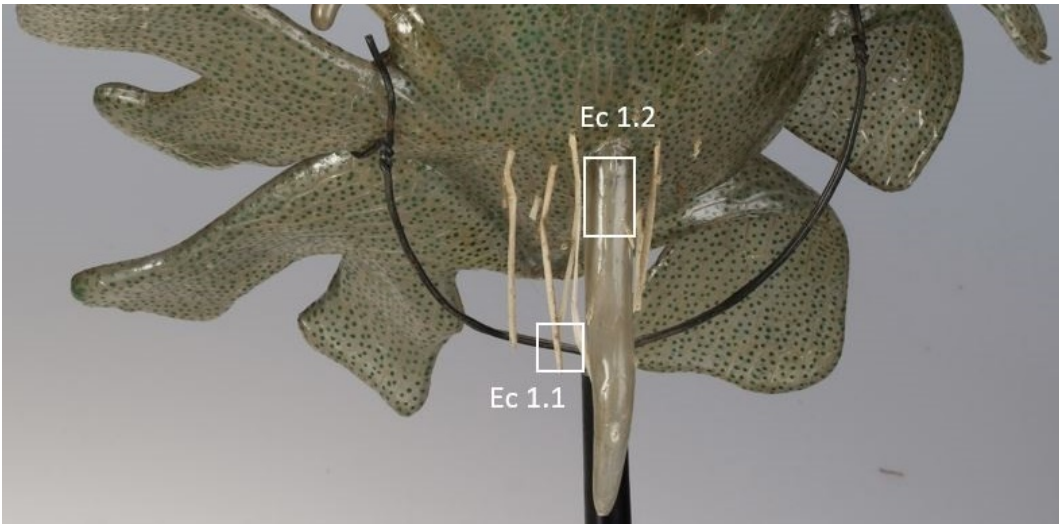



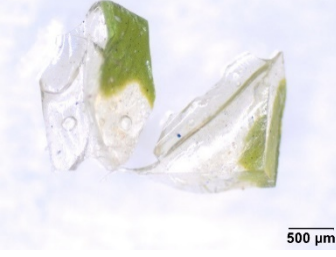


Fig. 191 Cartographie des prélèvement d'échantillons : Equisetum (Nr 1) Burgdorf (Ec.1)

7.8.3 Description des échantillons

	<b>B.1.1.</b> Adhésif jaune/brun, dur et cassant, de réparation des spores sur la columella.		<b>B.1.2.</b> Morceau de membrane translucide à la jonction columella-paroi, matériau de base de l'objet
	<b>B.2.1.</b> Morceau de membrane translucide perforée sur la paroi, matériau de base de l'objet		<b>B.3.1.</b> Morceau de membrane translucide perforée sur la paroi, matériau de base de l'objet
	<b>B.4.1.</b> Ruban adhésif bruni, cassant		<b>B.4.2.</b> Ruban adhésif transparent, incolore et brillant.
	<b>B.4.3.</b> Ruban adhésif transparent, incolore et brillant.		<b>B.4.4.</b> Ruban adhésif translucide, incolore et mat.



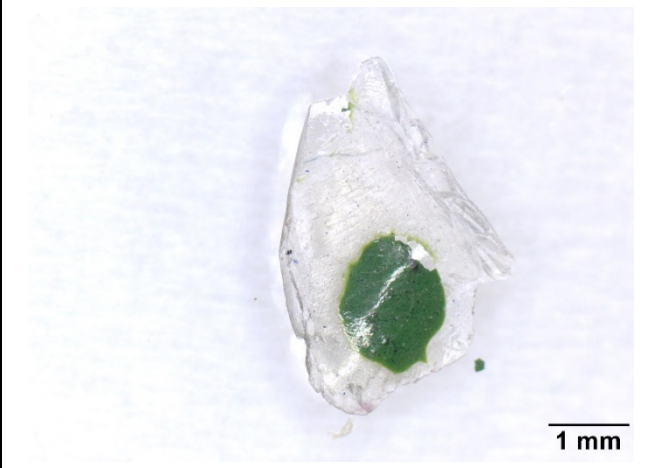
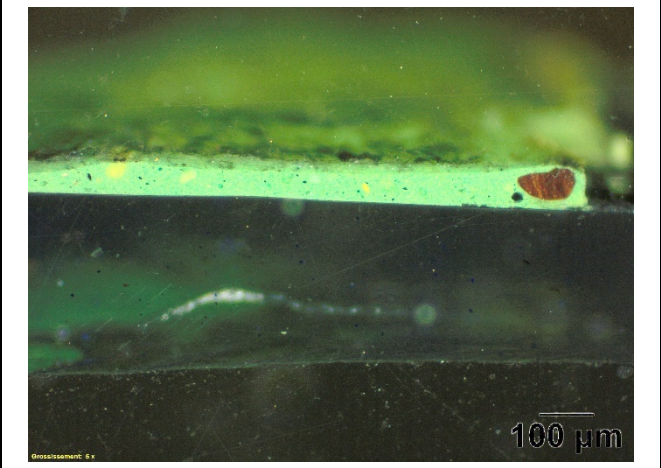
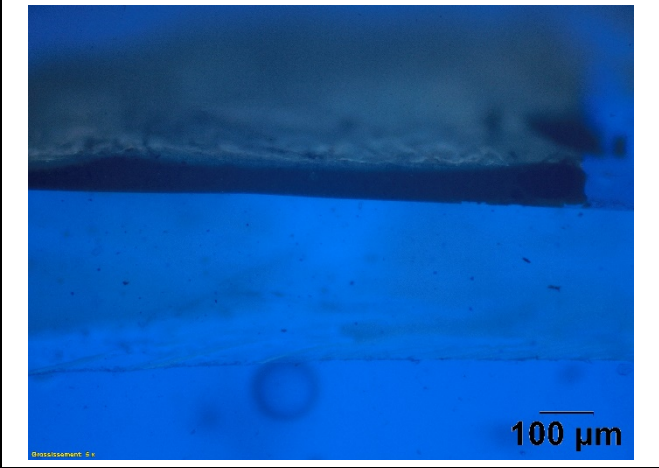
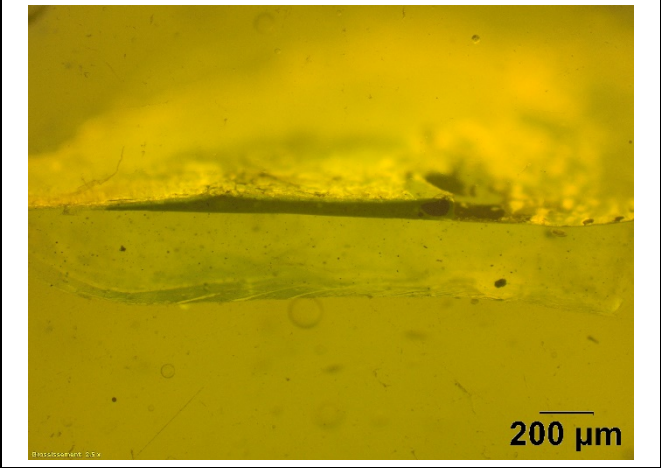
	<p><b>B.4.5.</b></p> <p>Ruban adhésif transparent et jauni. Très cassant.</p>		<p><b>B.4.6.</b></p> <p>Morceau de membrane translucide sur le bord d'une lacune, matériau de base de l'objet</p>
	<p><b>Ea.1.1.</b></p> <p>Echantillon de la masse de base du modèle, avec un point de peinture.</p>		<p><b>Ea.1.2.</b></p> <p>Echantillon de la masse qui recouvre une ligne d'assemblage interne, ressemble à un débordement d'un collage.</p>
	<p><b>Ea.1.3.</b></p> <p>Echantillon de la zone de couleur brune à la base du modèle.</p>		<p><b>Ea.1.4.</b></p> <p>Echantillon de l'adhésif jauni, avec beaucoup de bulles, ayant servi à recoller des parties cassées en gélatine.</p>
	<p><b>Ea.1.5.</b></p> <p>Echantillon du textile à l'arrière du modèle.</p>		<p><b>Eb.1.1.</b></p> <p>Echantillon de la masse de base du modèle, avec un point de peinture.</p>
	<p><b>Eb.1.2.</b></p> <p>Echantillon du textile à l'arrière du modèle</p>		<p><b>Eb.1.3.</b></p> <p>Echantillon de l'adhésif fortement jauni, sans bulles, ayant servi à recoller des parties cassées en gélatine.</p>
	<p><b>Ec.1.1.</b></p> <p>Echantillon du textile à l'arrière du modèle</p>		<p><b>Ec.1.2.</b></p> <p>Echantillon de la masse de base du modèle, sans peinture.</p>

7.9 Coupes enrobées

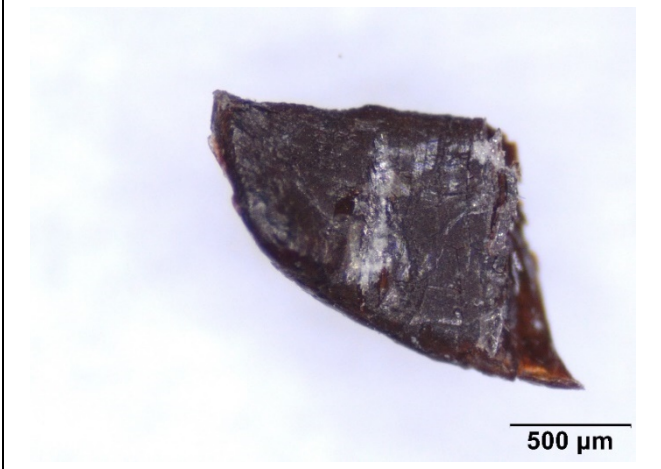
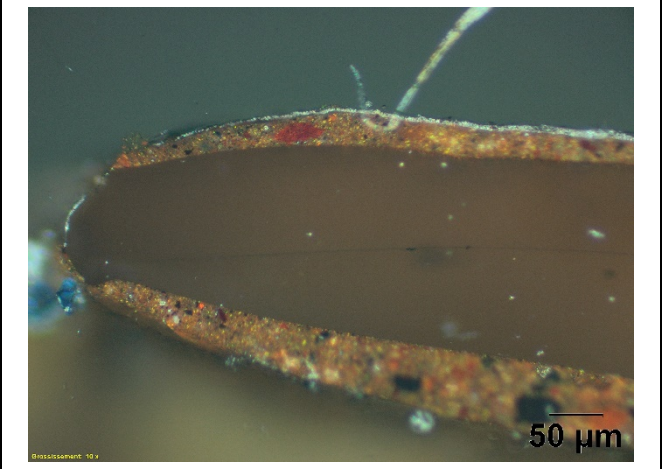
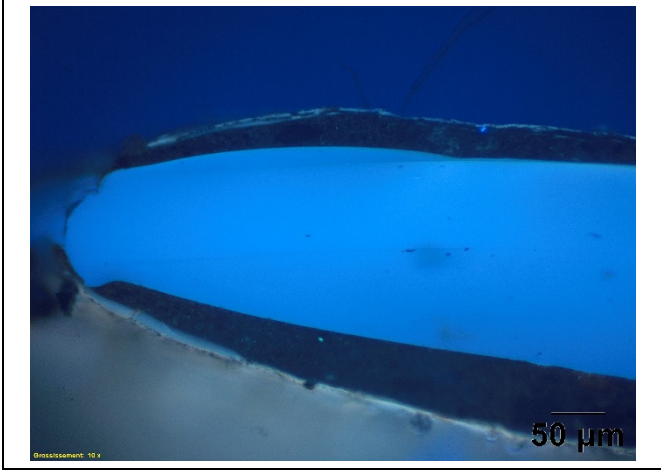
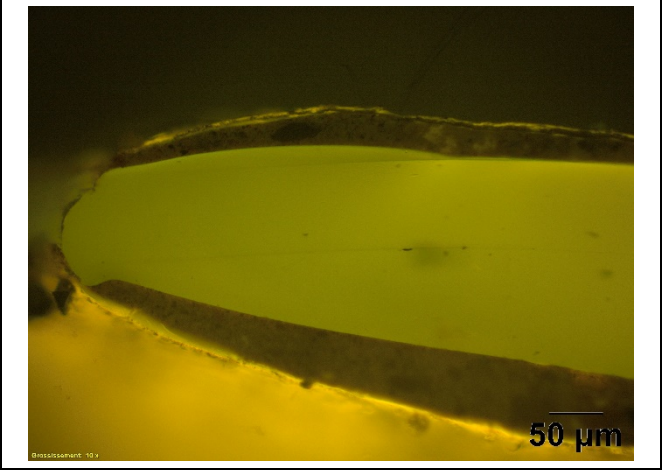
7.9.1 Préparation

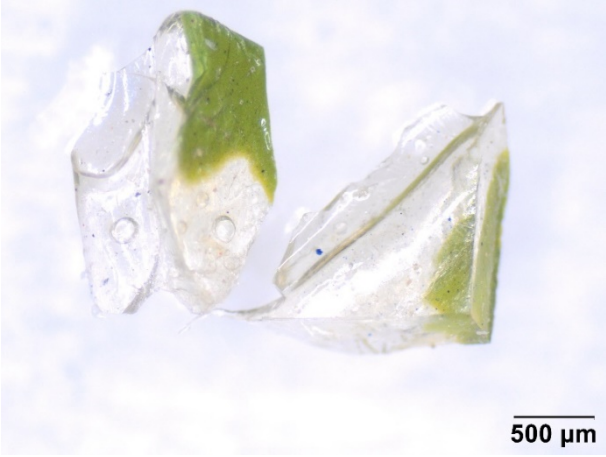
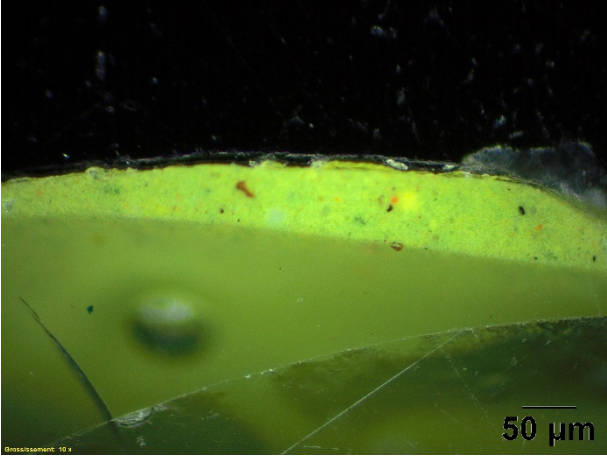
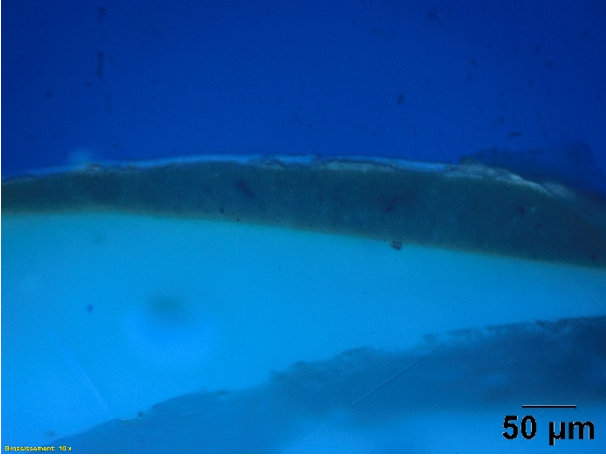
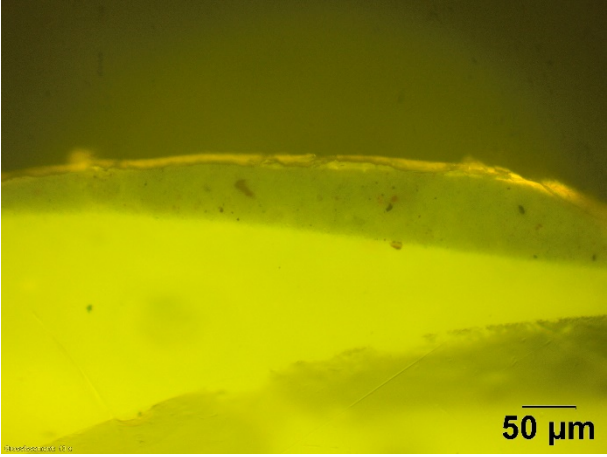
6 échantillons provenant des 4 objets sélectionnés pour les prélèvements ont été enrobés dans une résine époxyde EpoFix de Stuers puis poli pour obtenir une vue en coupe plane. Le polissage s’est fait à sec (pour éviter une déformation due aux solvants sur la gélatine ou le vernis). En premier lieu avec l’aide de Micromesh® (1000, 4000 et 8000) puis sur un disque de velours avec du diamant 1µm, avec l’aide de Mme Catherine Cséfalvay à Microcity SA à la Chaux-de-Fond.


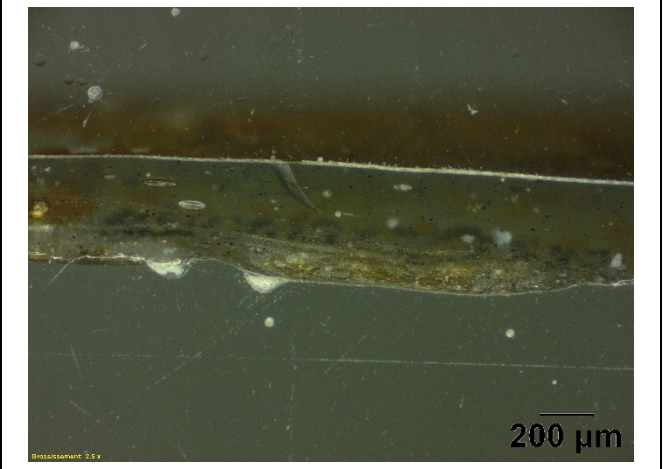
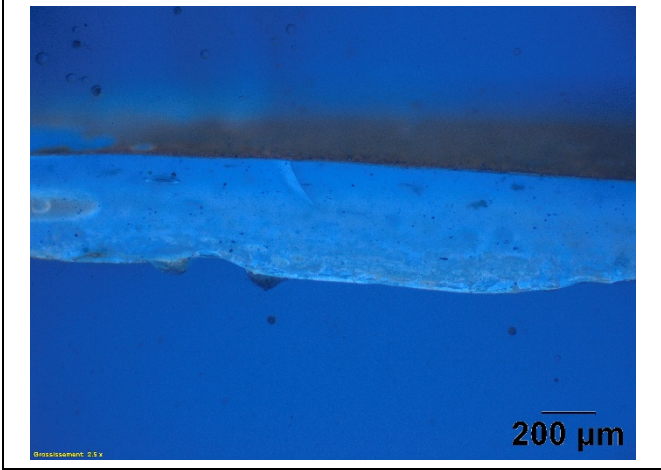
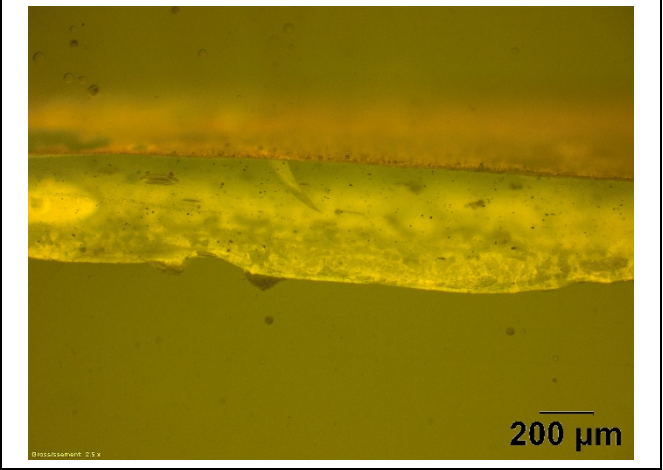
7.9.2 Description des coupes

Echantillon Ea.1.1	
Vue au binoculaire	Lumière polarisée
	
UV 340-380 nm	UV 450-490 nm
	

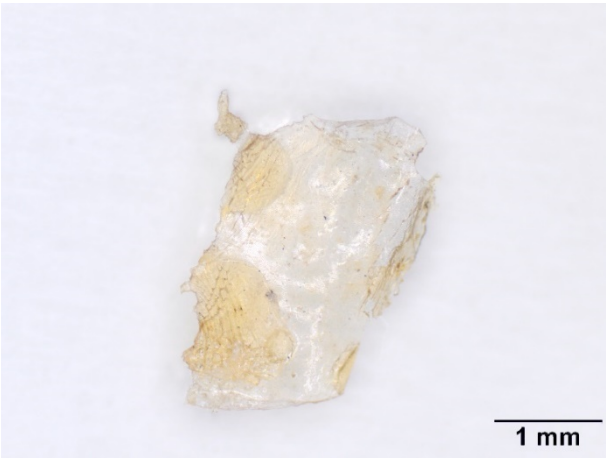
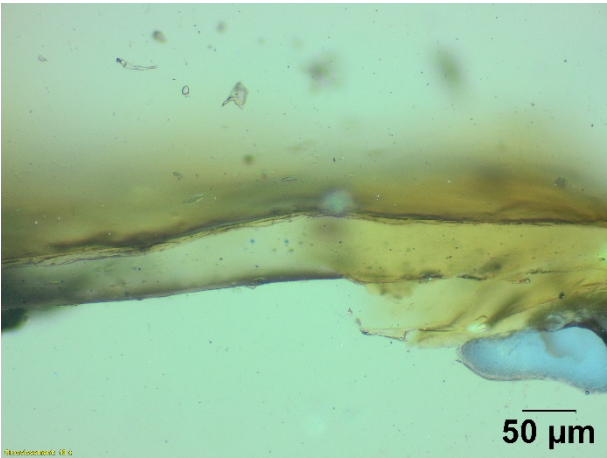
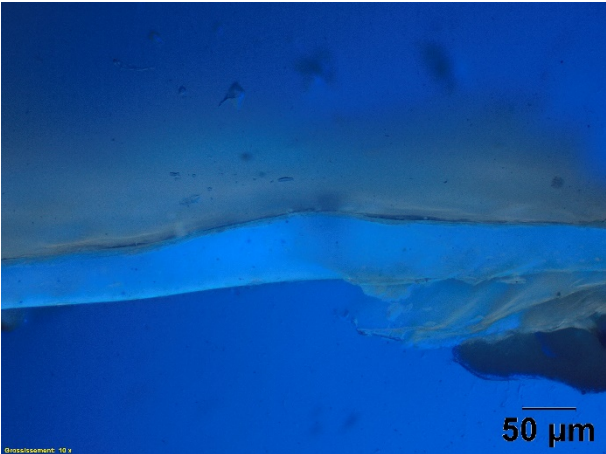
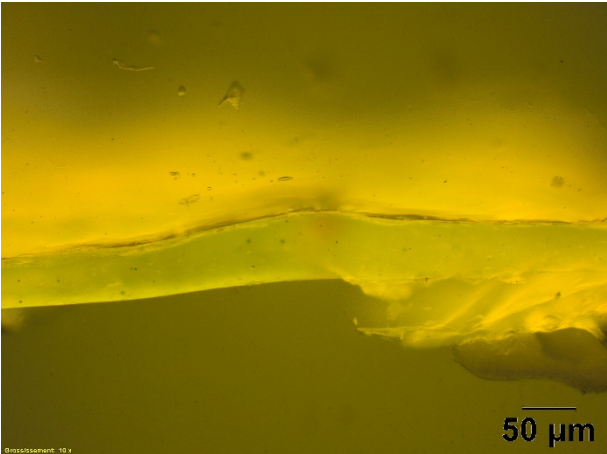


Echantillon Ea.1.3	
Vue au binoculaire	Lumière polarisée
	
UV 340-380 nm	UV 450-490 nm
	


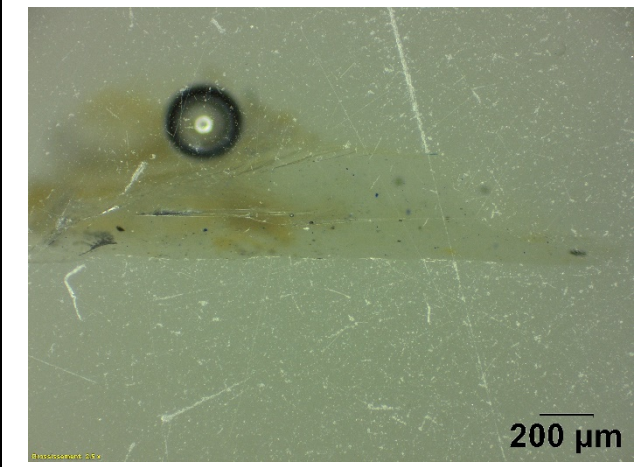
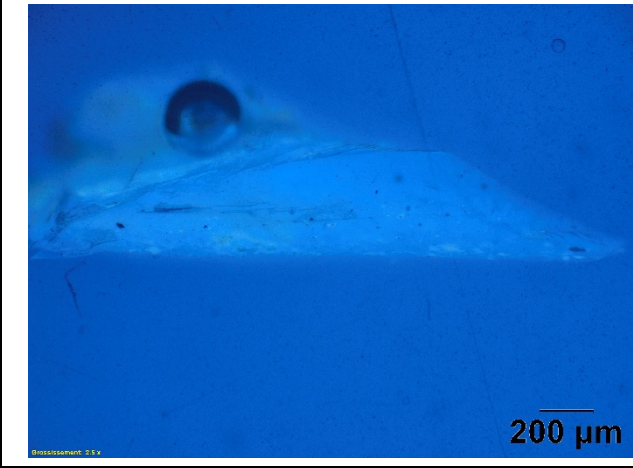
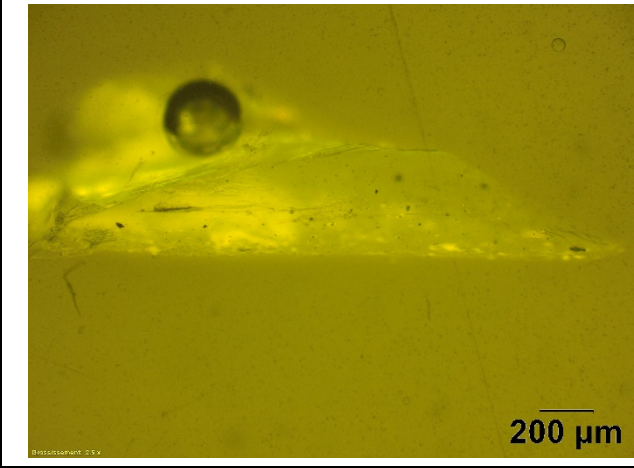
Echantillon Eb.1.1	
Vue au binoculaire	Fond noir
	
UV 340-380 nm	UV 450-490 nm
	

Echantillon Ec.1.2	
Vue au binoculaire	Fond noir
 <p>1 mm</p>	 <p>200 μm</p>
UV 340-380 nm	UV 450-490 nm
 <p>200 μm</p>	 <p>200 μm</p>



Echantillon B.3.1	
Vue au binoculaire	Lumière polarisée
	
UV 340-380 nm	UV 450-490 nm
	



Echantillon B.4.6	
Vue au binoculaire	Fond noir
 1 mm	 200 μm
UV 340-380 nm	UV 450-490 nm
 200 μm	 200 μm

## 7.10 Tests

### 7.10.1 Solvants utilisés

Tableau 16 Paramètres de solubilité des solvants utilisés

Solvants purs <sup>209</sup>				
N°	Solvant	F <sub>d</sub>	F <sub>p</sub>	F <sub>h</sub>
1	Eau	18	28	54
2	Glycérol	25	23	52
3	Éthanol	36	18	46
4	Alcool benzylique	48	16	36
5	Lactate d'éthyle	44	21	35
6	Acétate d'éthyle	51	18	31
7	Acétone	47	32	21
8	Ess. Térébenthine	77	18	5
9	Shellsol A	96	2	2
10	Ligroïne	97	2	1
11	Isooctane	98	1	1
12	n-hexane	100	0	0

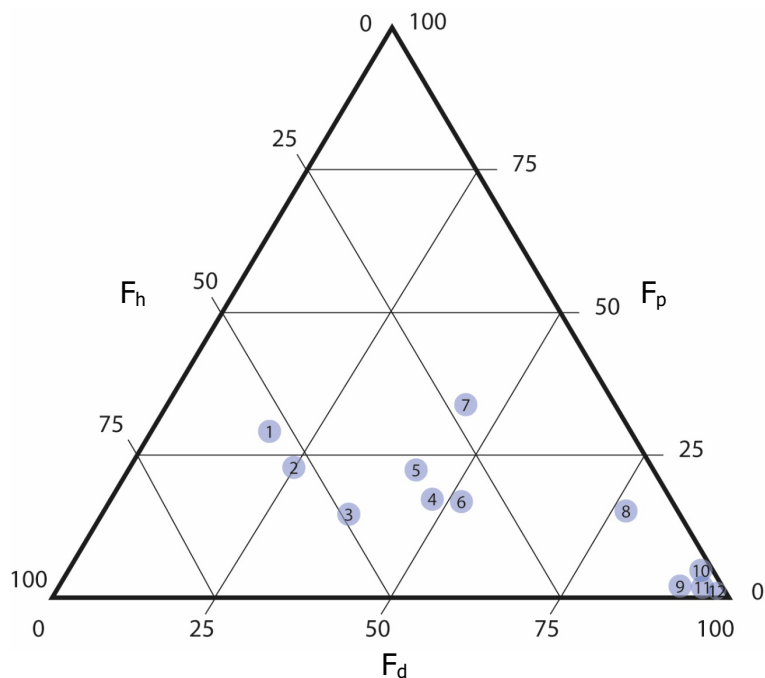
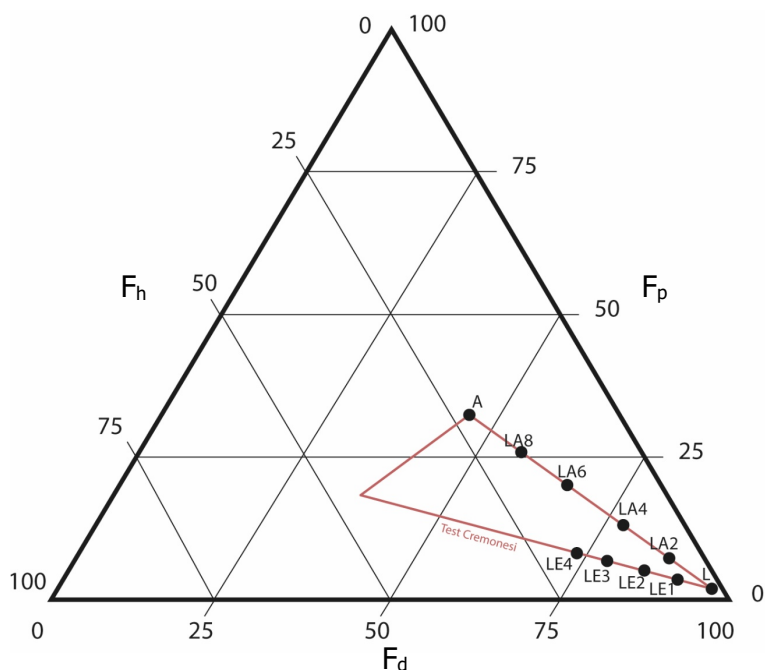


Tableau 17 Paramètres de solubilité des mélanges de solvants utilisé

Mélanges de solvants Cremonesi						
Code	Solvant en % (vol.)			F <sub>d</sub>	F <sub>p</sub>	F <sub>h</sub>
	Ligroïne	Éthanol	Acétone			
L	100	0	0	97	2	1
LA2	80	0	20	87	8	5
LA4	60	0	40	77	14	9
LA6	40	0	60	67	20	13
LA8	20	0	80	57	26	17
A	0	0	100	47	32	21
LE1	90	10	0	91	4	5
LE2	80	20	0	85	5	10
LE3	70	30	0	79	7	14
LE4	60	40	0	73	8	19



<sup>209</sup> L'ensemble des paramètres de solubilité des solvants sont tirés de Cremonesi, 2011, p.6 ou Torraca, 1990, p.55-61.

7.10.2      Test de réactivité aux solvants sous microscope

Le but était de mettre un échantillon dans une atmosphère saturée en vapeur du solvant choisi, et de prendre des photographies microscopiques à intervalle régulier.

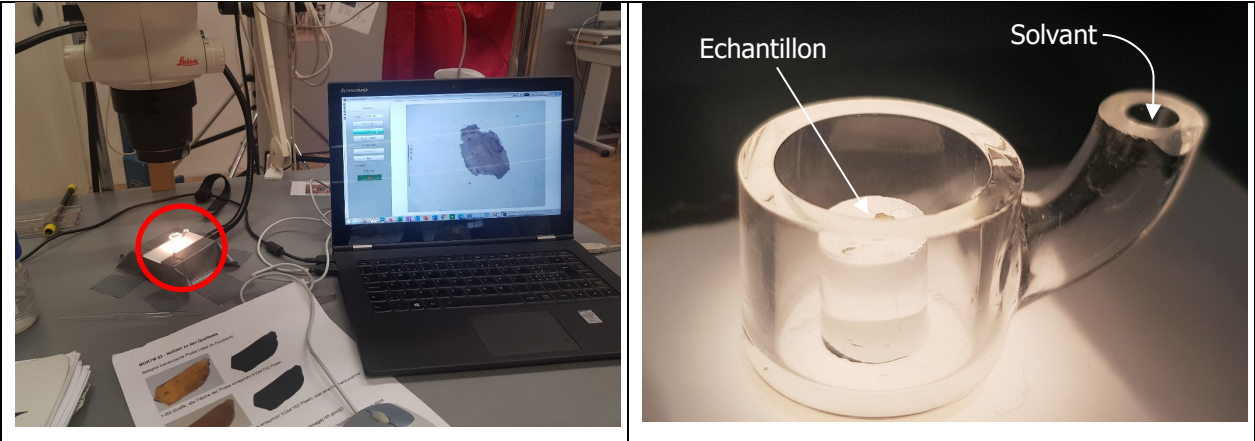


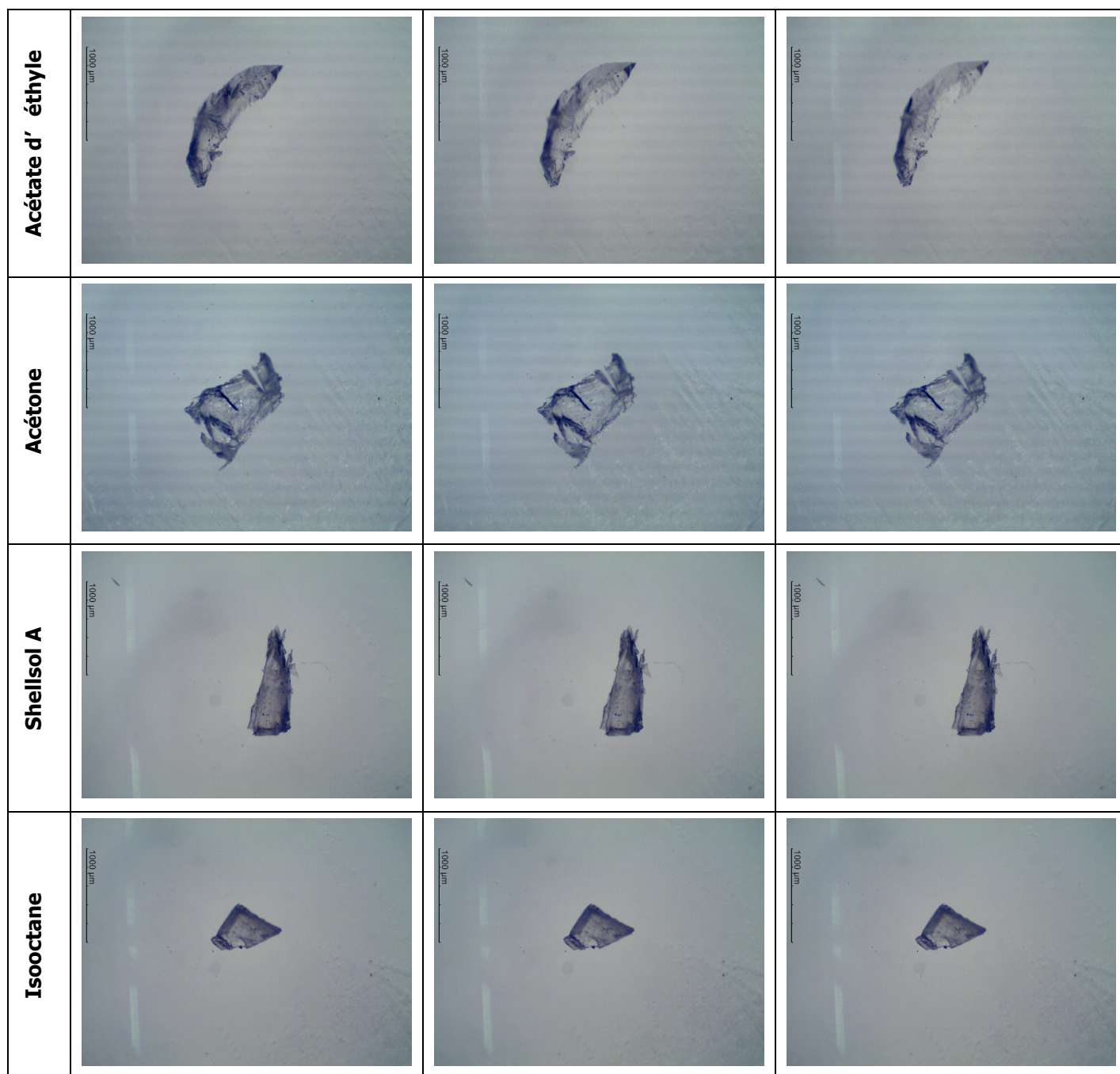
Fig. 192 Installation pour le test de réactivité. Une fois l'échantillon et le solvant mis en place les ouvertures de l'enceinte sont couvertes de lamelles en verre pour créer l'enceinte saturante

Ainsi il est possible d'observer le gonflement ou non de l'échantillon au fil des secondes. Si le solvant interagit avec l'échantillon, visuellement celui-ci se dilatera et/ou changera son indice de réfraction (généralement il devient plus translucide).

Tableau 18 Test de réactivité aux solvants pour la gélatine Brendel


Test Gélatine Brendel (Échant. Ea.1.1)			
	0 min	2 min 30 s	4 min 30 s
Eau déionisée			
Ethanol			





### Résultats des réactions des échantillons de gélatine aux solvants

Eau déionisée	Ethanol	Acétate d'éthyle	Acétone	Shellsol A	Isooctane
Réaction rapide est forte		Réaction modérée	Réaction faible	Pas de réaction	



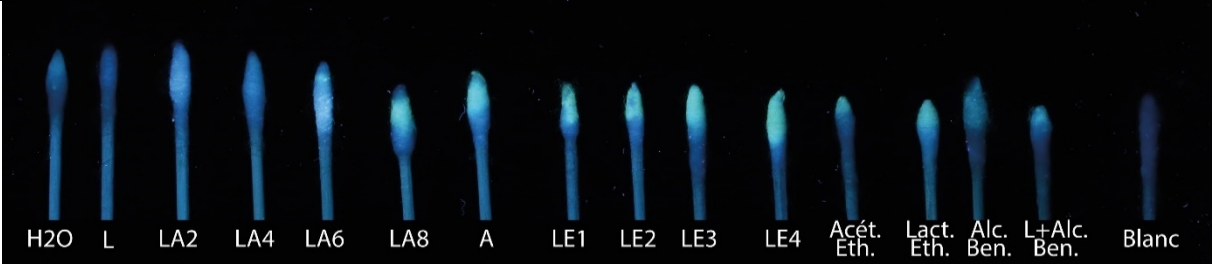
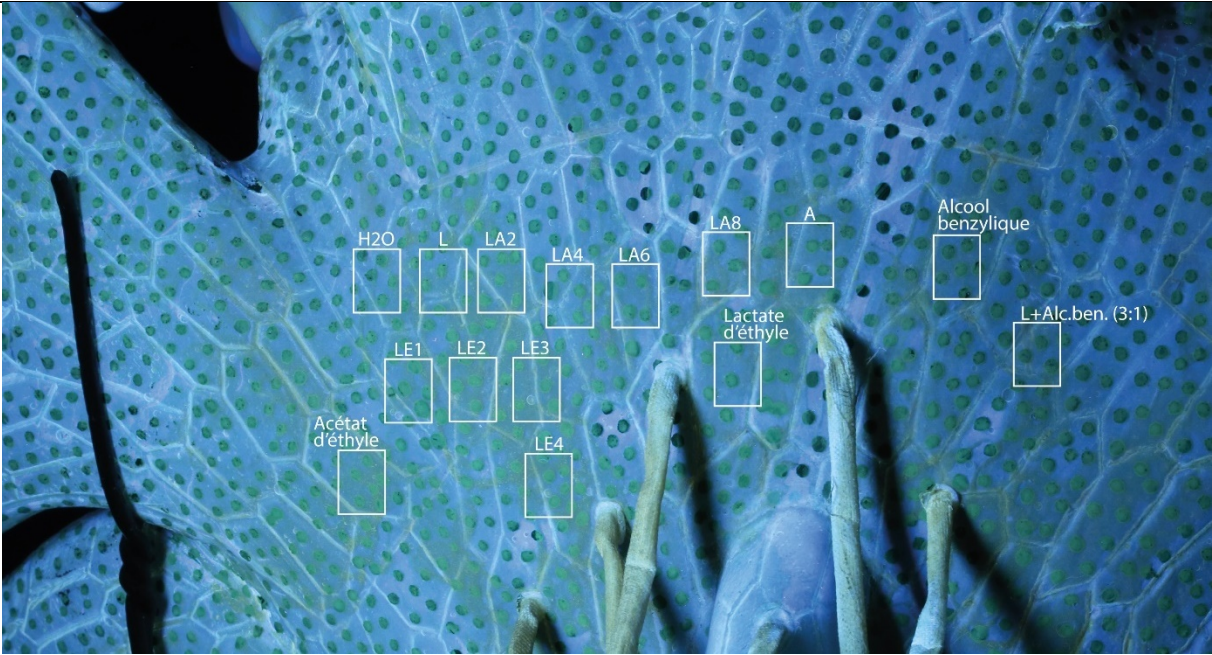



**Polaire**  **Apolaire**

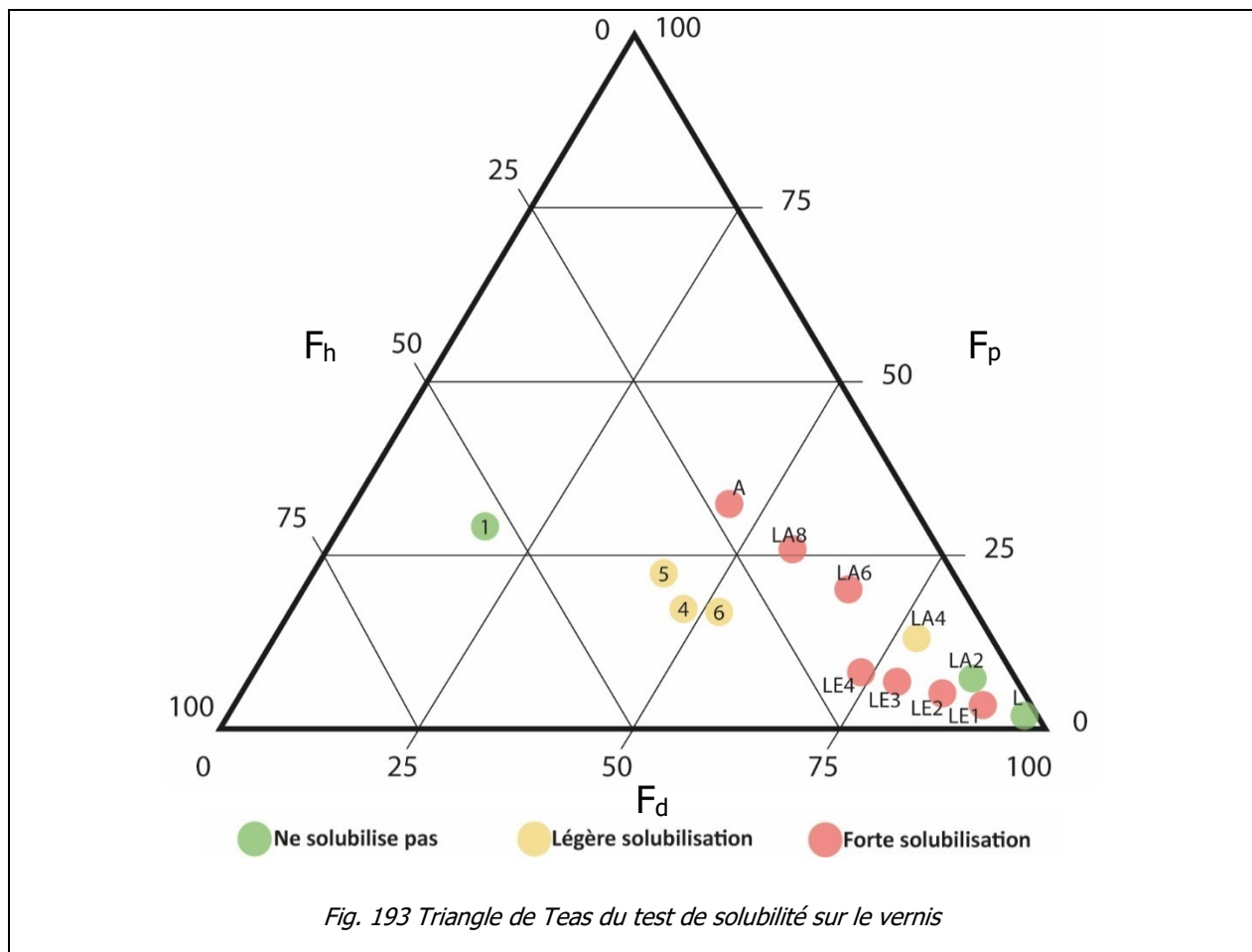
La gélatine est donc réactive aux solvants polaires, plus particulièrement l'eau et l'éthanol.

7.10.3      Test de solubilité

Le vernis a été testé avec une partie du Test de Cremonesi (mélanges à base de Lignoïne-Acétone-Ethanol (Tableau 17, p.184) et plusieurs solvants intéressants pour ce travail (eau, acétate et lactate d'éthyle, alcool benzylique).

Un bâtonnet ouaté, légèrement imbibé de solvant, est roulé 3-4 fois sur la surface sans exercer de pression. Les zones de tests ont toutes été choisies au dos du modèle Equisetum (Nr 4), dans des parties où le vernis était relativement uniforme et épais. Ainsi, même si le solvant solubilisait partiellement le vernis, le test restait invisible.

Test de solubilité évalué sous rayonnement UV (360nm)		
		
		
 Ne solubilise pas	 Légère solubilisation	 Forte solubilisation
H2O ; L ; LA2	LA4 ; Acét.Eth. ; Lact.Eth. ; Alc.Ben. ; L+Alc.Ben (3:1)	LA4 ; LA6 ; LA8 ; A ; LE1 ; LE2 ; LE3 ; LE4



**Résultat** : le vernis est sensible à la majeure partie des solvants polaires, à l'exception de l'eau. Les mélanges contenant des alcools sont particulièrement efficaces pour solubiliser le vernis.

#### 7.10.4 Spot-test Amino Black 3

Le spot-test Amino Black (AB), basé sur un colorant azoïque (Bleu/Noir Naphtol 10B) est l'un des spot-test couramment utilisés aujourd'hui en conservation pour distinguer les différents matériaux protéiques<sup>210</sup>. La coloration bleue positive est due à une réaction acido-basique entre le colorant et les groupes fonctionnels des protéines. Il peut être formulé en trois solutions différentes en fonction du pH (AB1, acide ; AB2, acidité modérée ; AB3 neutre) qui peuvent être utilisées pour obtenir une certaine différenciation entre les types de protéines (jaune d'œuf, caséine, colle animale, gélatine). Le mélange Amino Black 3 est spécifiquement utilisé pour identifier la gélatine<sup>211</sup>.

<sup>210</sup> Sandu *et al.*, 2012, p.864-865

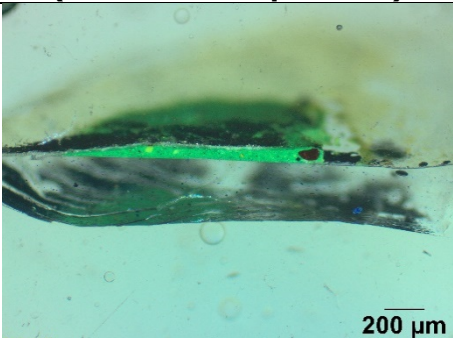
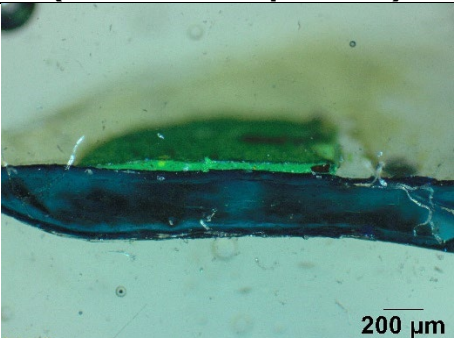
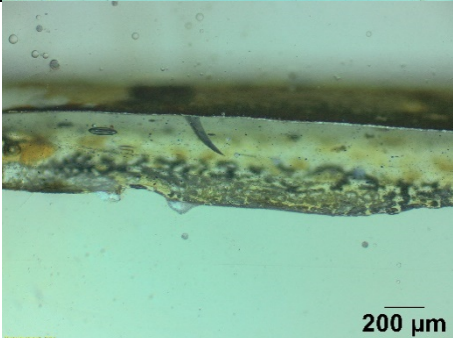
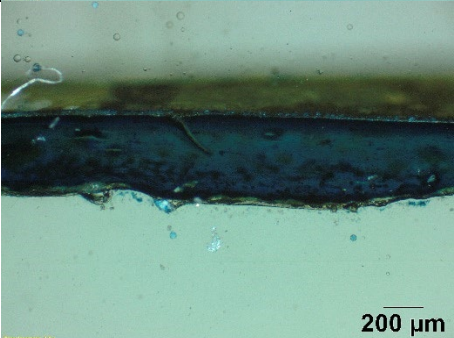
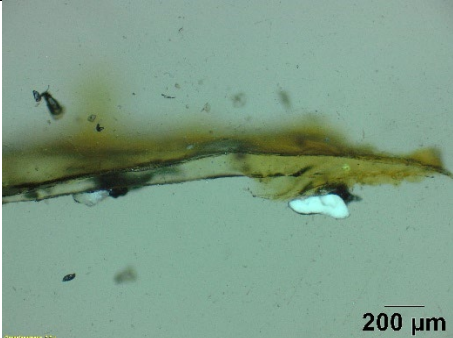
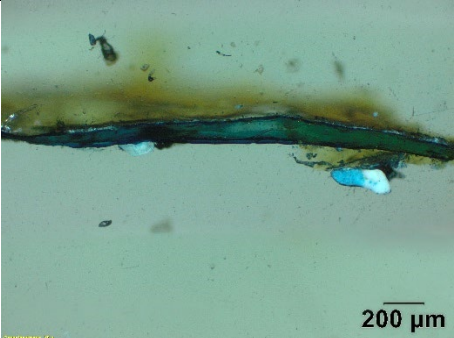
<sup>211</sup> Ibid.



Staining Agent	Preparation	Positive Response and the Specific Color of the Stain
Amido Black AB3	1 g of agent is dissolved in 900 mL water and 100 mL glycerin. The solution is let to react for 5 min on the cross section and than washed with a 1% aqueous solution of acetic acid (Martin, 1977; Spring, 1991).	A <b>blue</b> color indicates the presence proteins of <i>gelatins</i> and <i>casein</i> .

Fig. 194 Déroulement du spot-test Amino Black 3 ©Sandu et al. 2012

La solution ci-dessus a été préparée puis appliquée sur trois des coupes d'échantillons de gélatine prélevés sur les modèles Brendel. Après un contact de 5 min, la solution AB3 a été rincée avec une solution aqueuse de 1% d'acide acétique glaciale. Tous les échantillon ont eu une coloration bleue qui est un résultat positif à la présence de gélatine. Les parties poreuses comme le vernis se sont imprégnées de la teinture mais pas réellement colorés comme la gélatine.

Echantillon	Avant (vue en lumière polarisée)	Après spot-test Amino Black 3 (vue en lumière polarisée)
Ea.1.1		
Ec.1.2		
B.3.1		

## 7.11 Mesures de pH et conductivité

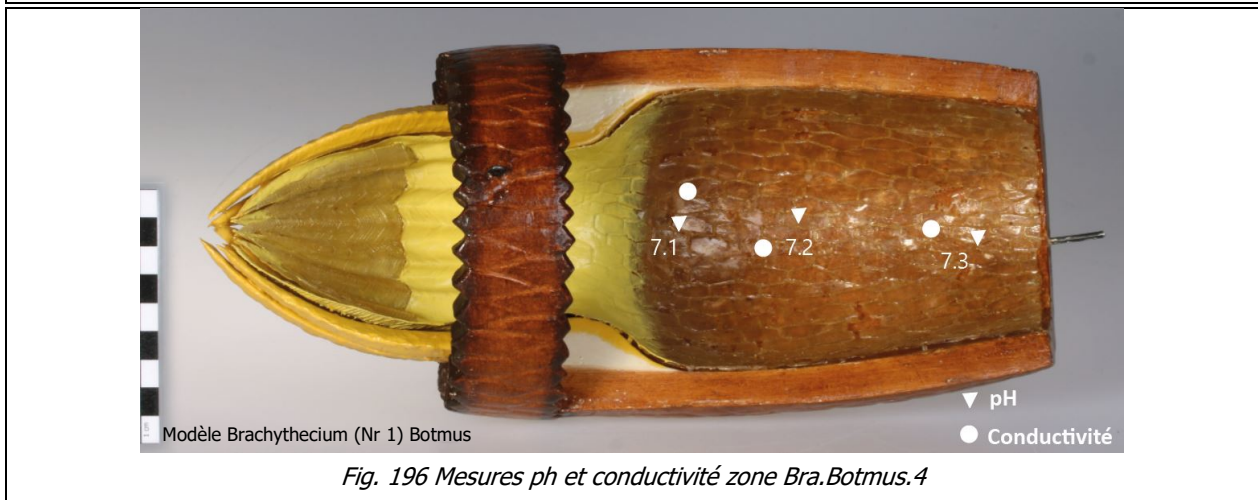
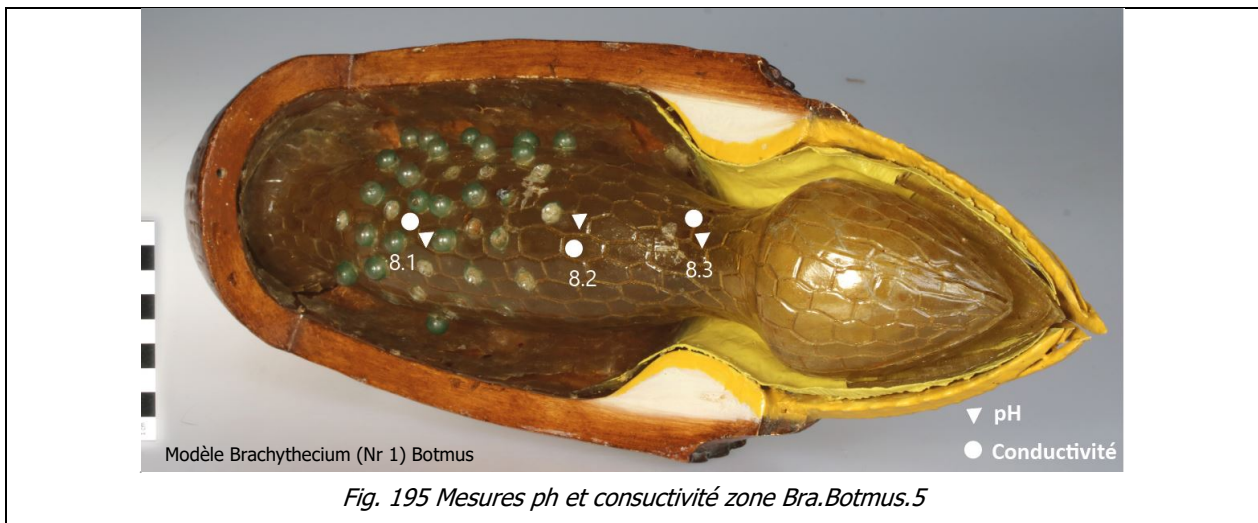






Fig. 198 Mesures ph et conductivité zones *Bra.Botmus.1* et *Bra.Botmus.3*

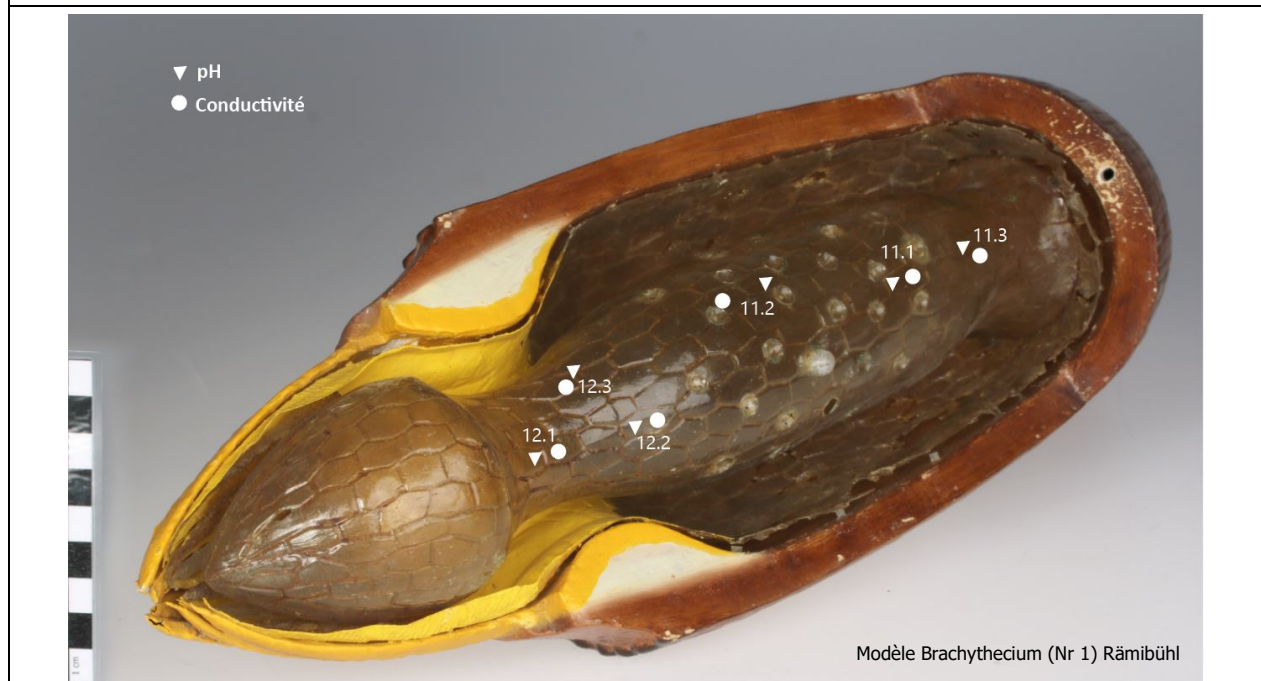


Fig. 199 Mesures ph et conductivité zones *Bra.Rämi.1* et *Bra.Rämi.2*





Fig. 200 Mesures ph et conductivité zones Eq.Botmus.1, Eq.Botmus.2, Eq.Botmus.3



Fig. 201 Mesures ph et conductivité zone Eq.Burg.1

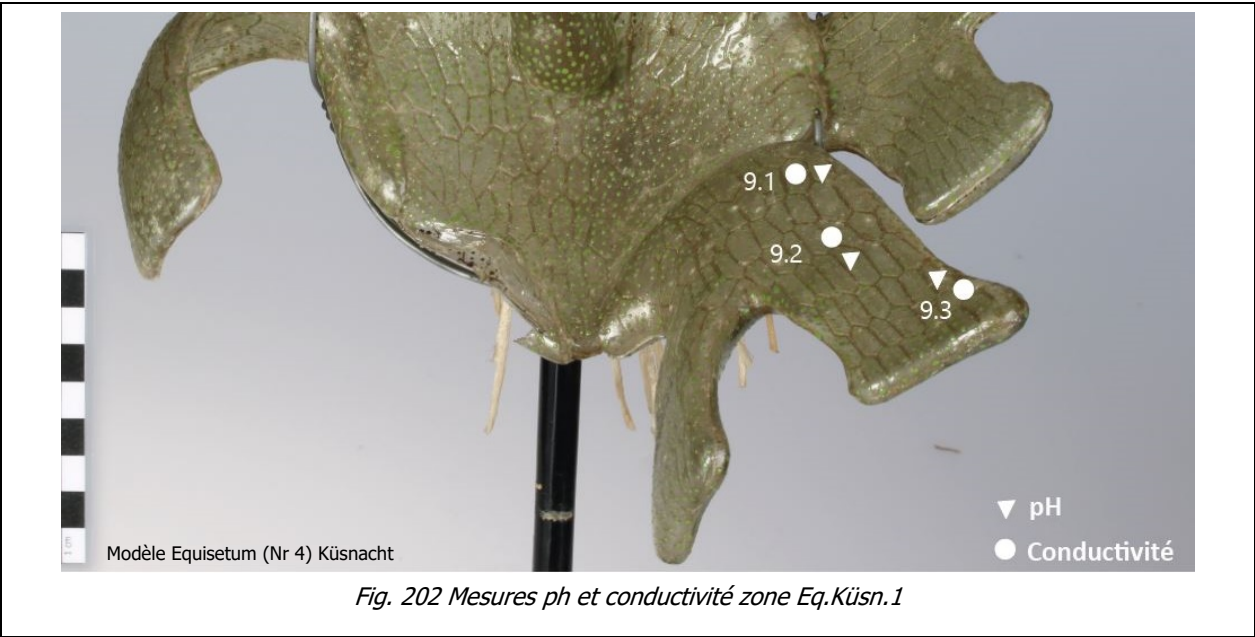


Tableau 19 Mesures de pH et de conductivité



Vernis épais/uniforme															
	Eq.Botmus.3			Bra.Botmus.1			Eq.Burg.1			Bra.Rämi.2					
Mesure N°	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	10.1	10.2	10.3	12.1	12.2	12.3	Moy	Min	Max
pH	5.46	5.72	5.51	5.56	5.44	5.32	5.18	4.94	5.21	5.13	5.01	4.98	5.29	4.94	5.72
Conductivité $\mu S/cm$	437	542	455	280	319	363	223	241	302	292	286	322	339	223	542

Vernis fin/irrégulier															
	Eq.Botmus.1			Bra.Botmus.5			Eq.Küsn.1			Bra.Rämi.1					
Mesure N°	1.1	1.2	1.3	8.1	8.2	8.3	9.1	9.2	9.3	11.1	11.2	11.3	Moy	Min	Max
pH	5.61	5.15	5.05	5.01	5.25	5.33	5.39	5.23	5.08	5.2	5.17	5.37	5.24	5.01	5.61
Conductivité $\mu S/cm$	265	256	322	240	228	226	563	397	416	199	212	242	297	199	563

Gélatine sans vernis															
	Eq.Botmus.2			Bra.Botmus.2			Bra.Botmus.3			Bra.Botmus.4					
Mesure N°	2.1	2.2	2.3	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2	7.3	Moy	Min	Max
pH	6.15	5.78	6.02	5.61	5.89	5.83	6.08	6.12	5.86	5.39	5.6	5.22	5.80	5.22	6.15
Conductivité $\mu S/cm$	235	196	212	226	284	304	418	521	586	582	486	529	382	196	586

7.12 Techniques d’imagerie et analyses

7.12.1 Radiographie rayons-X

<b>Analyste</b>	Patrick Eppenberger	<b>Lieu et date</b>	Institute of Evolutionary Medicine (IEM), Université de Zurich, 23 avril 2021
<b>Appareil</b>	Portable X-Rays Poskom® Examion VET-60		
<b>Objets en gélatine utilisés pour la radiographie X</b>			
Brachythecium (Nr 1) Botmus		Aspidium (Nr 8)	
			

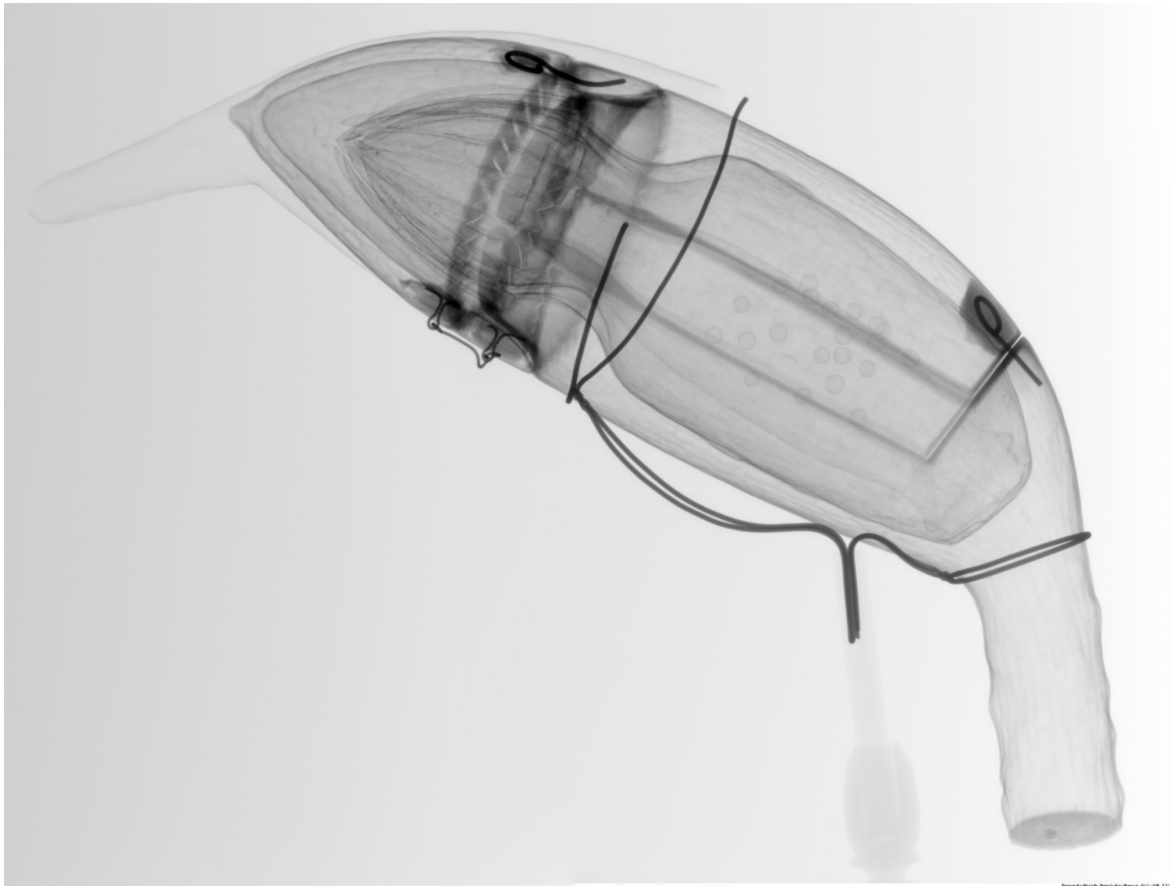
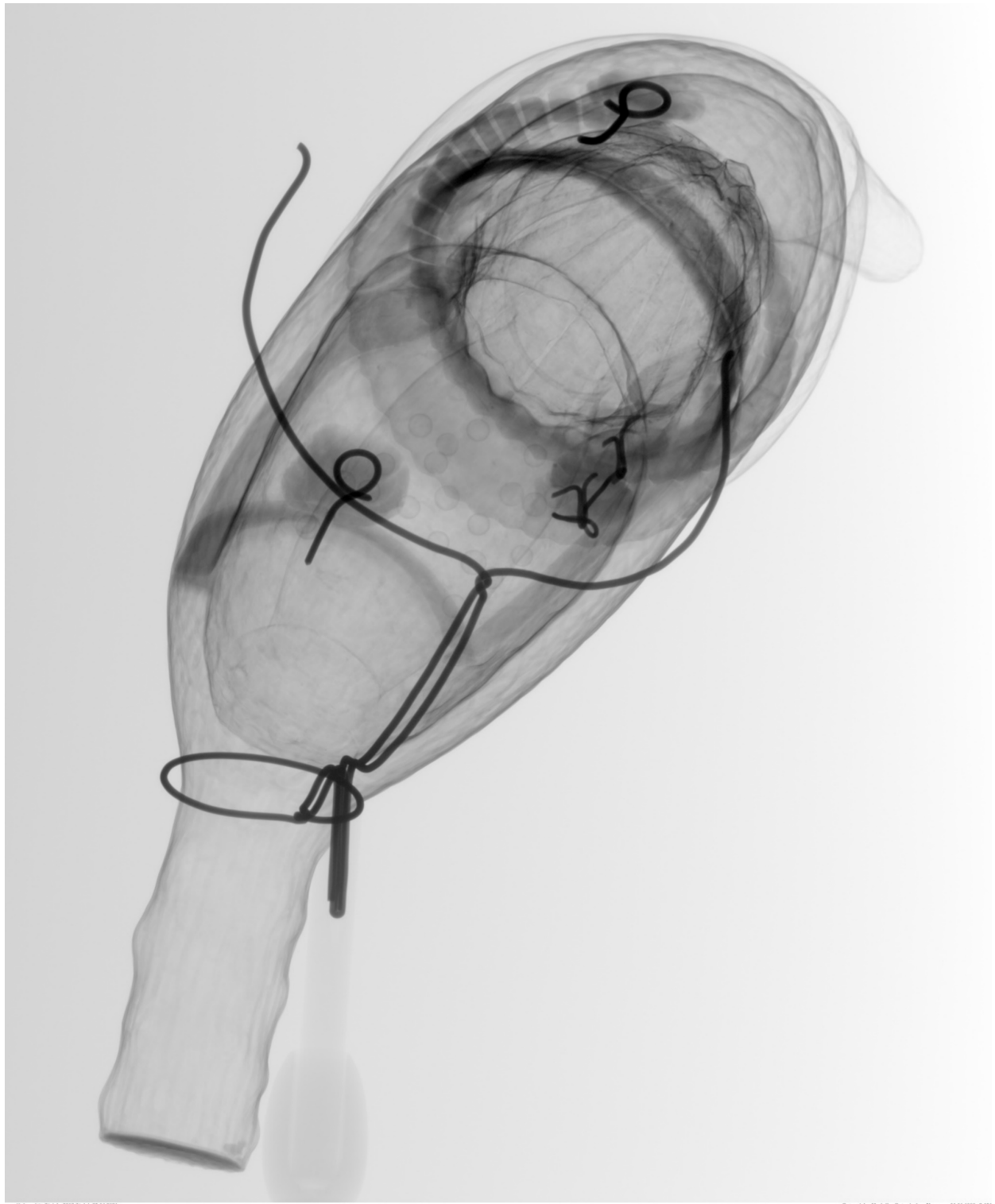


Fig. 203 Brachythecium (Nr 1) image en radiographie X de profil

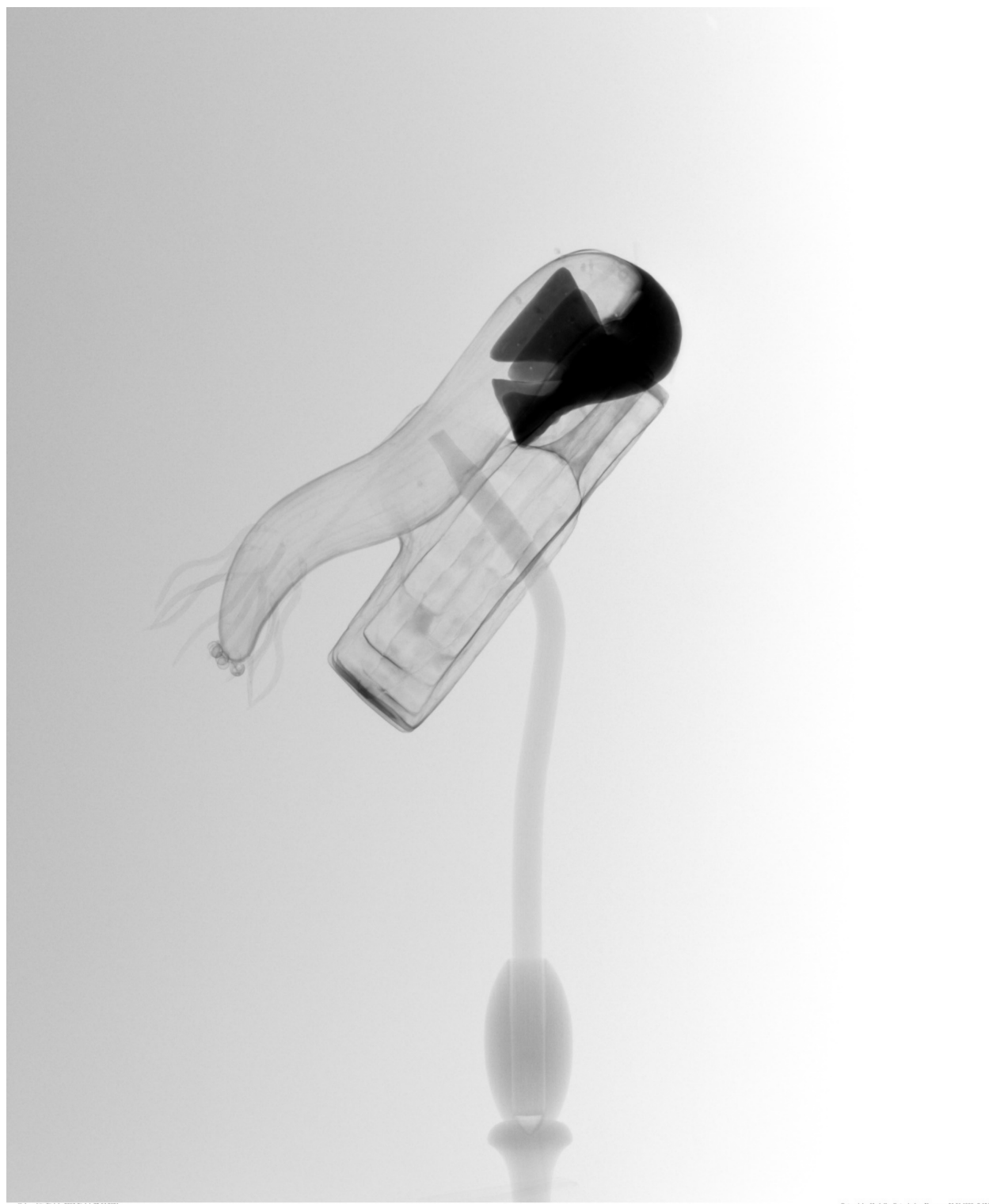




*Fig. 204 Brachythecium (Nr 1) image en radiographie X de trois-quart*



*Fig. 205 Aspidium (Nr 8) image en radiographie X de face*



*Fig. 206 Aspidium (Nr 8) image en radiographie X de profil*



## 7.12.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

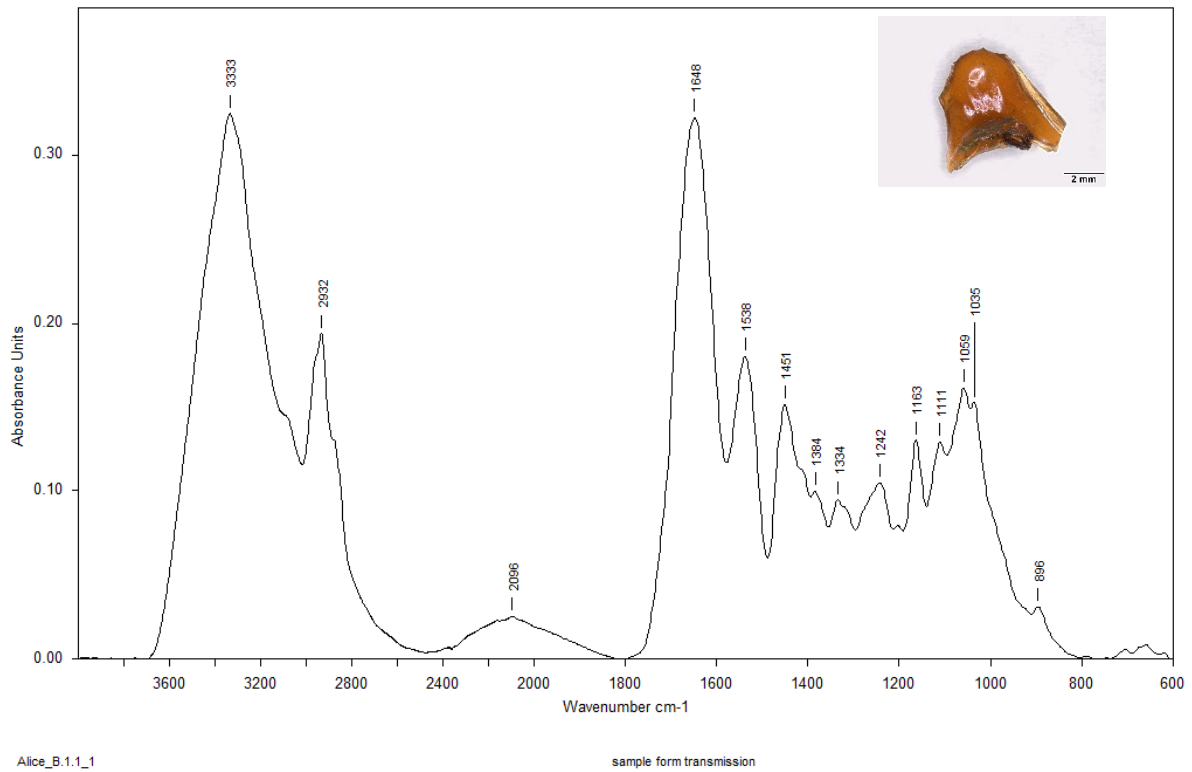
La spectroscopie FTIR a été utilisée pour identifier les matériaux rencontrés sur les objets, aussi bien les matériaux de base des objets (membrane translucide, peinture, vernis, textiles) que les matériaux exogènes (rubans adhésifs, dépôts blancs, adhésif de réparation).

Des analyses sur les échantillons directement ont été réalisées à la HKB et des cartographies de deux coupes ont été effectuée à la HE-Arc

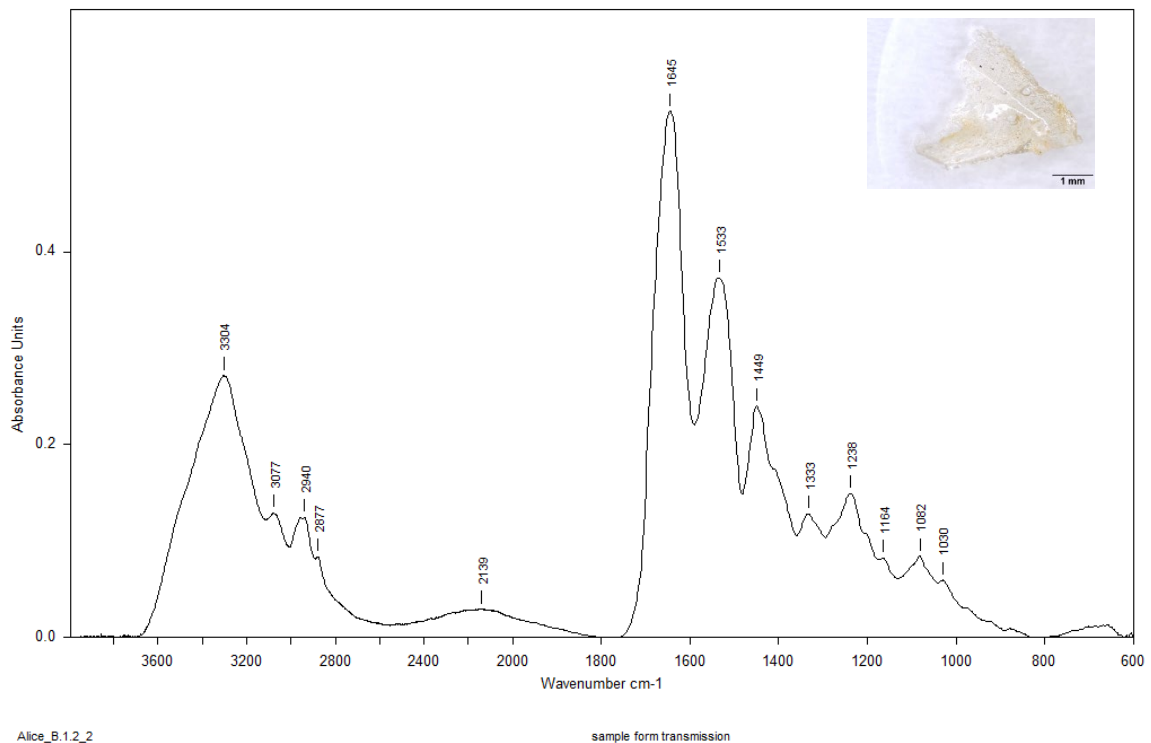
### 7.12.2.1 Hochschule der Künste Bern HKB

<b>Analyste</b>	Dr Stefan Zumbühl	<b>Lieu et date</b>	Berne HKB, avril 2021
<b>Appareil</b>	Spectroscopie FTIR LUMOS II Brucker©	<b>Mode</b>	Spectroscopie FTIR en transmission ou Réflectance totale atténuée (ATR)

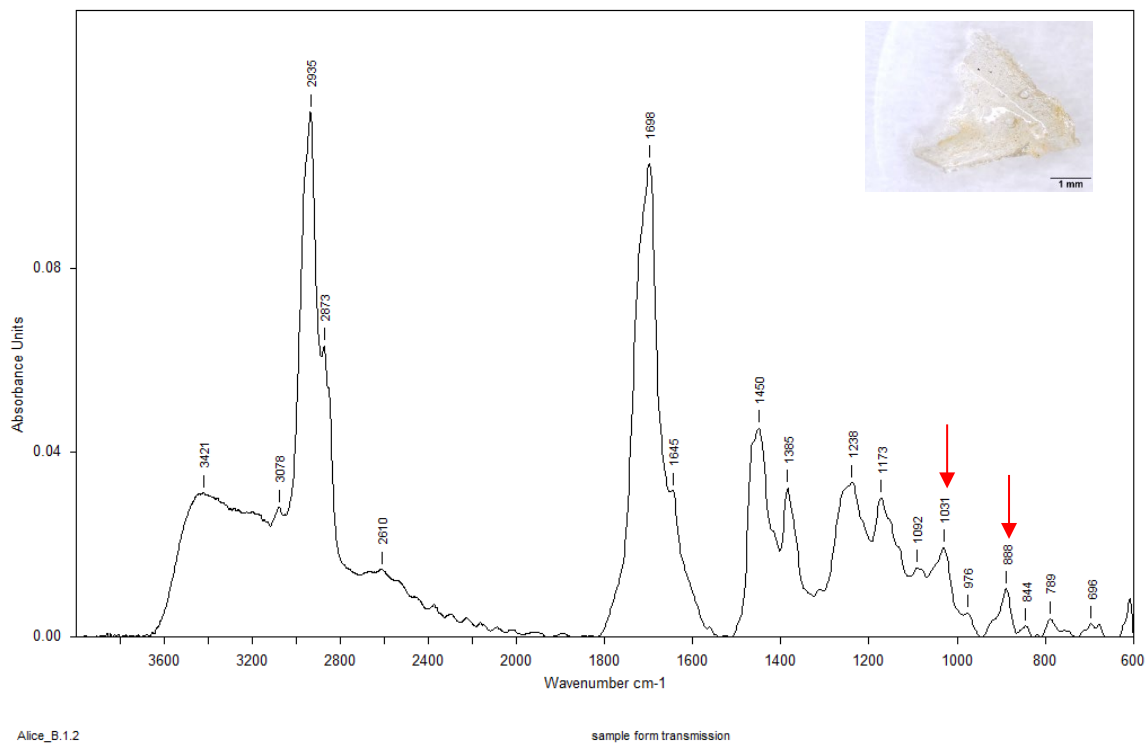
Résumé des matériaux identifiés	
Matériau identifié	Echantillons
Gélatine	B.1.2 ; B.2.1 ; B.3.1 ; B.4.6 Ea.1.1 ; Ea.1.2 Eb.1.1 Ec.1.2
Résine diterpénique (évent. Sandaraque)	B.1.2 ; B.3.1 Ea.1.1 ; Ea.1.5 Eb.1.1 Ec.1.2
Huile saponifiée	Ea.1.1 ; Ea.1.3 Eb.1.1
Colle animale	B.1.1
Adhésif époxyde	Ea.1.4
Adhésif base poly-isoprène	B.4.1 ; B.4.5
Adhésif base copolymère acrylate	B.4.2 ; B.4.3 ; B.4.4



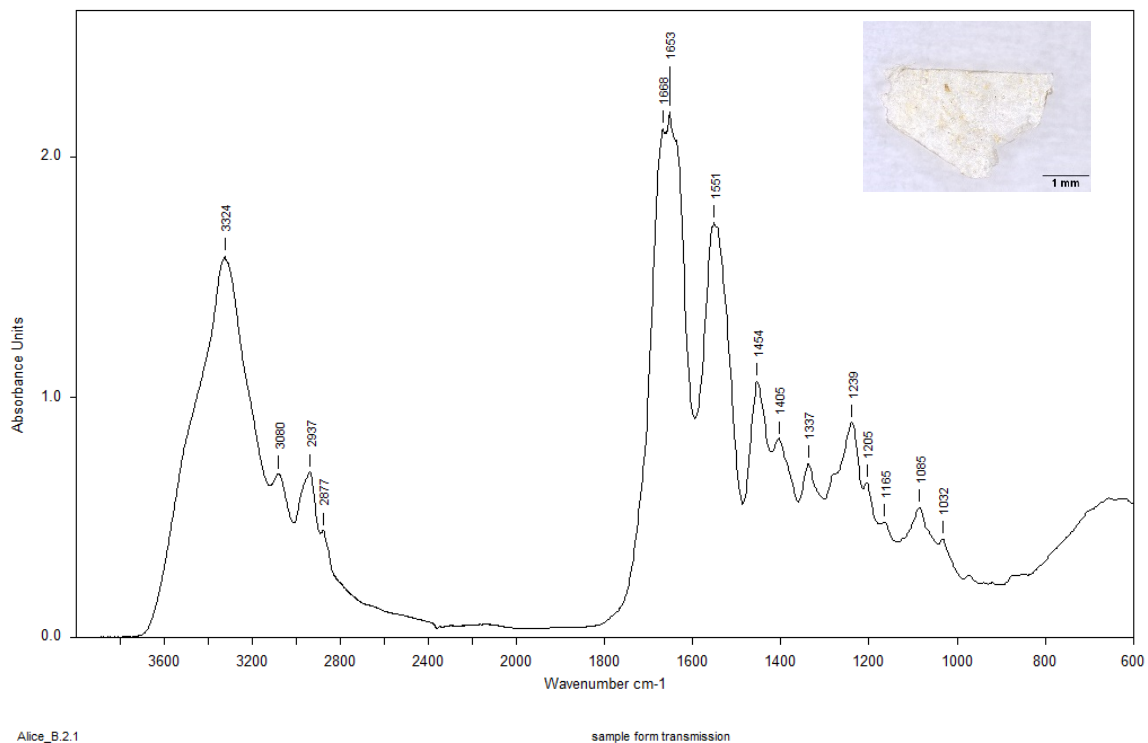
*Fig. 207 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.1.1. Interprétation : colle animale*



*Fig. 208 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.1.2. Interprétation : gélatine*

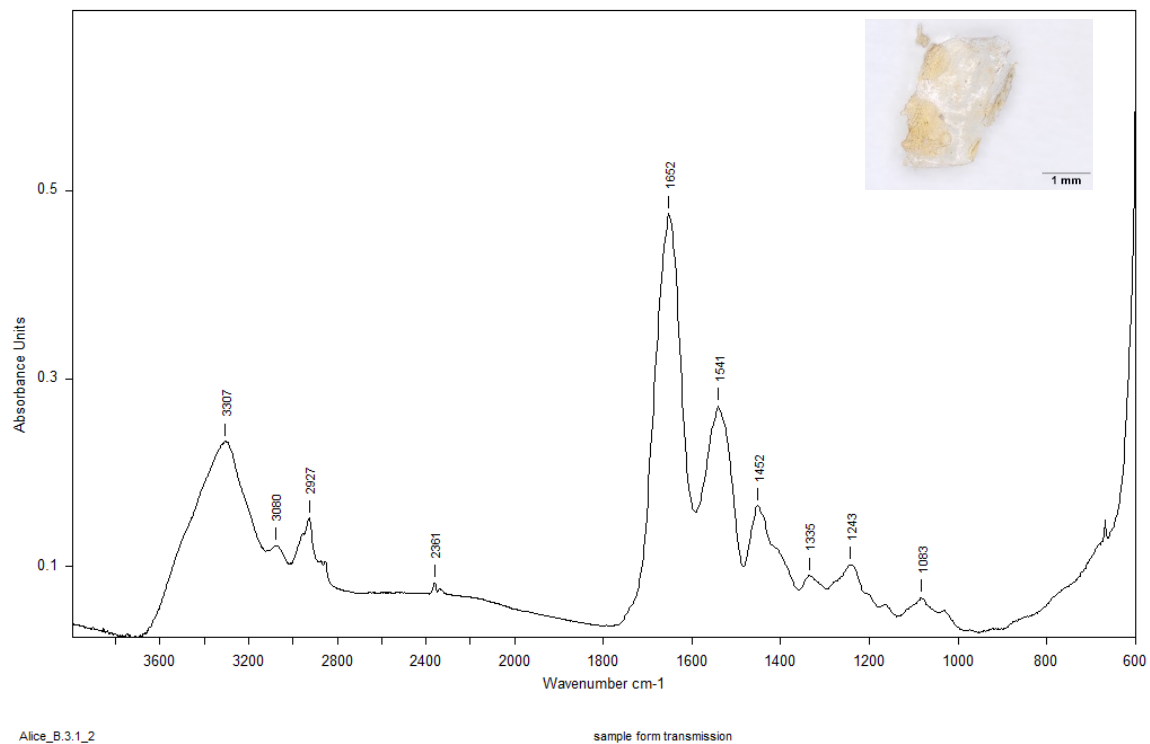


*Fig. 209 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.1.2. Interprétation : résine diterpénique, flèches caractéristique sandaracque*

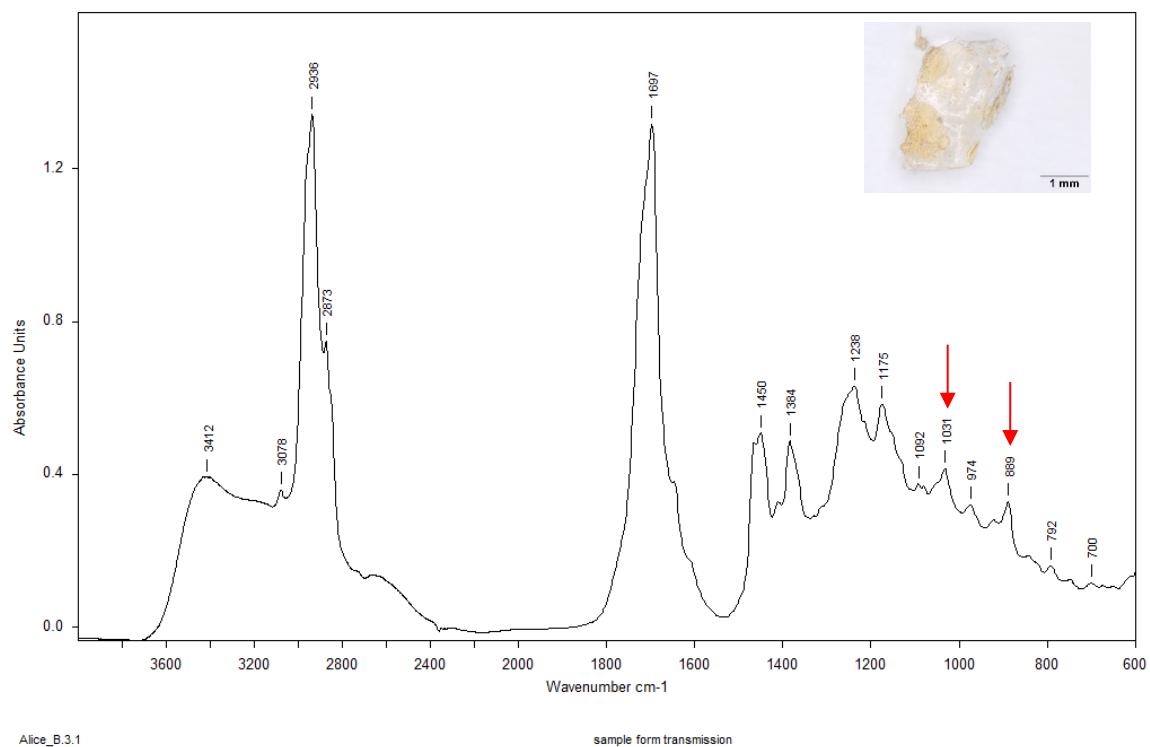


*Fig. 210 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.2.1. Interprétation : gélatine*





*Fig. 211 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.3.1. Interprétation : gélatine*



*Fig. 212 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.3.1. Interprétation : résine diterpénique, flèches caractéristique sandaracque*

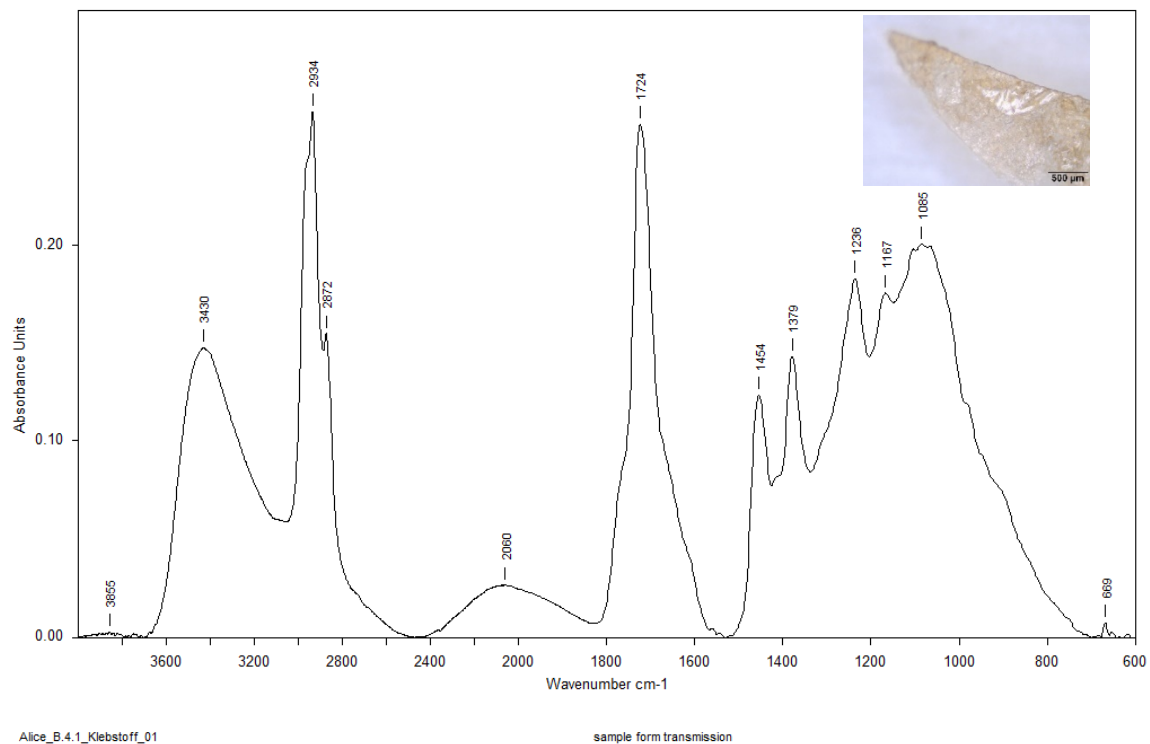


Fig. 213 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.4.1. Interprétation : Poly-isoprène avec une charge siliceuse

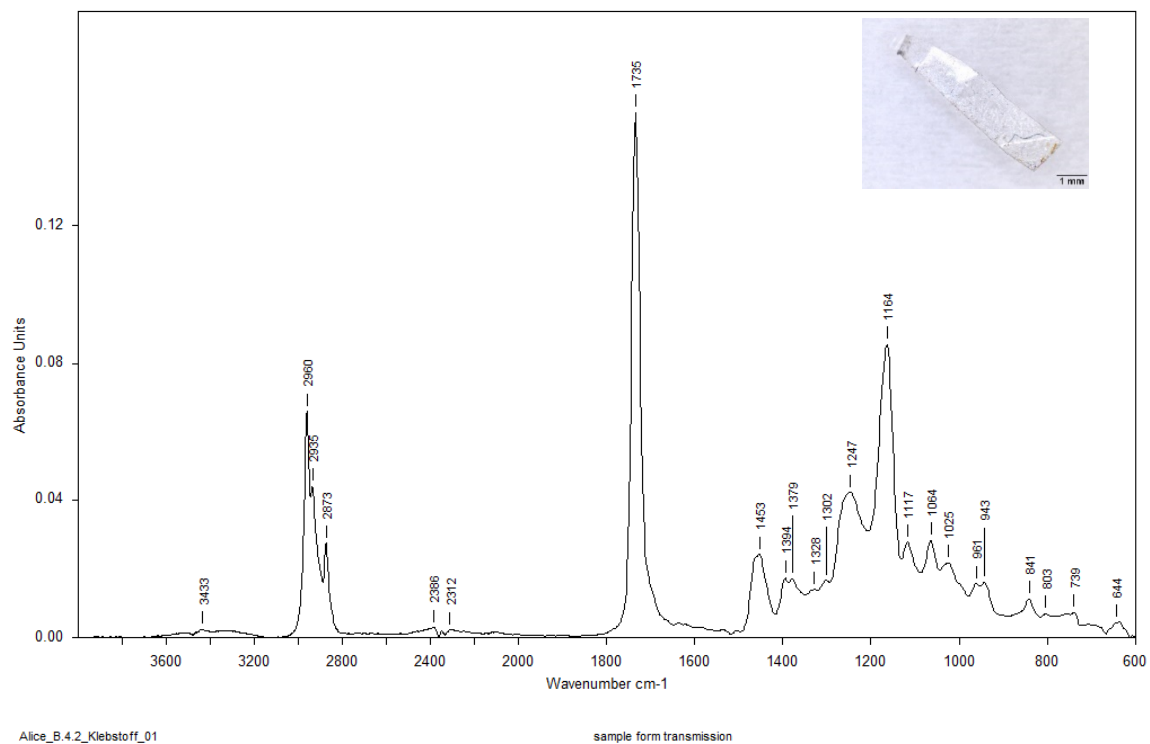


Fig. 214 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.4.2. Interprétation : Copolymère méthacrylate

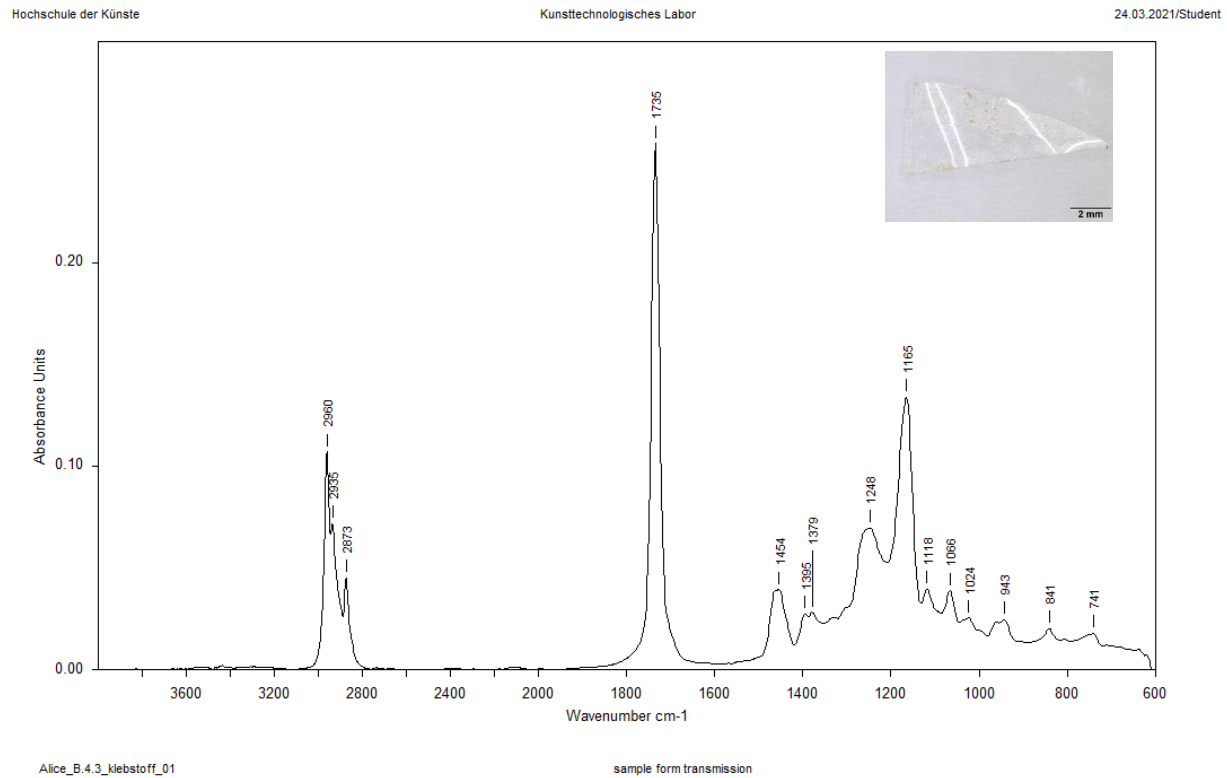


Fig. 215 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.4.3. Interprétation : Copolymère méthacrylate

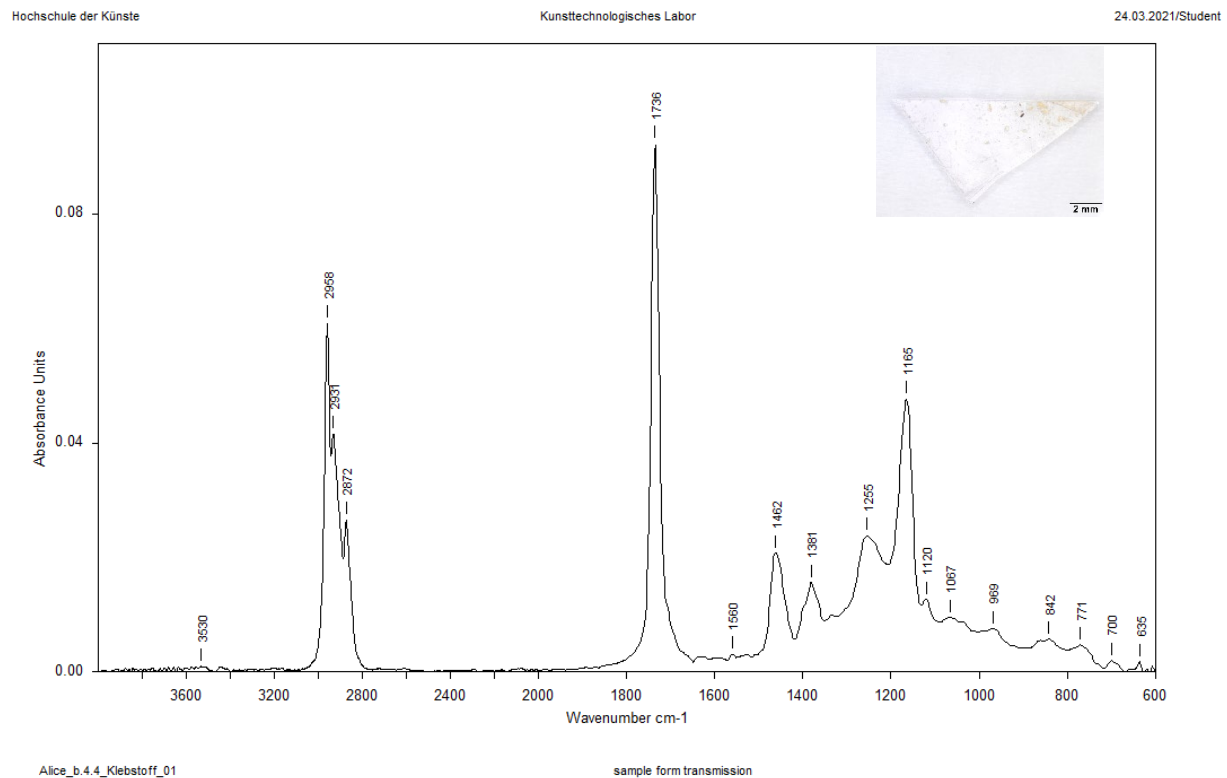
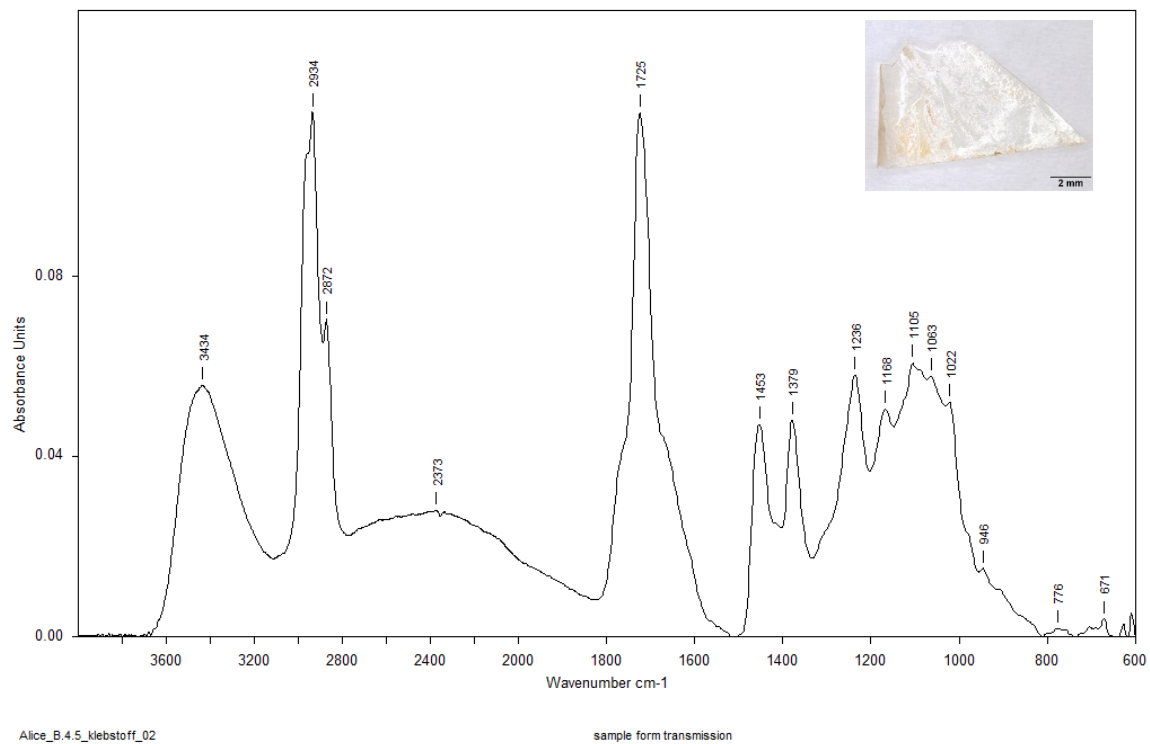
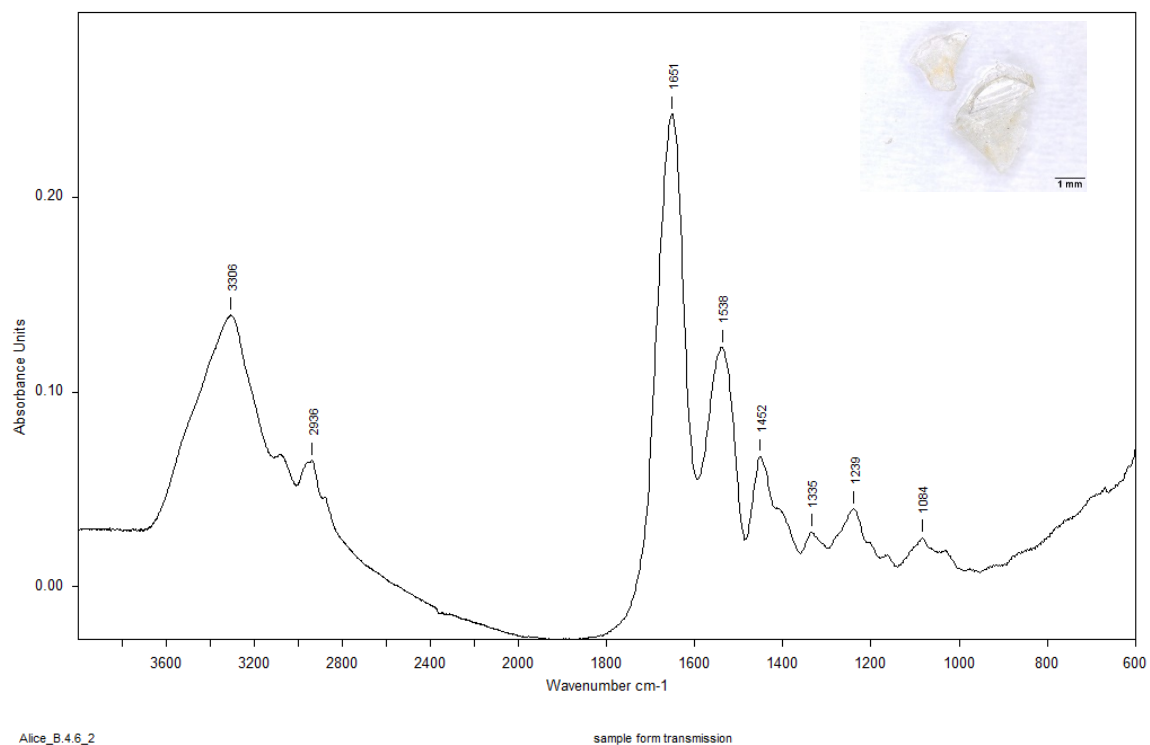


Fig. 216 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.4.4. Interprétation : Copolymère méthacrylate





*Fig. 217 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.4.5. Interprétation : Poly-isoprène*



*Fig. 218 Spectre FTIR\_transmission : Ech. B.4.6. Interprétation : gélatine*

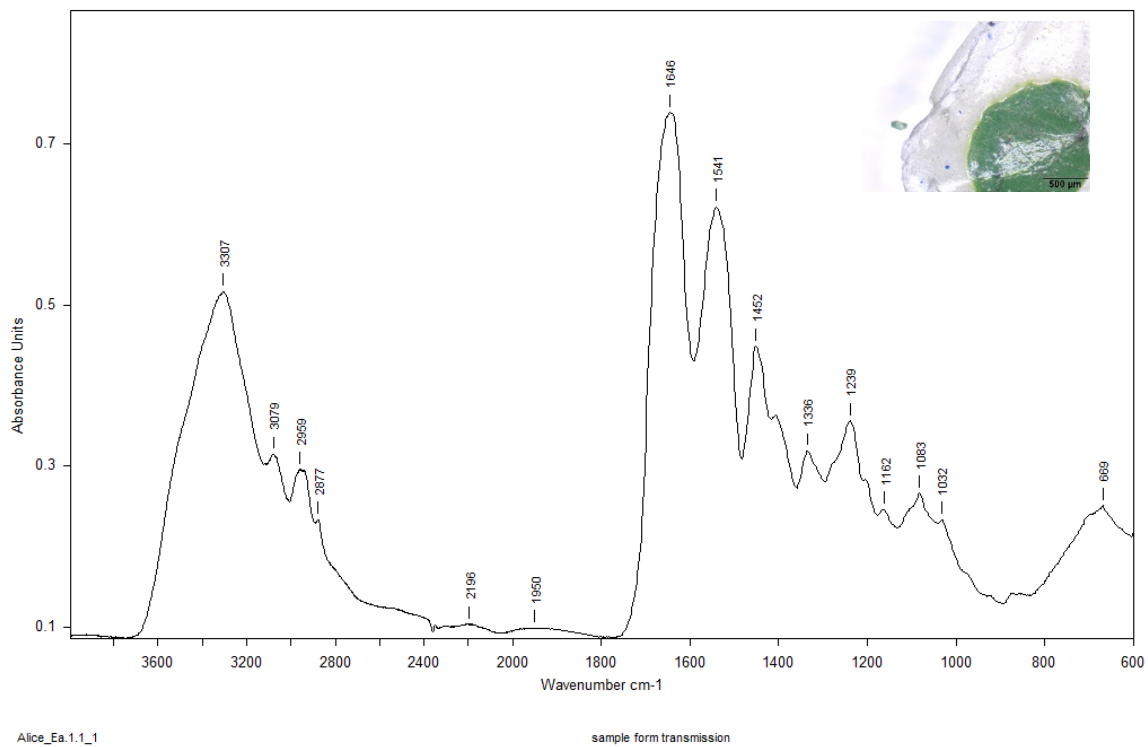


Fig. 219 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ea.1.1. Interprétation : gélatine

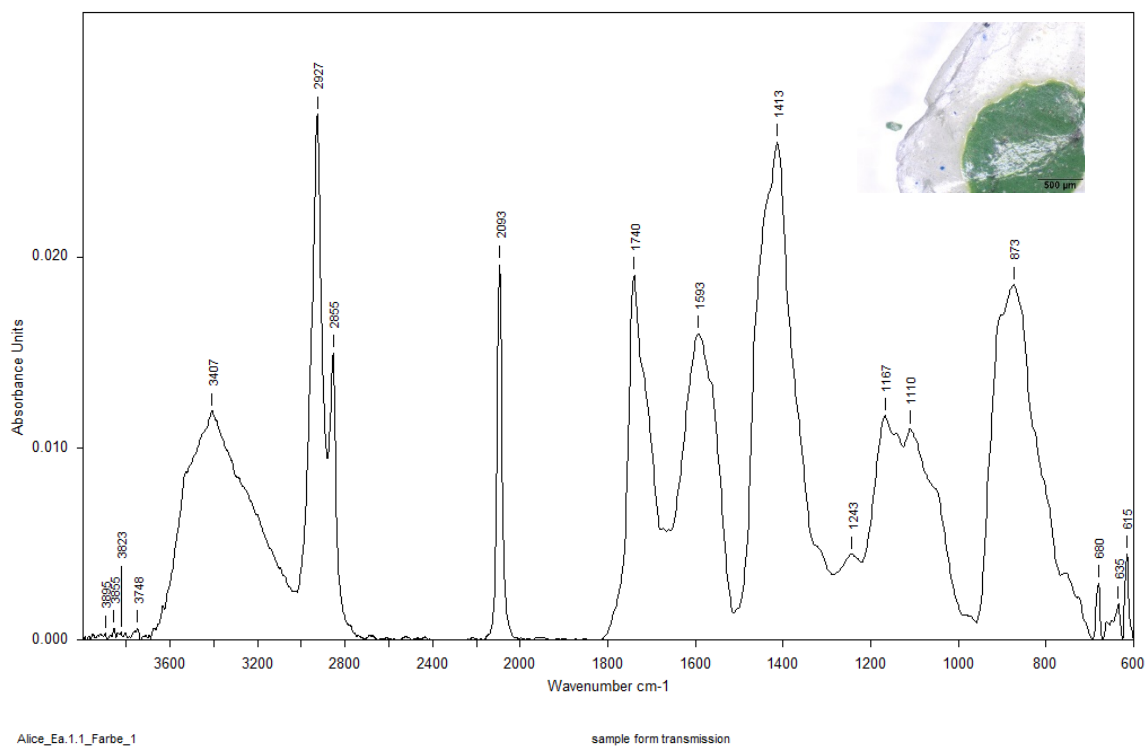
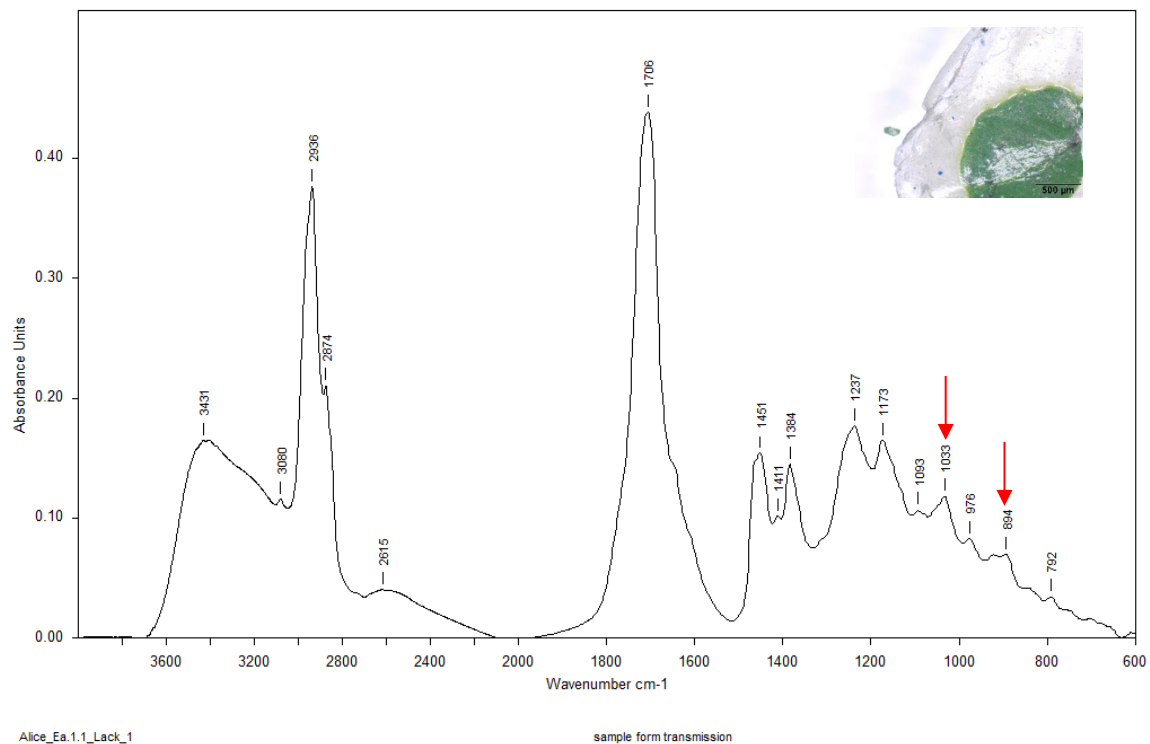
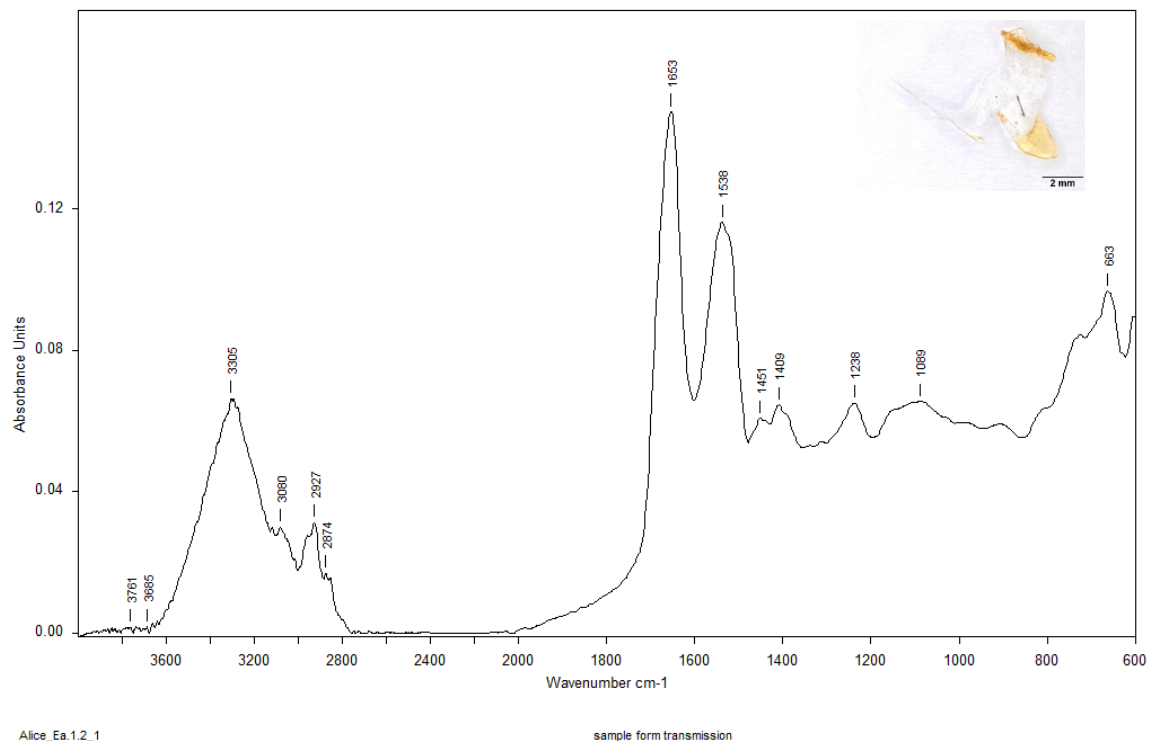


Fig. 220 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ea.1.1. Interprétation : huile saponifiée



*Fig. 221 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ea.1.1. Interprétation : résine diterpénique, flèches caractéristique sandaracue*



*Fig. 222 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ea.1.2. Interprétation : gélatine*



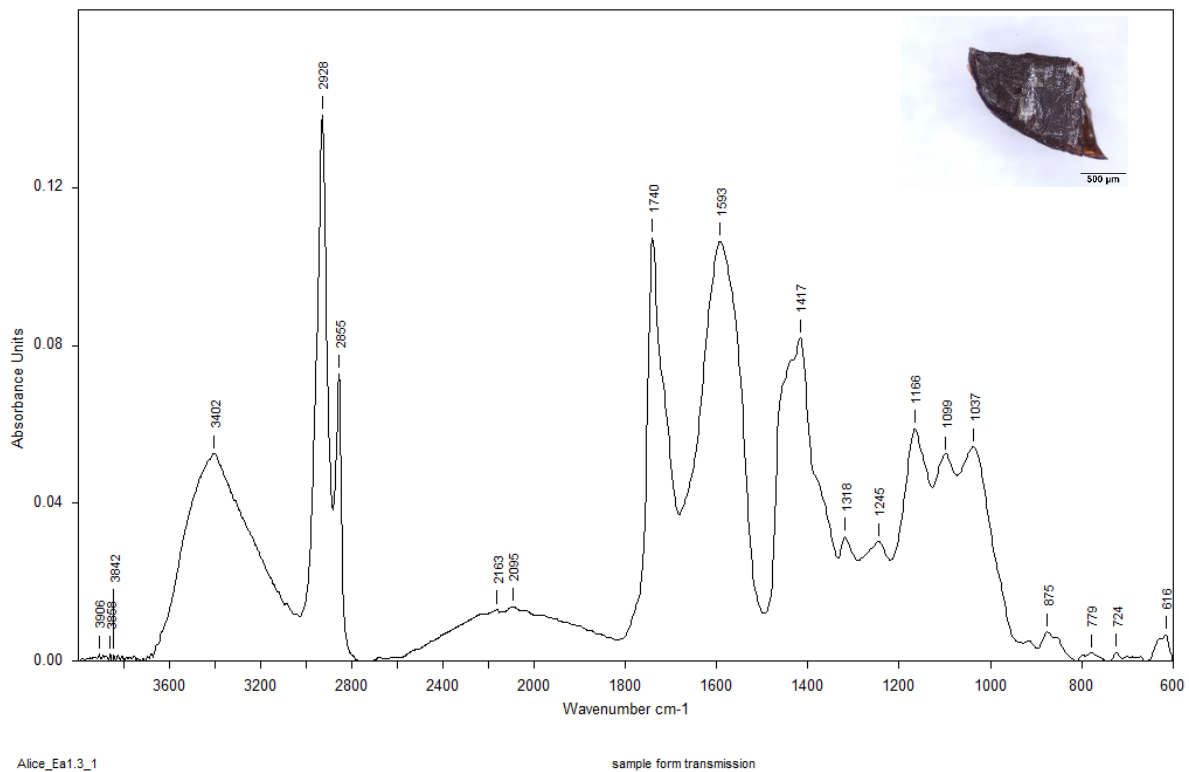


Fig. 223 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ea.1.3. Interprétation : Huile saponifiée

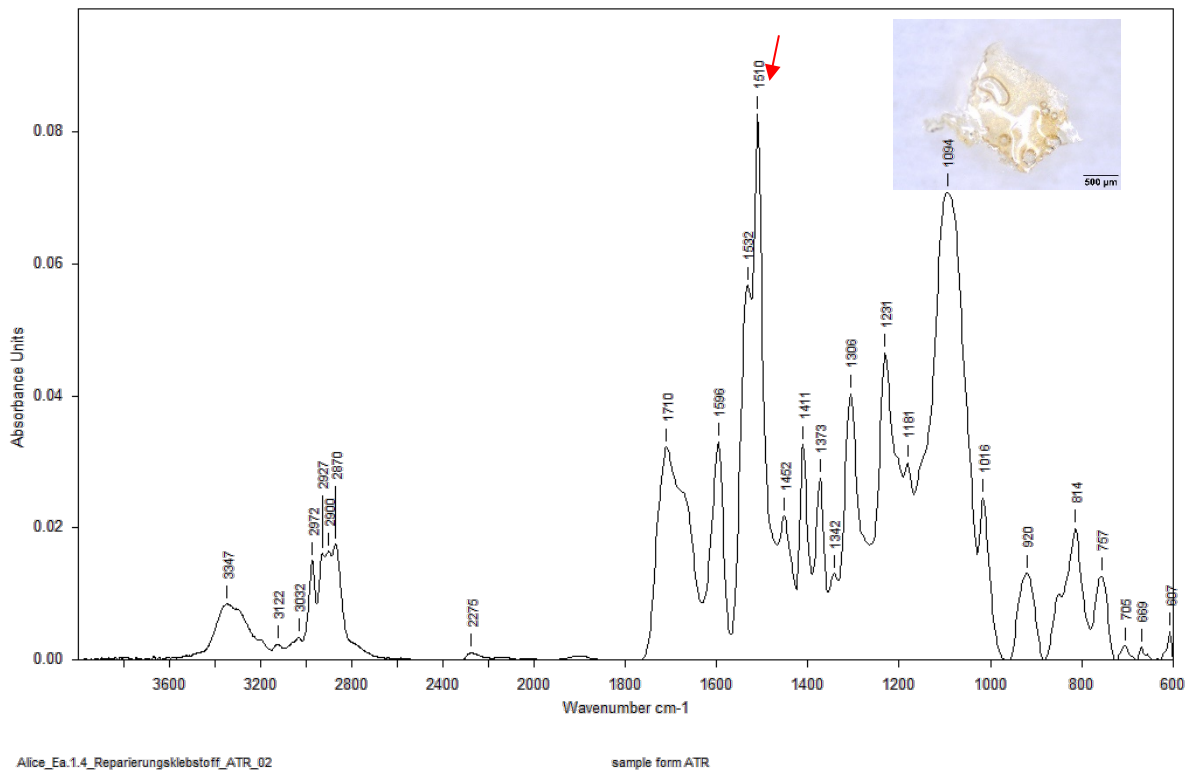


Fig. 224 Spectre FTIR\_ATR : Ech. Ea.1.4. Interprétation : Résine époxyde (pic caractéristique en rouge)

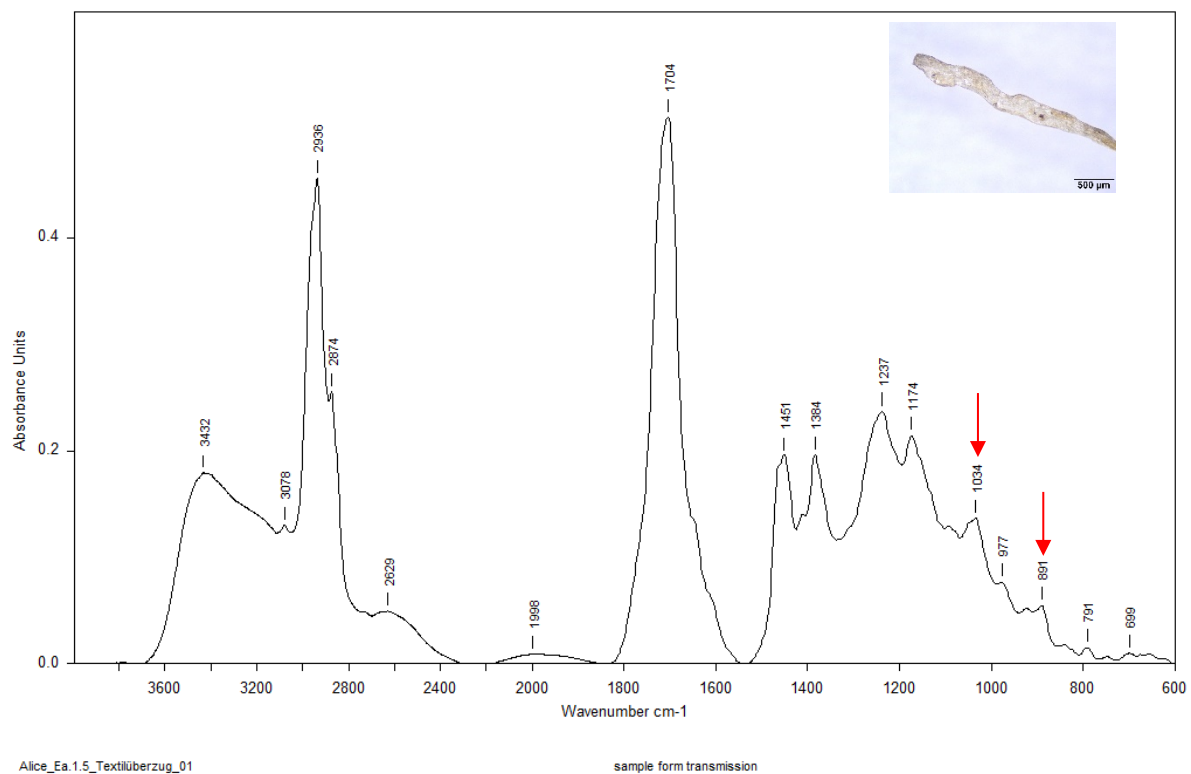


Fig. 225 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ea.1.5. Interprétation : résine diterpénique, pics caractéristiques sandaraque

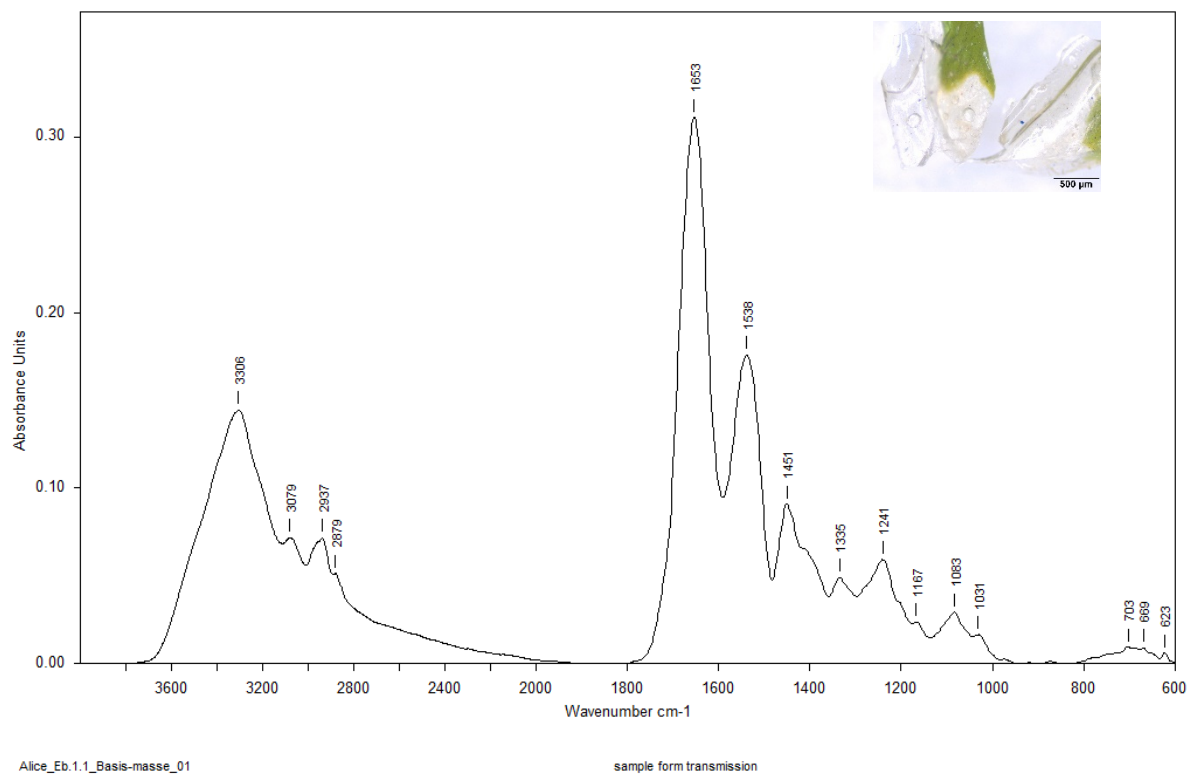


Fig. 226 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Eb.1.1. Interprétation : Gélatine

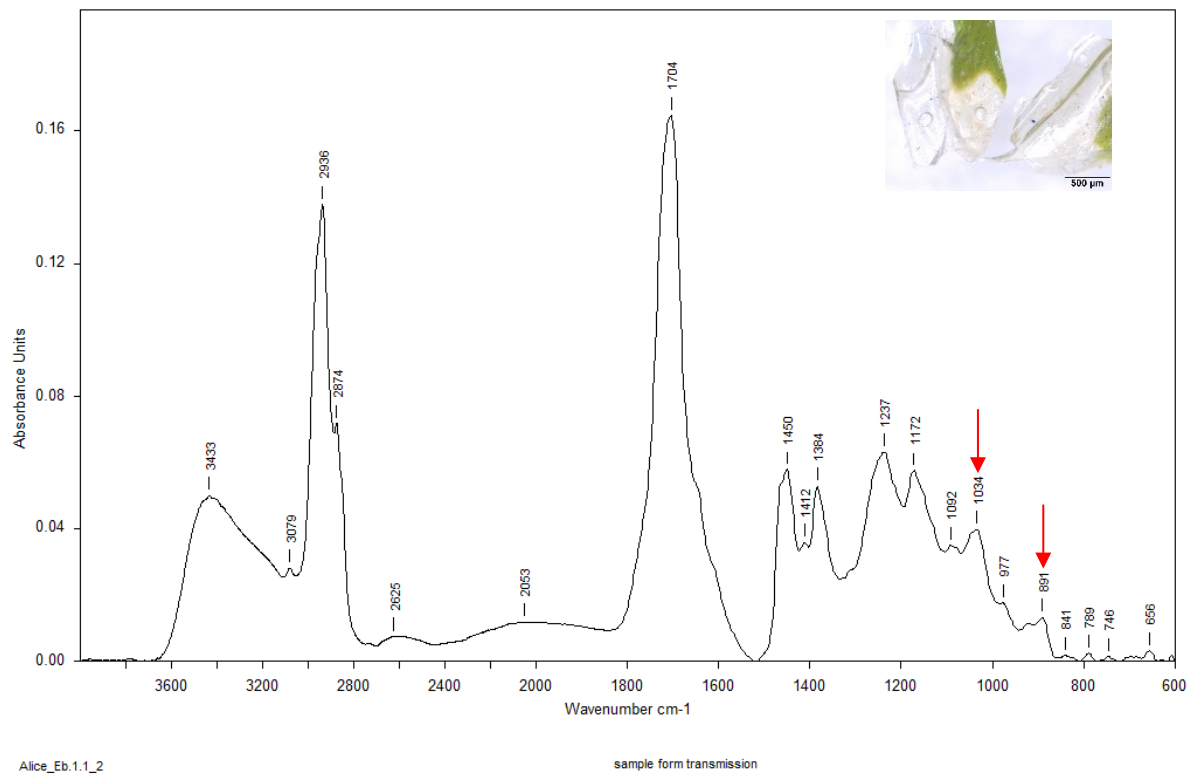


Fig. 227 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Eb.1.1. Interprétation : Résine diterpénique, pics caractéristiques sandaraque

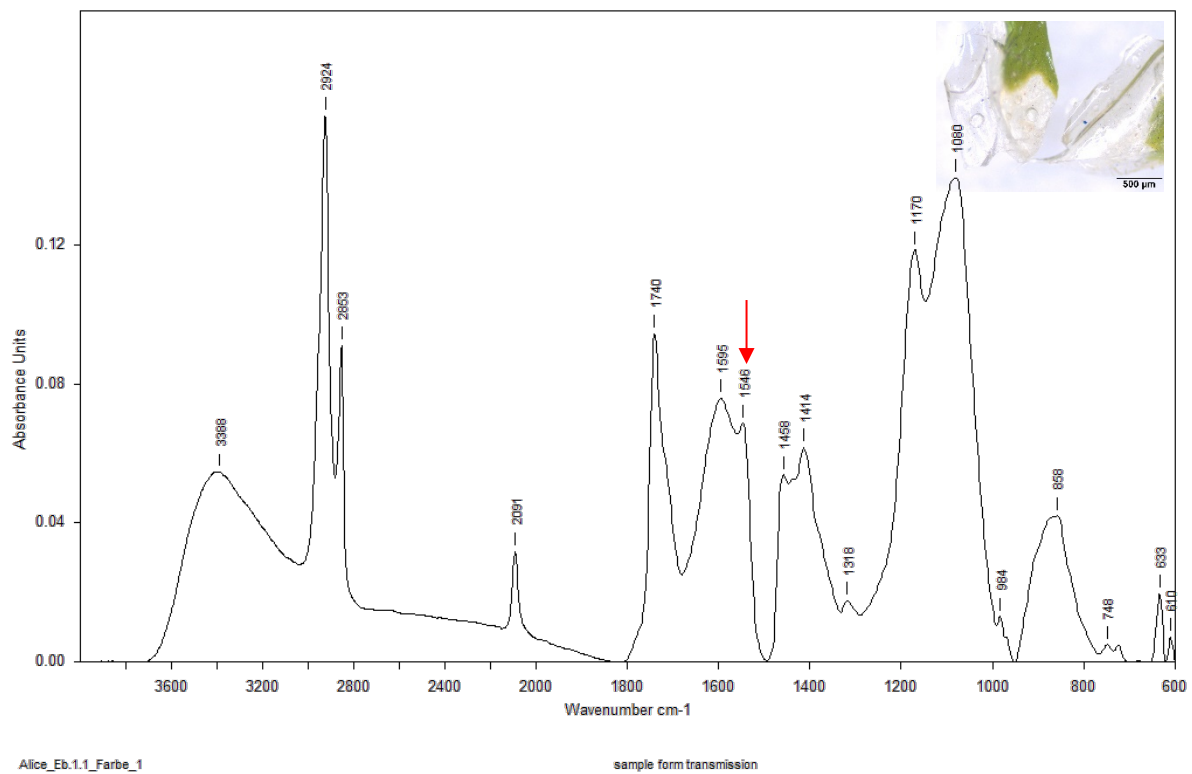


Fig. 228 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Eb.1.1. Interprétation : huile saponifié (traces de carboxylates de zinc)

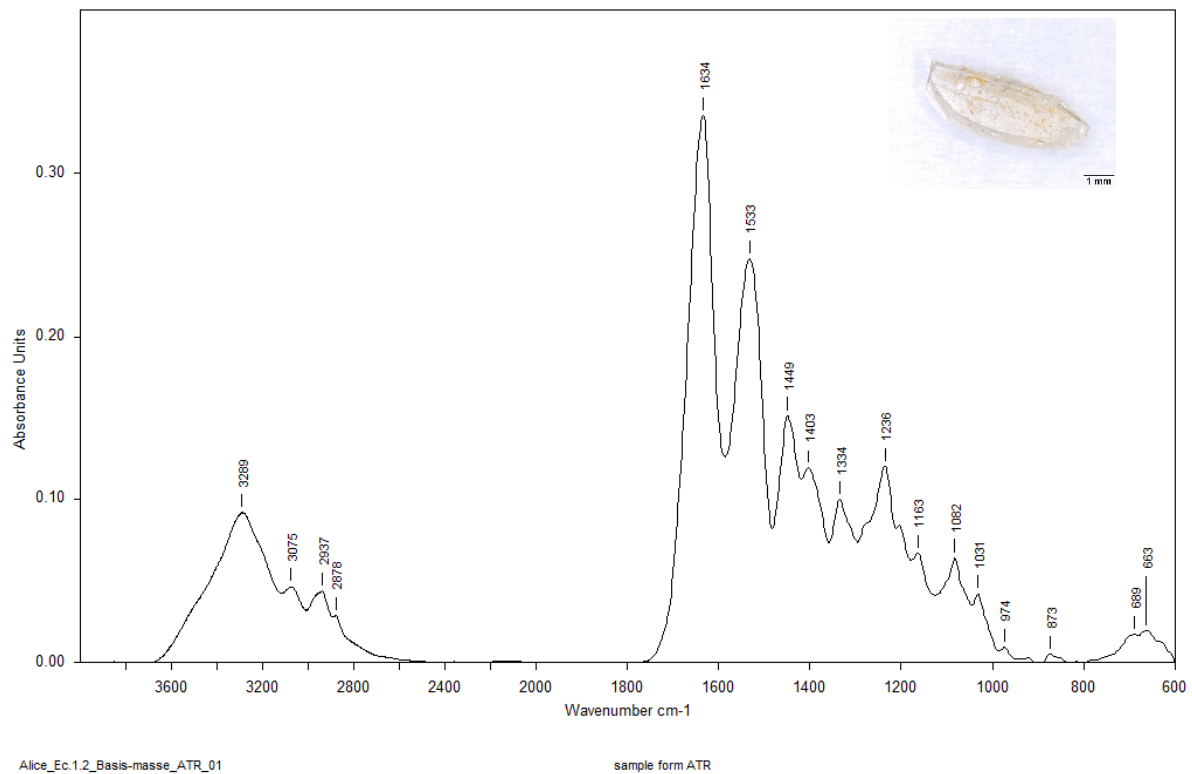


Fig. 229 Spectre FTIR\_ATR : Ech. Ec.1.2. Interprétation : Gélatine

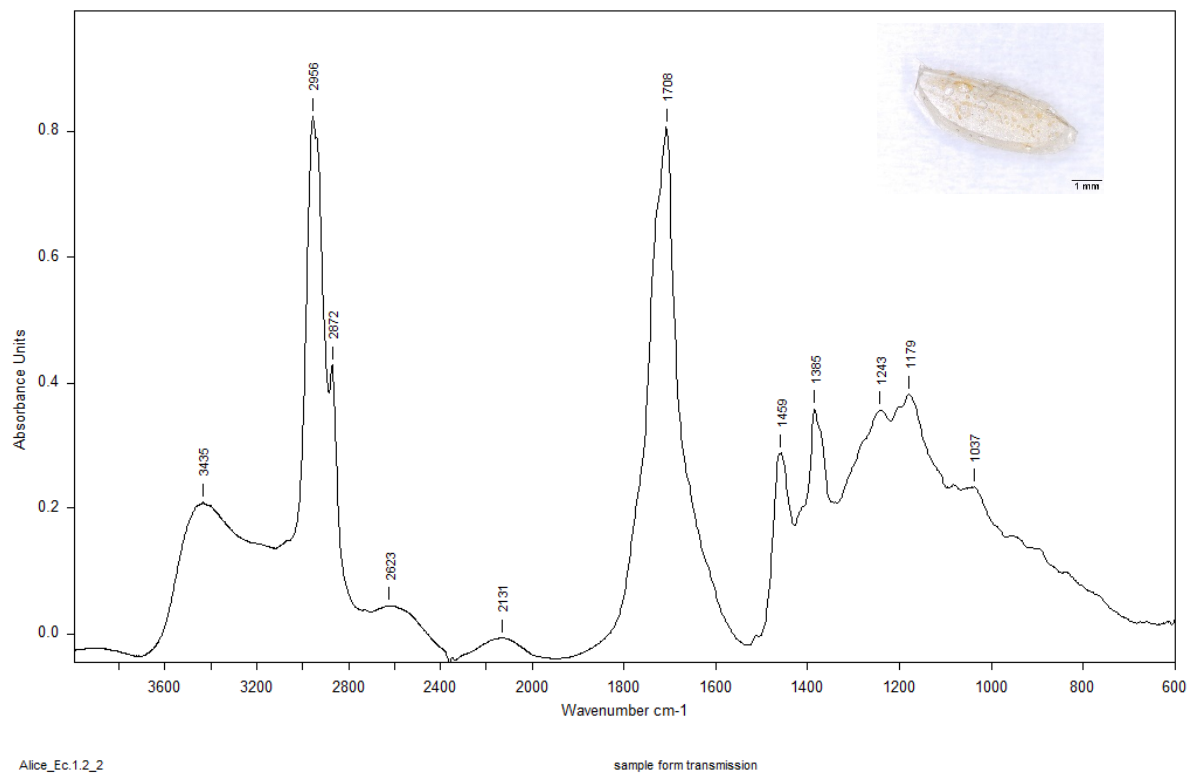


Fig. 230 Spectre FTIR\_transmission : Ech. Ec.1.2. Interprétation : résine naturelle



## 7.12.2.2 Haute Ecole Arc HE-Arc

<b>Analyste</b>	Dr Edith Joseph	<b>Lieu et date</b>	Haute Ecole Arc, avril 2021
<b>Appareil</b>	Thermo Fisher Scientific® Inc.: Nicolet® iN 10 MX, en ATR et en réflexion, avec une résolution de 4 cm-1.	<b>Mode</b>	Mapping en Réflectance totale atténuée (ATR)

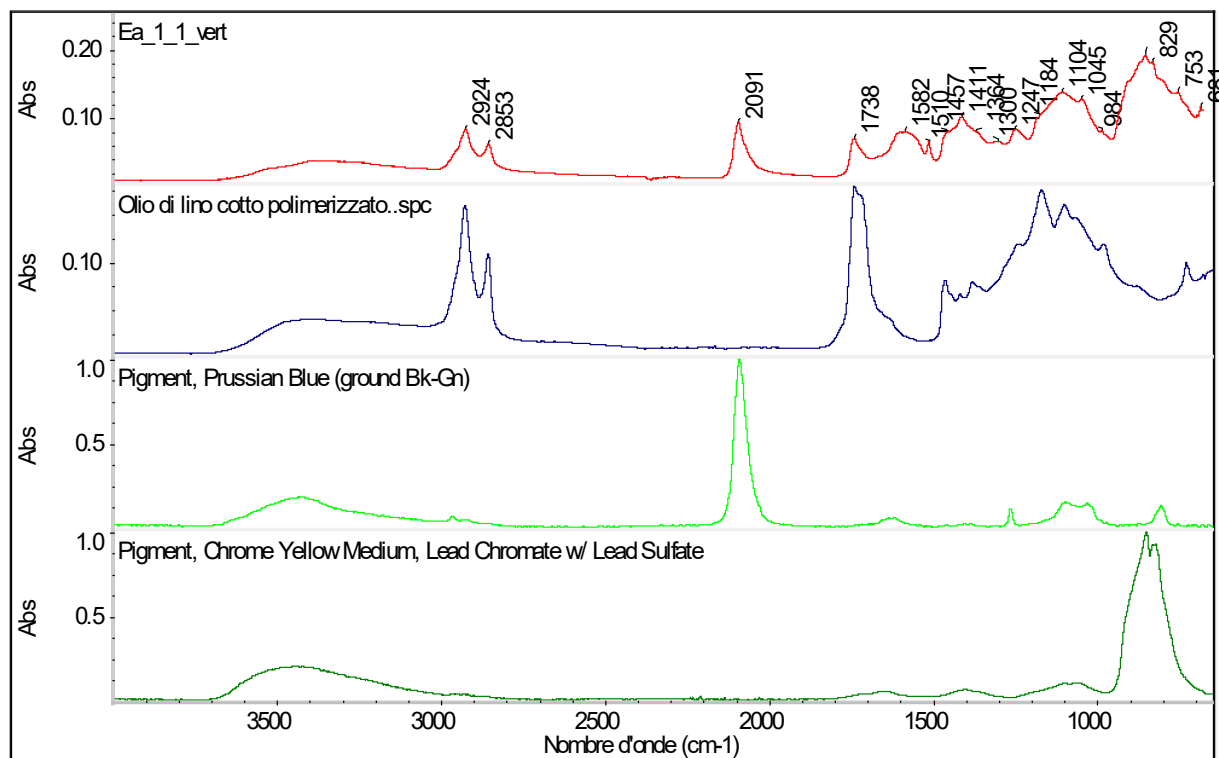
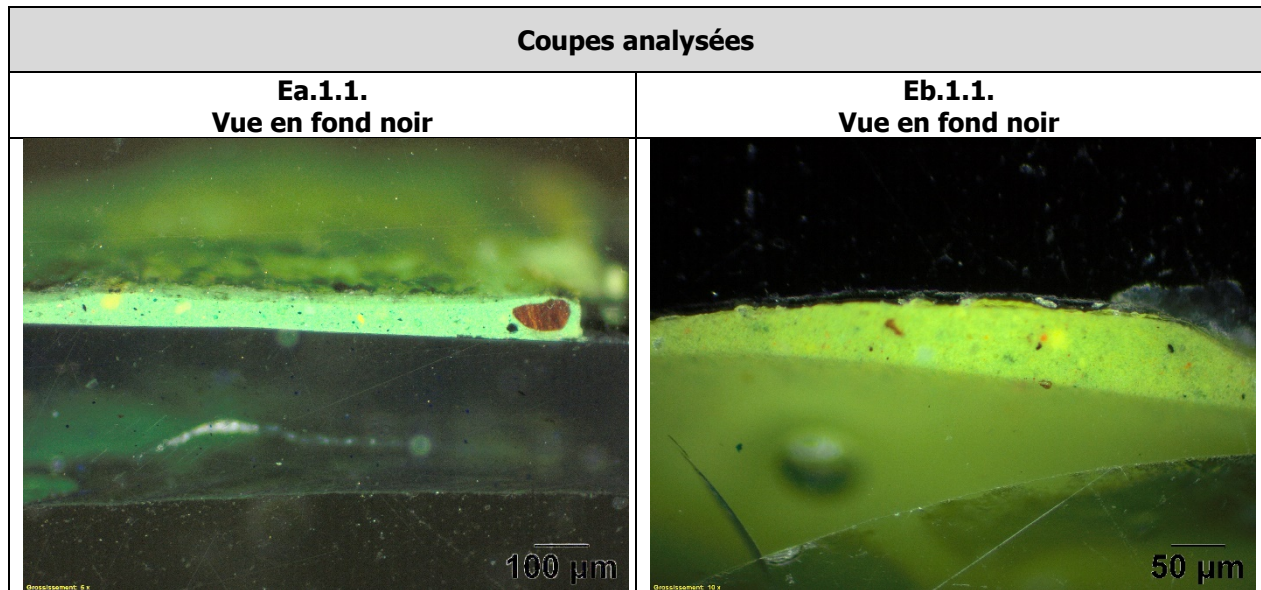


Fig. 231 Spectres de comparaison et d'identification de la couche picturale

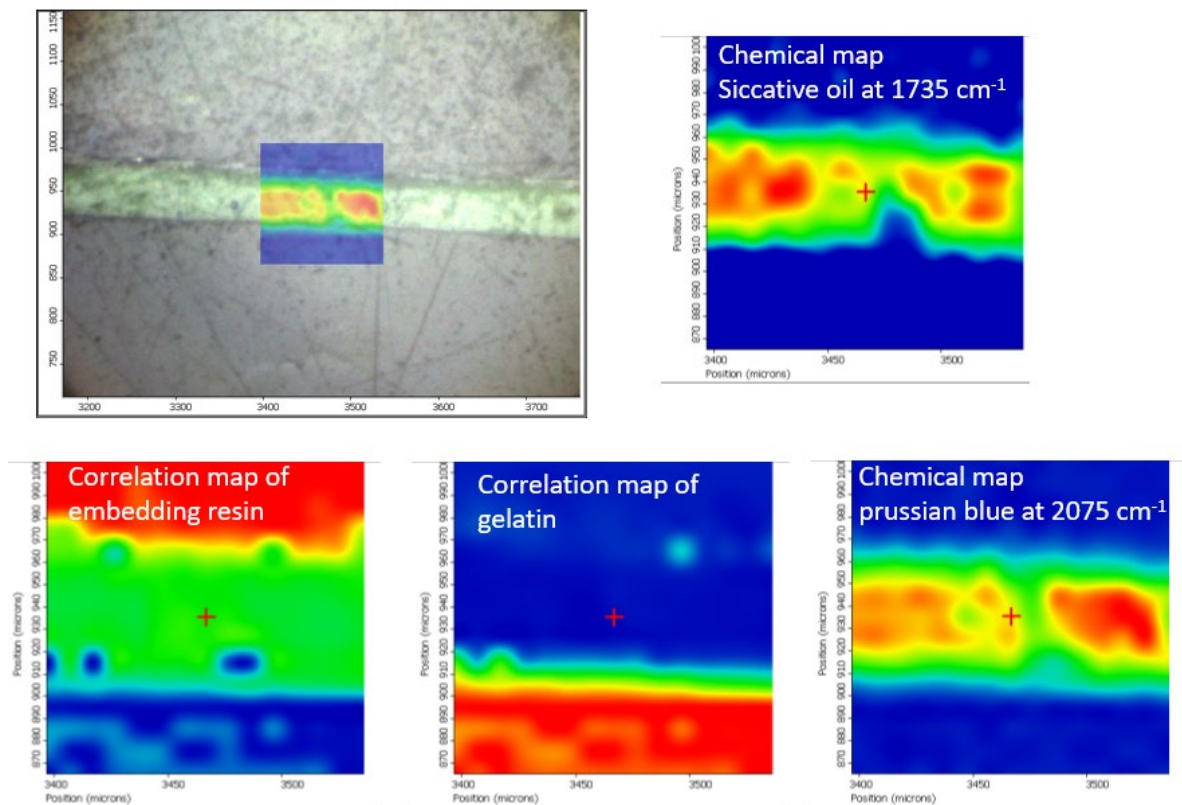
**Ea.1.1 : Mapping FTIR-ATR**

Fig. 232 Mapping FTIR-ATR de la coupe Ea.1.1.

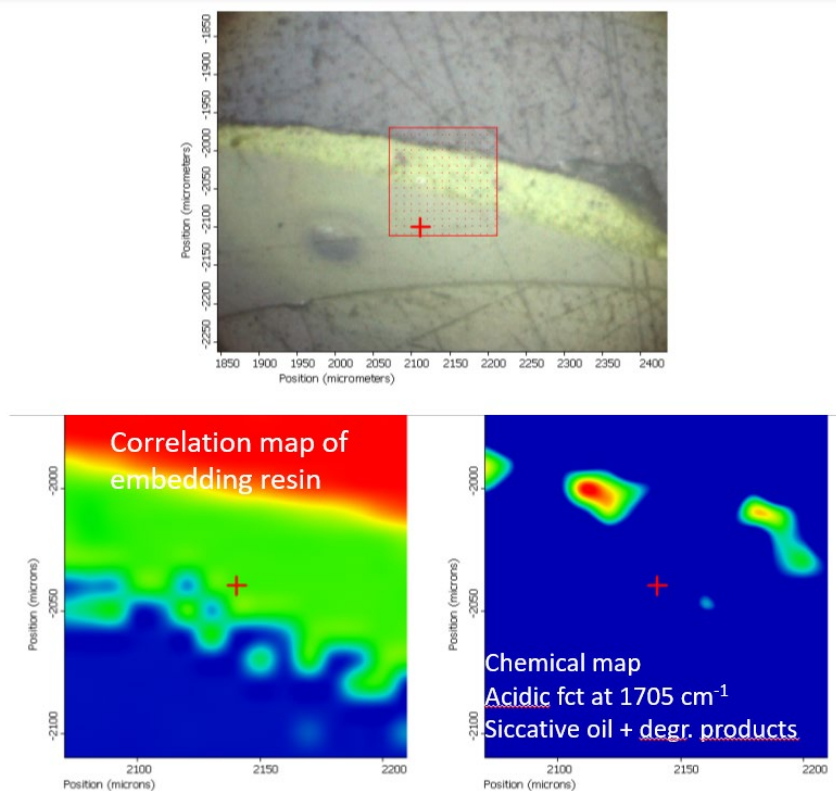
**Eb.1.1. : Mapping FTIR-ATR**

Fig. 233 Mapping FTIR-ATR de la coupe Eb.1.1.

### 7.12.3 Spectroscopie Raman

La spectroscopie Raman, tout comme la spectroscopie FTIR, utilise un rayonnement infrarouge pour identifier des composition moléculaires. Le spectroscope Raman a été utilisé pour identifier les particules bleues visibles dans la masse de gélatine et les pigments dans les détails peints des échantillons.

<b>Analyste</b>	Dr Nadim Scherrer	<b>Lieu et date</b>	Berne HKB, avril 2021
<b>Appareil</b>	Renishaw® InVia™ Raman Microscope	<b>Réglages</b>	Laser power : 5% ; Laser type : 765 nm ; temps de mesure : 10s ; objectif : 100x ; mode : Standard

Résumé des pigments identifiés	
Matériau identifié	Coupe
Ultramarine bleu	B.3.1 ; B.4.6 Ea.1.1 Eb.1.1 Ec.1.2
Vert de chrome (bleu de Prusse + jaune de chrome)	Ea.1.1 Eb.1.1

Les spectres de l'ultramarine ont été mesurée dans la masse de gélatine directement, c'est pourquoi ils présentent beaucoup des lignes avec beaucoup de « bruit ».

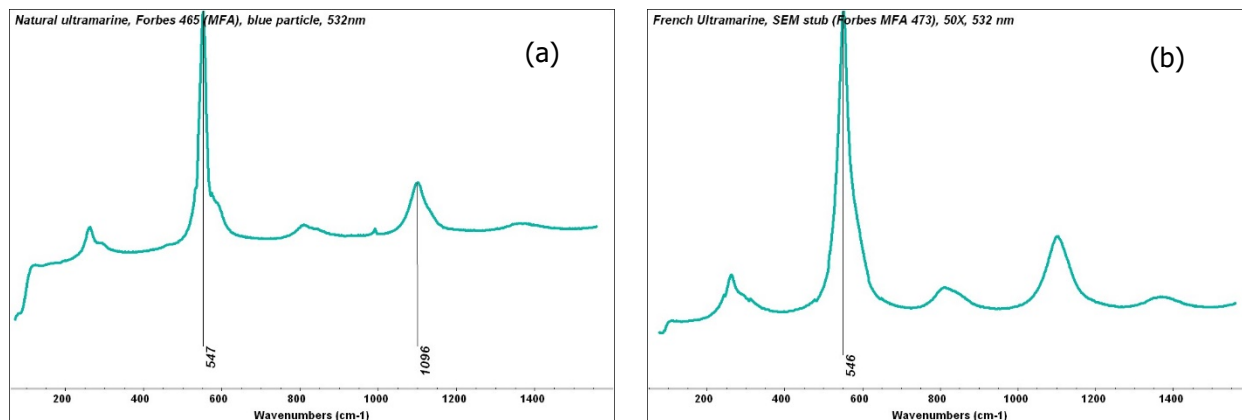


Fig. 234 Spectres de référence pour ultramarine bleue naturel (a) et synthétique (b) ©CAMEO

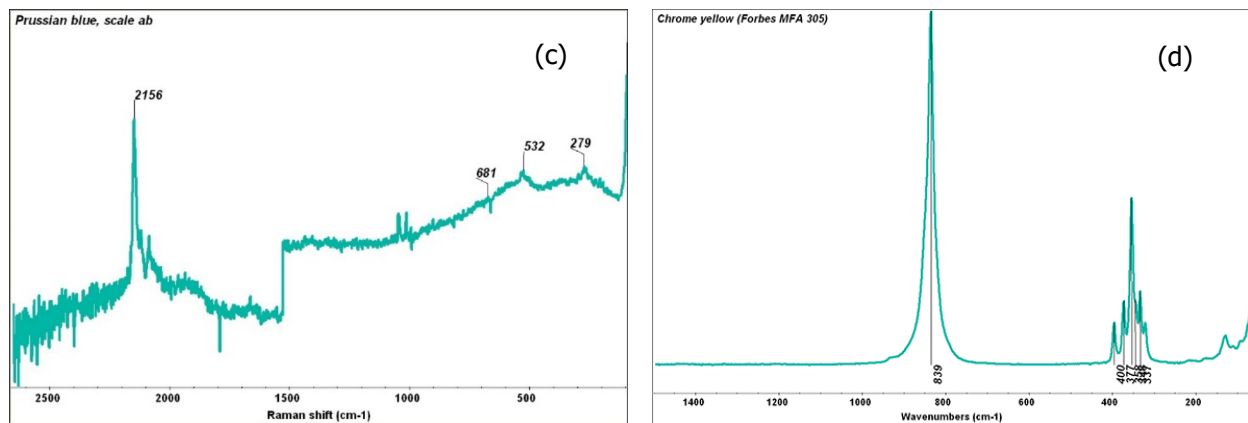


Fig. 235 Spectres Raman de référence Bleu de Prusse (c) et jaune de chrome (d) ©CAMEO

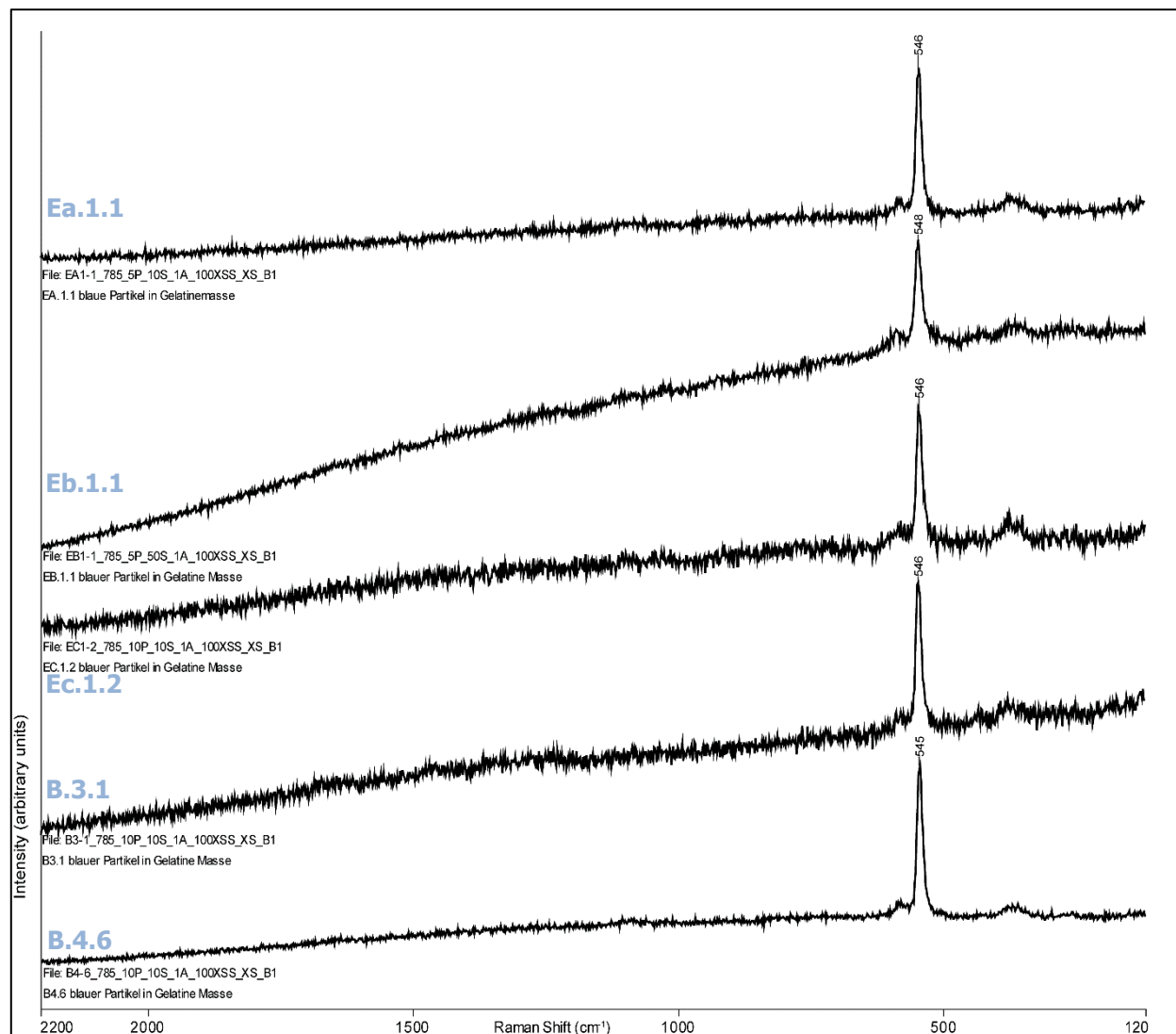


Fig. 236 Spectres Raman sur les particules bleues dans la masse de gélatine pour les échantillons (de haut en bas) : Ea.1.1 ; Eb.1.1 ; Ec.1.2 ; B.3.1 ; B.4.6.

**Interprétation :** l'ultramarine bleue, naturel ou synthétique, présente un seul pic caractéristique à 546 cm⁻¹. Toutes les coupes analysées présentent des particules bleue dans la masse de gélatine identifiée comme de l'ultramarine bleue.



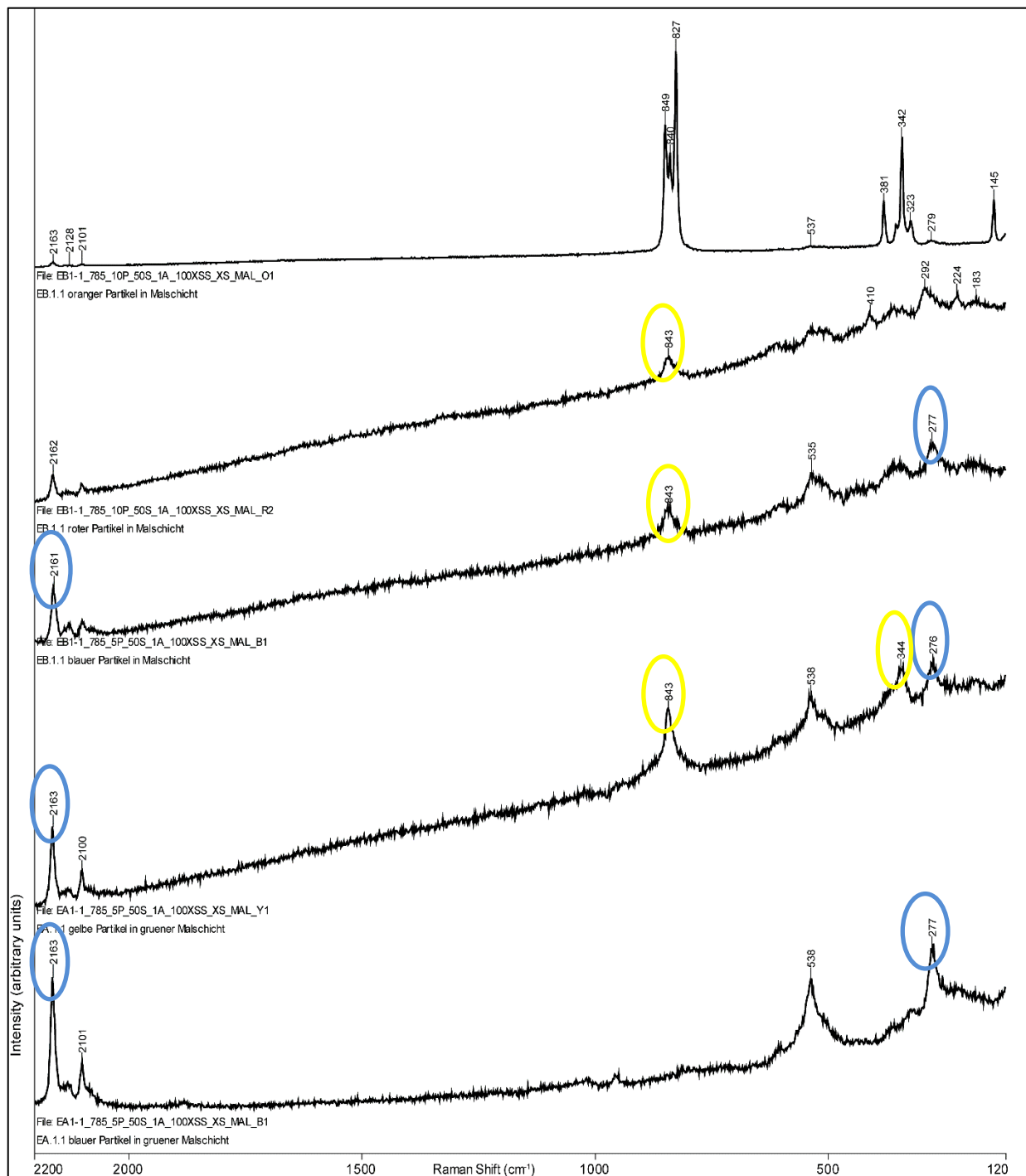


Fig. 237 Spectres Raman pigments dans les couches picturales sur dans les coupes Ea.1.1 ; Eb.1.1

Pics caractéristiques bleu de Prusse : 279 et 2156 cm<sup>-1</sup> (entouré de bleu)

Pics caractéristiques jaune de chrome : 377 et 839 cm<sup>-1</sup> (entouré de jaune)

**Interprétation :** La présence de pigments bleu de Prusse et jaune de chrome indique que la couleur utilisé pour rendre le vert est du vert de chrome. Des particules rouge sombre et orangé sont également visibles, ces sont des résidus d'oxydes ferreux.

### 7.13 Essais de modification de la gélatine à l'aide d'additifs

Le but est de réaliser des films de gélatine pur ou mélangée à des additifs, et de faire varier un des paramètres suivants afin de tenter d'évaluer son effet sur les propriétés de la gélatine.

Deux types de gélatines ont été utilisées pour ces tests. Une gélatine en granulés, « Gelatina Tecnica di pura Pelle » de la marque CTS, extraite de la peau de bovins et d'un indice de Bloom d'environ 300, sans additifs et sans décoloration (informations communiqué par mail de Mme Klizia Marciano, coordinatrice CTS Suisse). Les granulés sont d'une coloration orange foncé. La deuxième gélatine provient de Kremer Pigmente, « Pulvergelatine technisch », issue de peau de bovins avec un Bloom de 360-380. Elle se présente sous forme d'une poudre fine de couleur blanc-jaune clair. Aucun additif n'est signalé et il n'y a pas d'information disponibles sur une éventuelle décoloration de la gélatine.

Pour chaque variable, six quantités/concentration différentes sont testés. 50 ml d'une solution de gélatine modifiée uniquement avec la quantités/concentration de variable sont préparés puis versés à parts égales dans trois creux rectangulaires (chacun de 8 x 3.5 cm) d'un moule en silicone. Ainsi, après séchage à l'air libre (2 jours), il y a trois films de gélatine pour chaque quantités/concentration de la variable, donc 18 films de gélatine pour chaque test de variable.



*Préparation d'un test : solutions de 50 ml dans béchers, bain-marie à 50°C et moules en silicone*

#### **Gélatine pure :**

Variable : Concentration et type de gélatine

#### **Gélatine avec additifs :**

Variables testées : Durcisseurs : formaldéhyde ; Plastifiants : glycérine ; Décolorant : charbon actif ;

Pigment : ultramarin bleu ; Matifiant : amidon de riz<sup>212</sup>

---

<sup>212</sup> Non-illustré car impossible de photographier les fines variables de translucidité.


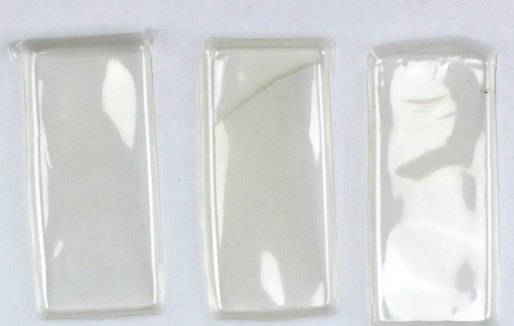




### Test Concentration et type de gélatine

Pour chaque type de gélatine (Kremer/CTS) trois différentes concentrations (w/w) sont préparées dans 50 ml d'eau déionisée : 4%, 14% et 24%.

La gélatine est laissée à gonfler pendant 1h puis dissoute au bain-marie (50°C) pendant 15 min.

Chaque 50 ml est réparti dans 3 moules en silicone rectangulaire.

Laisser sécher 2 jours à l'air libre

« Pulvergelatine technisch » Kremer Pigmente	« Gelatina Tecnica di pura Pelle » CTS	%
		<b>4%</b>
		<b>14%</b>
		<b>24%</b>
<p>Ce test met en lumière l'influence de la qualité et de la production de la gélatine dans le rendu final une fois le film sec. On voit qu'à 24% la gélatine CTS a beaucoup plus de retrait que la gélatine Kremer. La concentration est également un facteur qui influence sur le retrait et la coloration du film final.</p>		

**Test Durcisseurs : formaldéhyde**

27g de gélatine gonflé pendant 1h puis dissoute au bain-marie (50°C) dans 300 ml d'eau déionisée.  
Division de la solution de base en 6 x 50 ml dans 6 béchers

Ajouter **X** ml de formaldéhyde à 4% dans de l'eau, dans chaque bécher, bien mélanger.

Verser chaque 50 ml dans 3 moules en silicone rectangulaire.

Laisser sécher 2 jours à l'air libre

**X**  
**ml**

**X**  
**ml**

**0**



**2**

**1**



**2.5**


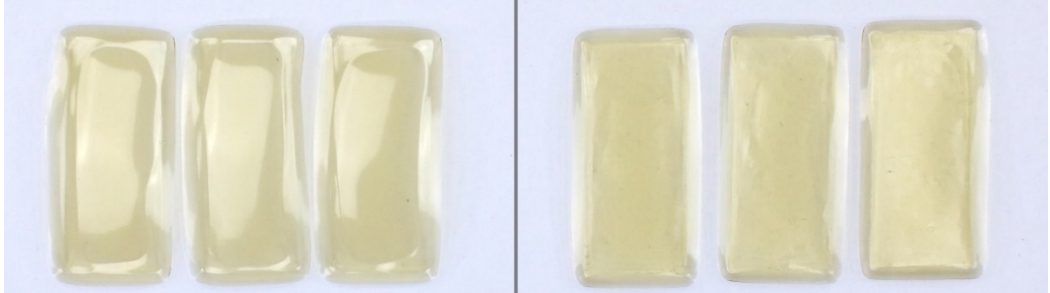
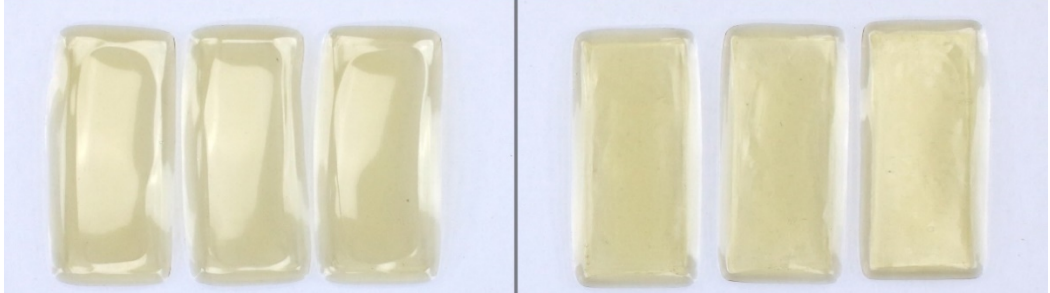
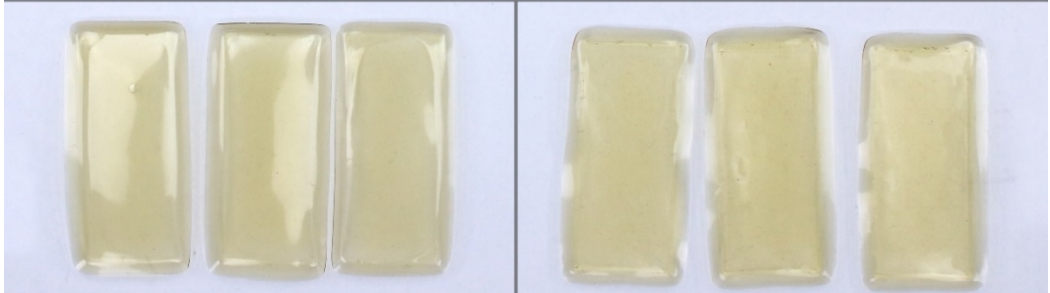
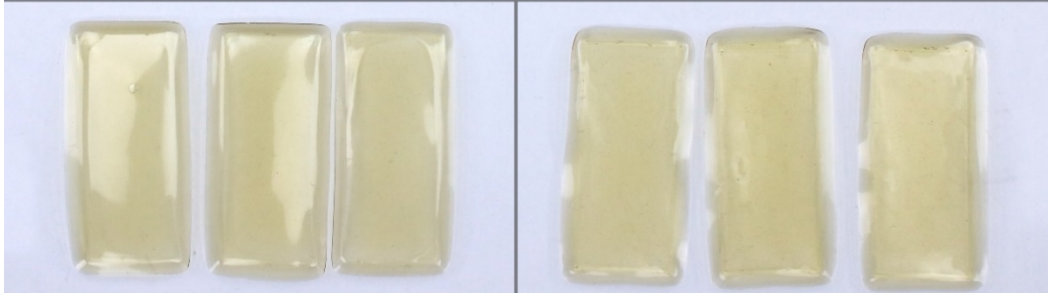
**1.5**



**3**

Le durcisseur permet à la gélatine d'être insoluble dans l'eau (même si le film gonfle on n'obtient plus une solution). Il est difficile de savoir l'influence exacte du formaldéhyde, ni de quantifier ce durcissement. Des mesures avec un Shoremètre A se sont révélées insuffisantes. Il est possible d'affirmer que le formaldéhyde n'influence pas sur le retrait du film au séchage. Le durcissement semble se poursuivre sur plusieurs jours après le séchage complet du film. Dans une salle avec une humidité relative de l'air stable, les films avec le plus de formaldéhyde sont devenus très cassants après plusieurs jours, tandis que ceux sans formaldéhyde restaient relativement souples.



Test Plastifiants : glycérol			
<p>27g de gélatine gonflé pendant 1h puis dissoute au bain-marie (50°C) dans 300 ml d'eau déionisée. Division de la solution de base en 6 x 50 ml dans 6 béchers</p> <p>Ajouter <b>X</b> g de glycérol, dans chaque bécher, bien mélanger, continuer à chauffer pendant 20 min. Verser chaque 50 ml dans 3 moules en silicone rectangulaire. Laisser sécher 2 jours à l'air libre</p>			
<b>X g</b>		<b>X g</b>	
<b>0</b>			<b>2.7 (60%)</b>
			
<b>0.9 (20%)</b>			<b>3.6 (80%)</b>
<b>1.8 (40%)</b>			<b>4.5 (100%)</b>
			
<p>Le glycérol fluidifie la solution de gélatine et rend le film beaucoup plus mou : des mesures avec un Shoremètre A montre une diminution de la dureté significative à partir de 40%. Le glycérol a une forte influence sur le retrait. A partir de 40% le film a une surface pégueuse au touché.</p>			

**Test Décolorant : charbon actif**

27g de gélatine gonflé pendant 1h puis dissoute au bain-marie (50°C) dans 300 ml d'eau déionisée.

8g de glycérol (env. 30%), ajoutés puis mélanger pendant 30 min

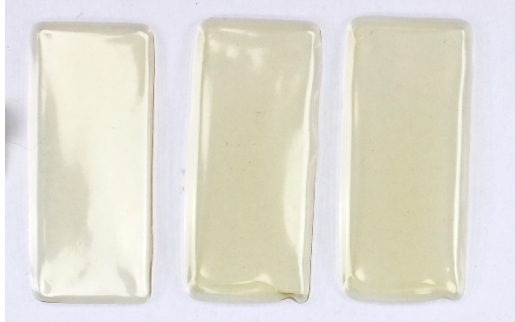

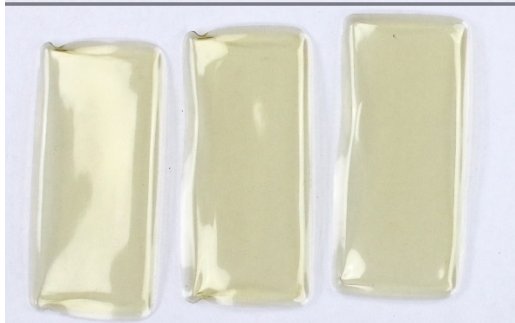
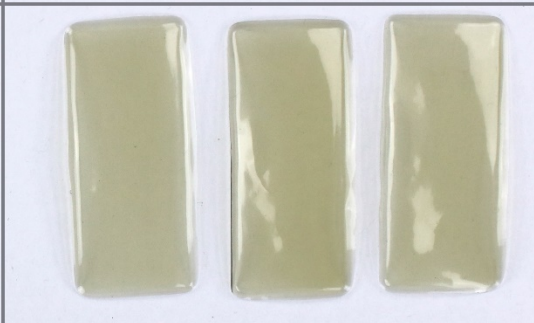
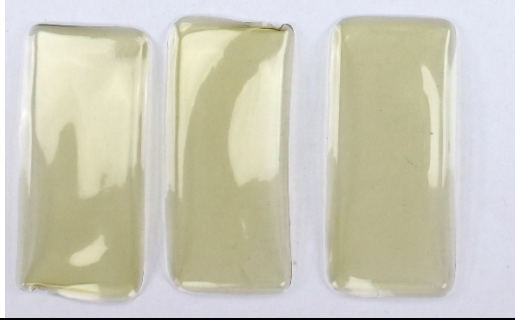
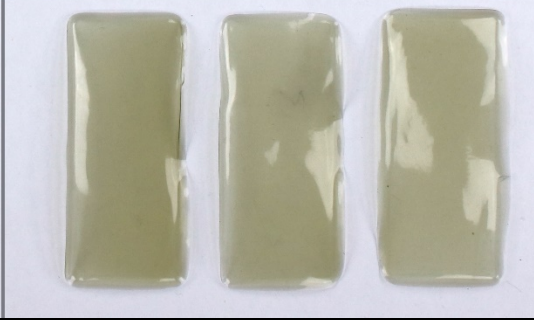
13.5 ml de formaldéhyde 4%, ajoutés puis mélanger

Division de la solution de base en 6 x 50 ml dans 6 béchers

Ajouter **X** g de charbon actif, dans chaque bécher, mélanger très doucement, laisser reposer 20 min au chaud. Filtrer 2 fois chaque mélange dans du papier filtre de laboratoire.

Verser chaque 50 ml dans 3 moules en silicone rectangulaire.

Laisser sécher 2 jours à l'air libre

X g				X g			
0							0.675
0.225							0.9
0.45							1.125
Le charbon actif n'a pas eu de réel action décolorante, il a plutôt eu tendance à se déliter une fine poudre qui est venue colorer le film de gélatine.							

**Test Pigment : ultramarin bleu**

27g de gélatine gonflé pendant 1h puis dissoute au bain-marie (50°C) dans 300 ml d'eau déionisée.

8g de glycérol (env. 30%), ajoutés puis mélanger pendant 30 min



13.5 ml de formaldéhyde 4%, ajoutés puis mélanger

Division de la solution de base en 6 x 50 ml dans 6 béchers

Ajouter **X** g d'une solution d'ultramarin clair (Kremer) à 1% dans de l'éthanol, dans chaque bécher

Verser chaque 50 ml dans 3 moules en silicone rectangulaire.

Laisser sécher 2 jours à l'air libre

<b>X g</b>							<b>X g</b>
<b>0</b>							<b>0.15</b>
<b>0.05</b>							<b>0.2</b>
<b>0.1</b>							<b>2.5</b>

Le but de l'ajout d'un pigment bleu, dans le cas étudié dans ce mémoire, est de « maîtriser » visuellement la coloration naturellement jaune de la gélatine. Les gélatines techniques utilisées pour ces essais sont particulièrement jaunes, mais ici on voit que l'ajout de 0.05 g d'une solution ultramarine-éthanol à 1% (w/w) suffit à supprimer légèrement cette coloration. Mais le fort pouvoir colorant de l'ultramarine fait que très rapidement la gélatine prend une teinte verte.



## 7.14 Constat d'état

### 7.14.1 Cartographie complète Brachythecium (Nr 1) Botmus

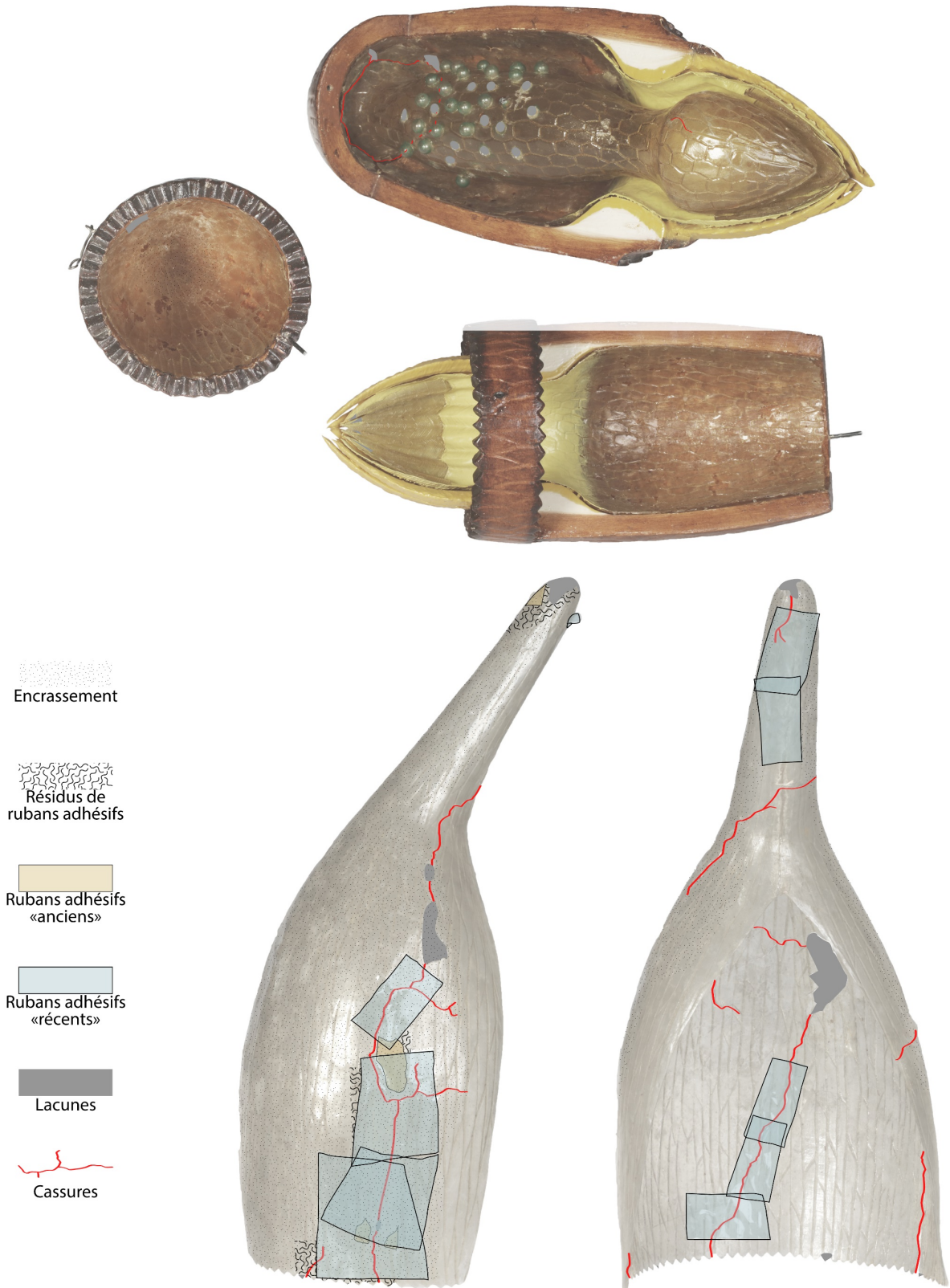






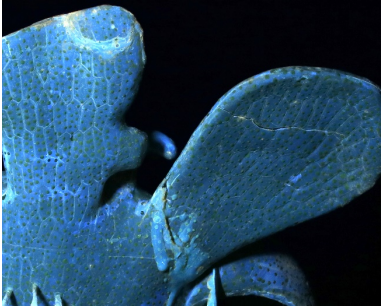



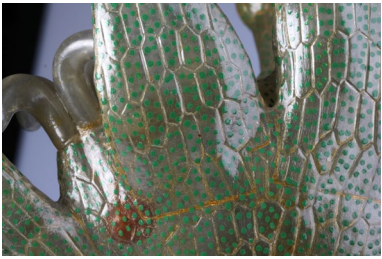
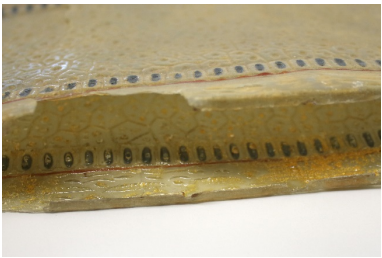
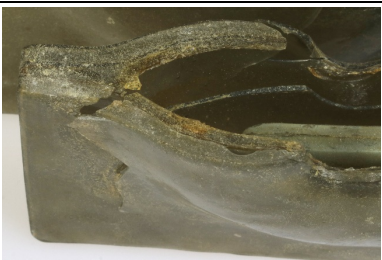
Fig. 238 Cartographie complète des altérations sur le modèle Brachythecium (Nr 1)

7.14.2      Etat de conservation du corpus de modèles étudié

7.14.2.1    Altérations


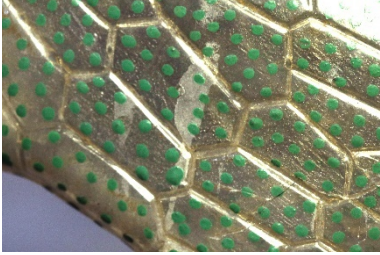

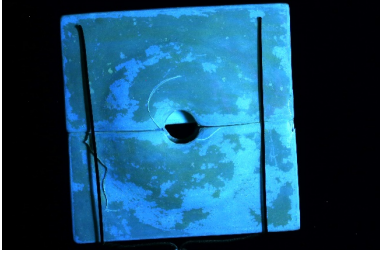
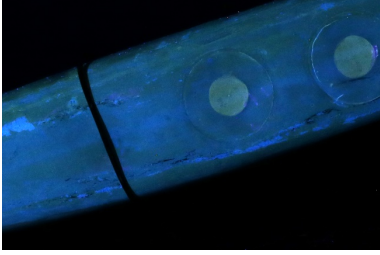
Général	
	<p><b>Empoussièrement</b> : Dépôt de poussière fine et volatile visible sur les surfaces des modèles et des socles.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Encrassement</b> : Accumulation de dépôt grisâtres/foncés, non-volatiles.</p> <p>Exemple : Brachythecium (Nr 1) Botmus</p>

	<p><b>Anciennes réparations :</b> Racommodages de fortune de certaines cassures, soit à l'aide d'adhésif, visibles sous forme de débordements fortement jauni, soit avec du ruban adhésif. Sous rayonnement UV, souvent ces adhésifs ont une forte fluorescence blanche ou bleutée.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Küssnacht</p>
---	---

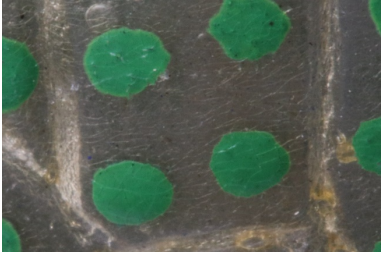


Gélatine	
	<p><b>Jaunissement :</b> Coloration jaune/brune globale de l'objet, régulière, observable même dans les zones sans vernis.</p> <p>Exemple : Brachythecium (Nr 1) Rämibühl</p>
	<p><b>Jaunissement des lignes d'assemblage :</b> Coloration jaune-orangée localisée le long des assemblages, potentiellement liée à l'adhésif utilisé à la fabrication de l'objet.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Burgdorf</p>
	<p><b>Cristallisations orangées :</b> Présence dans la masse de gélatine, de petites cristallisations de couleur orangée, légèrement en relief et brillantes.</p> <p>Exemple : Secale (Nr 13a)</p>
	<p><b>Cassures :</b> Fracture complète ou partielle de la membrane. Généralement avec une morphologie très irrégulière, elles peuvent être en zigzag, biseautées, en étoile, etc.</p> <p>Exemple : Pinus Silvestris (Nr 156)</p>


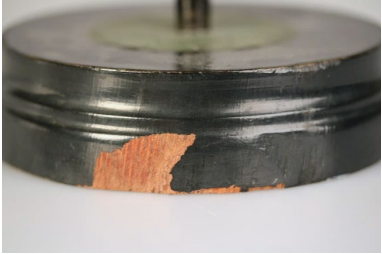
	<p><b>Déformations</b> : Zones déformées ou parties qui ne sont plus jointives au niveau des bords ou d'une cassure.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Burgdorf</p>
	<p><b>Perte de parties</b> : Détachement complet d'une partie de l'objet, avec séparation au niveau d'une cassure ou le long d'une ligne d'assemblage. Ces parties sont soit encore présente soit complètement perdues.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Désolidarisation des lignes d'assemblages</b> : Décollage ou désolidarisation des lignes d'assemblages. Cette altération est parfois visible en lien avec une cassure.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Opacification localisée</b> : Zone blanchâtre et opaque, en léger creux, sans pulvérulence.</p> <p>Exemple : Brachythecium (Nr 1) Botmus</p>
	<p><b>Lacunes</b> : Perte localisée d'un fragment de la membrane.</p> <p>Exemple : Brachythecium (Nr 1) Botmus</p>
	<p><b>Moisissures</b> : Attaque de microorganismes visible sous forme de dépôts blanchâtres et poudreux/duveteux sur certaines surfaces. Morphologie parfois en points éparses ou en petites zones complètement recouvertes.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 5)</p>

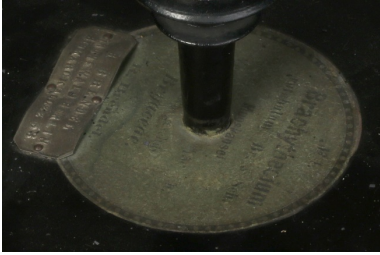
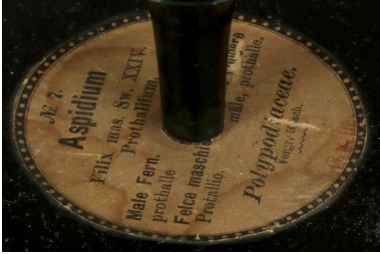
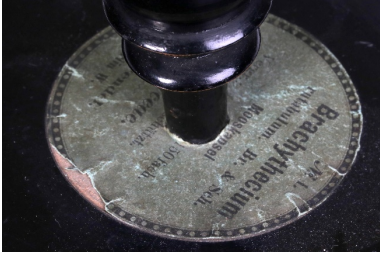


Vernis	
	<p><b>Jaunissement</b> : Zones où le vernis apparaît à l'œil nu avec une coloration jaune/brune relativement prononcée.</p> <p>Exemple : Anatropes Ovulum (Nr 165)</p>
	<p><b>Chancis</b> : Blanchiment et opacification localisée du vernis. La peinture sous le vernis n'est généralement pas affectée. Souvent, le chancis localisé a la forme d'éclaboussures/gouttes/coulures.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Craquelures</b> : les surfaces où le vernis est encore présent en couche régulière et relativement épaisse, un réseau de fines craquelures es visibles.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Perte d'adhérence/lacunes</b> : Sous fluorescence UV, le vernis apparaît comme très irrégulier. Les bords, les zones de jonction des différentes parties, les zones difficiles à vernis sont particulièrement touchées. Parfois le vernis s'écaille de la surface.</p> <p>Exemple : Pinus Silvestris (Nr 156)</p>
	<p><b>Abrasion</b> : Perte localisé de vernis liée à une zone de préhension ou au contact avec le système de support (tiges métalliques).</p> <p>Exemple : Pinus Silvestris (Nr 190)</p>



Détails peints	
	<p><b>Craquelures</b> : Réseau de fendillements ou fissures dans la matière, souvent visibles dans le vernis puis prolongées dans les détails peints sous-jacents.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Usure</b> : Perte localisée des détails peints, en lien avec une zone de frottement ou au contact avec le système de support (tiges métalliques).</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Burgdorf</p>
	<p><b>Perte d'adhérence</b> : Altération de la couche picturale qui se détache par fragments, qui s'écaille.</p> <p>Exemple : Pisum sativum (Nr 145)</p>

Socle	
	<p><b>Perte de peinture</b> : Perte localisée de la couche de peinture qui laisse apparaître la couleur naturelle du bois ou du métal.</p> <p>Exemple : Pinus silvestris (Nr 154)</p>
	<p><b>Cassures/ébréchures</b> : Perte, sous forme d'éclat ou d'arrachement, de la matière du socle en bois.</p> <p>Exemple : Equisetum (Nr 4) Botmus</p>
	<p><b>Restes d'anciennes étiquettes/taches</b> : Zones avec des résidus d'adhésif en forme rectangulaire. Taches divers.</p>

Etiquettes	
	<b>Plis</b> : Déformation localisée où le papier s'est rabattu sur lui-même
	<b>Décoloration/ternissement</b> : Aspect global où les inscriptions deviennent très peu lisibles ou altération très localisée liée à un pli.
	<b>Taches d'eau</b> : Auréoles (taches plus claires avec bords irréguliers et plus foncés) ou gondolement localisé.
	<b>Inscriptions</b> : Ajout à l'aide d'un stylo ou d'un crayon d'inscriptions sur les étiquettes.
	<b>Lacunes</b> : Perte localisée du papier.
	<b>Déchirures</b> : Rupture dans le papier avec bords effilochés
	<b>Décollements</b> : Soulèvements ou perte d'adhérence du papier sur le support, généralement sur les bords.

Autre	
	<b>Altérations des textiles</b> : perte de fragments, déformations localisées, jaunissement.  Exemple : Equisetum (Nr 4) Burgdorf
	<b>Altérations du papier-mâché</b> : lacunes, pertes de la couche picturale, déformations, etc.  Exemple : Brachythecium (Nr 1) Rämibühl

## 7.14.3 Constat d'état du corpus étudié

ALTÉRATION																																			
Collection	Modèle	Général			Gélatine								Vernis				Détails peints			Socle			Etiquettes					Autre							
		Empoissièrement	Anciennes réparations	Jaunissement des lignes d'assemblage	Cristallisations orangées	Jaunissement	Cassures	Déformations	Perte de parties	Désolidarisation des lignes d'assemblages	Opacification localisée	Encrassement	Lacunes	Moississures	Jaunissement	Chancs	Craquelures	Perte d' adhérence/lacunes	Abrasion	Craquelures	Usure	Perte d' adhérence	Perte de peinture	Cassures /ébréchures	Restes d'anciennes étiquettes/taches	Plis	Décoloration/vernisement	Taches d' eau	Inscriptions	Lacunes	Déchirures	Décollements	Altérations du papier-mâché	Cassures/déchirures des textiles	
Botmus	Brachythecium (Nr. 1)	+	+	+	+	+	++	+	+	+	++	++	++	-	+	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-	++	-	+	+	+	+	-	-	-
	Equisetum (Nr. 4)	+	++	+	+	+	+	+	+	-	-	-	++	-	+	++	+	+	++	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	
	Pinus (Nr.156)	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	++	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Tretadenbildung (Nr.155)	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	++	-	-	++	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	
	Marchantia Poly. (Nr.141)	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Campyl. Ovulum (Nr.166)	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	++	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Anatro. Ovulum (Nr.165)	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Pinus (Nr.190)	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Spirogyra (Nr.205)	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Pinus (Nr.154)	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	++	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aristolochia (Nr.102)	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Küsnacht	Equisetum (Nr. 3)	+	+	+	+	++	-	-	+	+	+	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Equisetum (Nr. 4)	+	++	-	+	+	++	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Equisetum (Nr.5)	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Aspidium (Nr.8)	-	-	-	+	++	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Aspidium (Nr.7)	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Pisum (Nr. 145)	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Burgdorf	Equisetum (Nr. 4)	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	++	
Ramibühl	Brachythecium (Nr. 1)	++	-	+	++	++	++	+	++	-	-	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++

Carré gris = objet sans cette partie ; - = altération non-observée ; + = altération faible ; ++ = altération moyenne ; +++ = altération complète/grave

## 7.15 Tests de collage et de nettoyage

### 7.15.1 Création des éprouvette-test

#### **Fabrication des films de gélatine de base**

Produits : 60 g de gélatine sèche, 140 ml d'eau déionisée, 18 g de glycérol et 9 ml de formaldéhyde 4%

Déroulé : La gélatine est d'abord laissée à gonfler dans l'eau déionisé pendant 1h puis le tout est solubilisé dans un bain-marie à 55°C. Une fois toute la gélatine dissoute, le glycérol est ajouté. Le mélange est laissé à chauffer quelques minutes en remuant de temps en temps, et le formaldéhyde 4% est ajouté. Le tout est versé sur une plaque en plastique (20x30 cm) plane et laissé à sécher à l'air libre pendant 3-4 jours. Le résultat est un film de gélatine de 0.5 mm d'épaisseur.

Pour les tests de collages, ces films de 20x30 cm de grandeur ont ensuite été découpés en éprouvettes de 9x3 cm.

Pour les tests de nettoyage, un film de 20x30 cm a été vernis avec un vernis sandaraque.

#### **Recette pour le vernis<sup>213</sup>**

Produits : 9g de gummi sandaraque Kremer, 60 ml d'éthanol, 10 ml d'huile essentielle de lavande *Lavandula angustifolia*

Déroulé : Les cristaux de sandaraque sont réduits en poudre dans un mortier en pierre. La poudre obtenue est dissous dans l'éthanol en remuant constamment. Une fois toutes les particules dissoutes, l'huile essentielle de lavande est ajouté et mélangée avec la solution. Le tout est finalement filtré 4 fois avec du papier filtre de laboratoire.

Le vernis est appliqué au pinceau sur le film de gélatine, puis laissé sécher à l'air libre, protégé de la poussière, pendant 2 jours.

Un essai de sandaraque uniquement dissoute dans de l'éthanol a montré que le vernis obtenu forme une couche trouble et irrégulière, l'huile essentielle de lavande (ou un autre plastifiant) est donc nécessaire pour obtenir un vernis transparent et brillant.

---

<sup>213</sup> Combinaison de plusieurs recettes rencontrées : Tingry, 1803 ; McIntosh, 1911 ; Hofstätter, 2020 [En ligne]



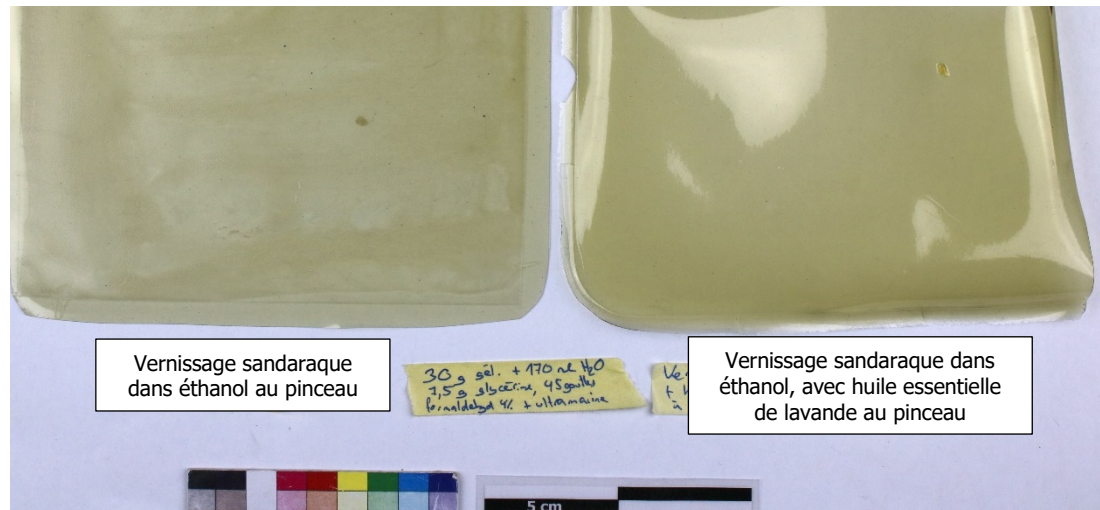


Fig. 239 Tests de vernissage

### 7.15.2 Protocole de vieillissement artificiel

Il était nécessaire de vieillir artificiellement éprouvettes découpées et le film vernis pour les tests, pour obtenir des situations de collage ou de nettoyage proches du cas de figure réel sur les modèles Brendel. Il existe de grandes différences de sensibilité et solubilité entre des matériaux neufs et des matériaux anciens.

Deux méthodes sont principalement utilisées pour tenter d'« accélérer » le vieillissement : concentrer l'impact d'une condition environnementale particulière, telle que la lumière, ou soumettre les matériaux à des conditions extrêmes impliquant tous les facteurs environnementaux qu'ils sont susceptibles de rencontrer dans leur environnement réel, notamment les cycles de lumière, de chaleur et d'humidité<sup>214</sup>. La gélatine étant un matériau très sensible à l'eau et à la chaleur, le vieillissement artificiel s'est concentré sur un fort rayonnement lumineux.

Le vieillissement artificiel repose sur l'hypothèse selon laquelle l'exposition d'un matériau à une dose de rayonnement électromagnétique (lumière visible et proche UV) de forte intensité pendant une courte période produit le même effet qu'une dose de faible intensité pendant une période prolongée<sup>215</sup>.

Pour le choix des paramètres, il a d'abord fallu faire une estimation de l'exposition à la lumière qu'ont pu subir les objets et du spectre de rayonnement électromagnétique pertinent.

Pour ce qui est de l'exposition, la supposition que ces objets ont été utilisés pour l'enseignement, et, en dehors des cours, ils étaient rangés, soit dans une armoire fermée, soit dans une vitrine. Dans une salle de classe, l'exposition d'un objet peut varier entre 200 et 1500 Lux (valeurs mesurées dans diverses salles de classes à la HE-Arc, dans plusieurs positions de l'appareil).

<sup>214</sup> Artioli, 2010, p.137-139

<sup>215</sup> Artioli, 2010, p.149

Estimation des lux à atteindre				
<b>Dans une armoire</b>	260 h par année <sup>a</sup> .	200-1500 Lux	50 ans <sup>c</sup> .	2'600'000 -19'500'000 Lux
<b>Dans une vitrine</b>	3000 h par année <sup>b</sup> .	200-1500 Lux	50 ans	30'000'000 – 225'000'000 Lux
<sup>a</sup> 5h d'exposition par semaine (dans le cadre de cours ponctuels avec un rangement dans une armoire fermée), donc 260 h par année <sup>b</sup> 8h d'exposition par jour donc environ 3000 h par année. <sup>c</sup> 50 ans d'exposition, c'est une valeur d'utilisation raisonnable. Notamment car ce type de modèles ont été peu/pas utilisés depuis le milieu du 20 <sup>e</sup> siècle, date approximative d'apparition des nouveaux modèles en matières plastiques.				

Dans l'estimation ci-dessus, les objets ont été exposé à 2'600'000 – 225'000'000 lux dans leur existence. C'est une très grossière approximation, mais elle permet de donner un cadre, et une valeur de lux à atteindre pour les paramètres de l'enceinte de vieillissement.

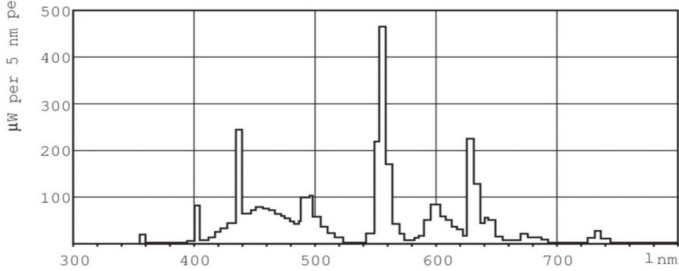
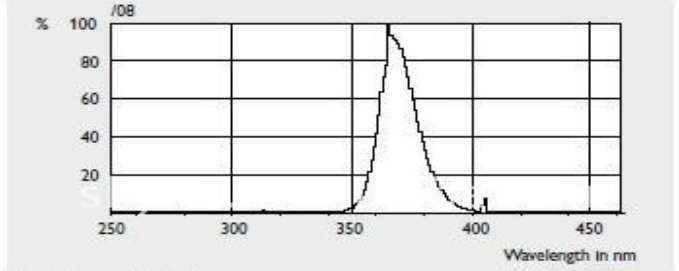
La lumière visible et le rayonnement UV ne provoquent pas les même type de réactions dans les matériaux<sup>216</sup>. L'UV étant un rayonnement plus énergétique, les réactions sont plus rapides et fortes. Donc utiliser uniquement des UV est très efficace pour altérer le matériau mais risque d'être peu représentatif. D'autres réactions chimiques mènent à la production de produits non-représentatif et affect la solubilité des matériaux. Même si ces objets ont été probablement peu utilisé en extérieur, ils ont probablement été exposé à la lumière naturelle à travers des vitres et à des lampes. Le verre peut bloquer une partie des UV, mais pas tous. Les UVA (315-400 nm) peuvent en partie passer.

Le rayonnement qui nous intéresse va donc d'environ 350 nm à 750 nm.

Pour obtenir le rayonnement désiré, deux sortes de tubes fluorescents ont été sélectionnés : un qui reproduit la lumière du jour (400-700 nm) et un qui produit un rayonnement dans le proche UV (350-400)(Tableau 20, p.233). Les tubes sont mis en alternance UV/lumière du jour dans le plafond de l'enceinte.

<sup>216</sup> Feller, 1994, p.63, 88-89

Tableau 20 Tubes fluorescents sélectionnés pour le vieillissement artificiel

Nom et marque	Longueur d'onde	Pic	Type de lumière	Répartition du rayonnement ©Philips
Philips MASTER TL-D Eco 16W/865 1SL/25	400-700 nm	~550 nm	Lumière du jour	
Philips TL 8W BLB	350-400 nm	~370 nm	UV	 Spectral power distribution

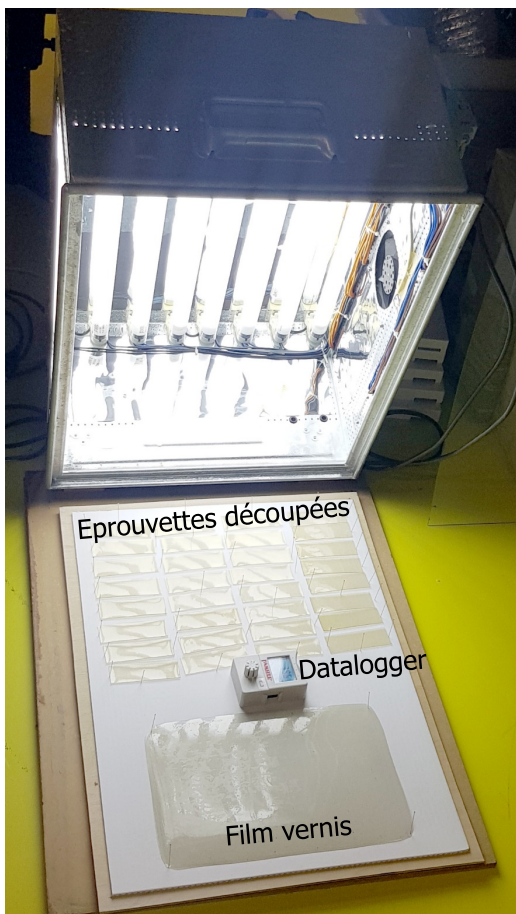


Fig. 240 Enceinte de photo-vieillissement HKB

L'appareil utilisé est une enceinte de vieillissement à la lumière de la HKB, fabriqué dans cette école. C'est une boîte en aluminium, dans laquelle des tubes fluorescents sont fixé au plafond et doté d'un système de ventilation.

Dans l'enceinte, les lux mesurés sont en moyenne de 8360 lux. Pour atteindre une exposition de 2'600'000 Lux, il faudrait environ 13 jours ( $2'600'000 / (24h \times 8360 \text{ lux})$ ) dans ces conditions. Pour 225'000'000 lux, il faudrait 1121 jours d'exposition dans ces mêmes conditions. Dans le cadre de ce travail de master, les délais font qu'il n'est pas possible d'appliquer ce maximum.

Il y a des variations de lux et d'UV selon la position des tubes, en effet l'échantillon peut se trouver soit sous un tube Philips Master soit sous un tube Philips BLB UV. Chaque semaine, les échantillons sont bougés afin de créer une rotation, et ainsi éviter qu'un échantillon ne reçoive que de la lumière UV.

Les échantillons ont été placé du 29.04.2021 à 10h00 au 19.05.2021 à 16h00 dans l'enceinte. Soit presque 20 jours, 478h, pour un total de 3'996'080 lux.

Un datalogger Hamster® a permis de vérifier que les conditions thermo-hygrométriques ne soient pas trop éloignées de la réalité et ne provoquent pas des réactions indésirables. En moyenne, la température était de 38°C et l'humidité relative de 15%. Il faisait plutôt sec, il n'y a donc pas risque d'hydrolyse de la gélatine. La température élevée, bien qu'elle ait probablement ramolli les échantillons, n'est pas encore au point de fusion de la gélatine. Elle a probablement catalysé et donc accéléré les réactions de photo-oxydation des échantillons.

Visuellement, il a été possible de voir que le vieillissement a été efficace en créant un fin réseau de craquelures sur le film de gélatine vernie (Fig. 241, ci-dessous). En revanche, aucun jaunissement particulier de la gélatine n'a été observé.



*Fig. 241 Film de gélatine vernie après vieillissement*

### 7.15.3 Test de nettoyage

Les méthodes suivantes ont été testées sur l'éprouvette faite d'un film en gélatine vernis avec une vernis sandaraque puis vieilli. Si les méthodes ne dégradait pas l'éprouvette elles étaient testés sur les parties en gélatine du modèles Brachytecium (Nr 1) Botmus.

Gel de silicone KSG 350 Z			
80% de gel et 20% d'eau ajustée (tampon acide acét./NaOH, pH 5)		80% de gel et 20% d'alcool benzylique	
Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5
90% de gel et 10% d'acétate d'éthyle		90% de gel et 10% d'acétone	
Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5



Gel xanthane			
1% dans eau ajustée (solution tampon acide acétique/NaOH, pH 5)		1% dans eau ajustée - alcool benzylique (85-15%)	
Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5	Sans imperméabilisation	Avec au préalable une imperméabilisation au D5

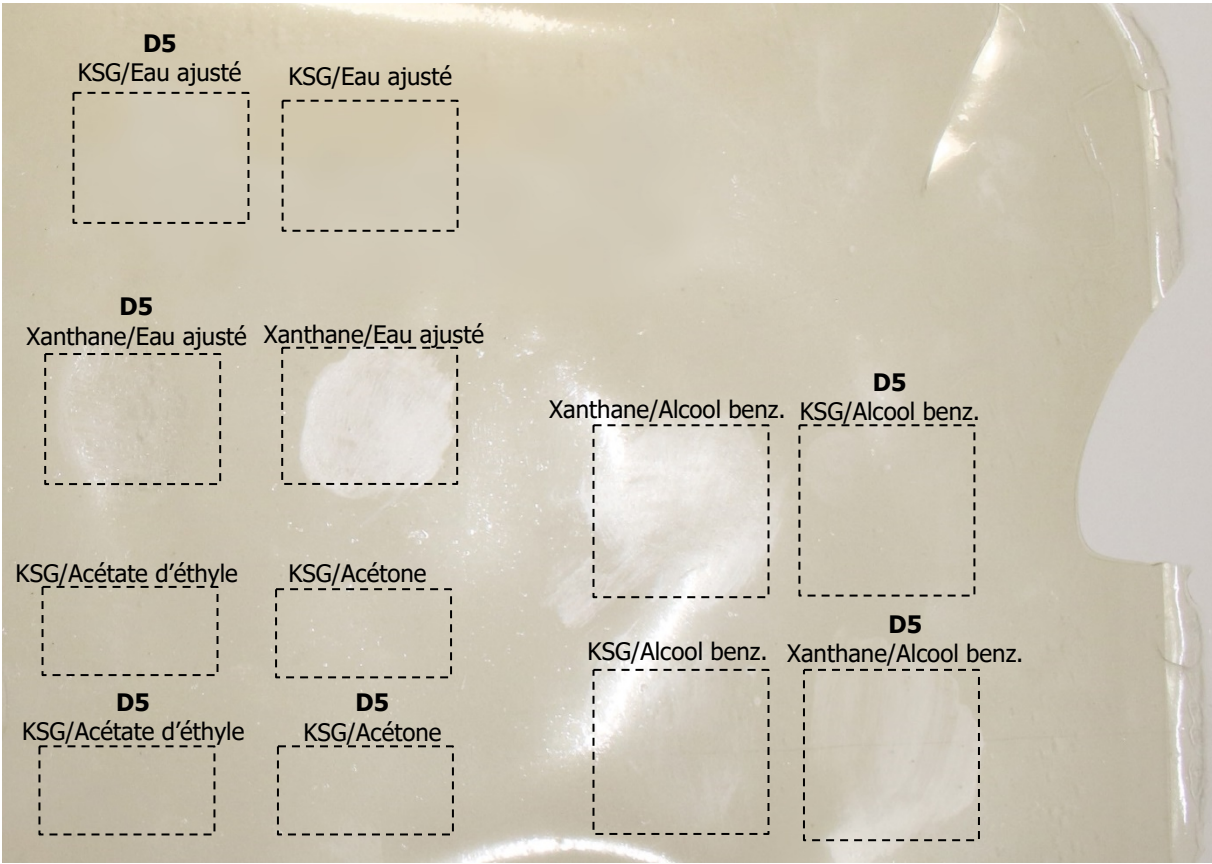


Fig. 242 Tests de nettoyage sur une éprouvette

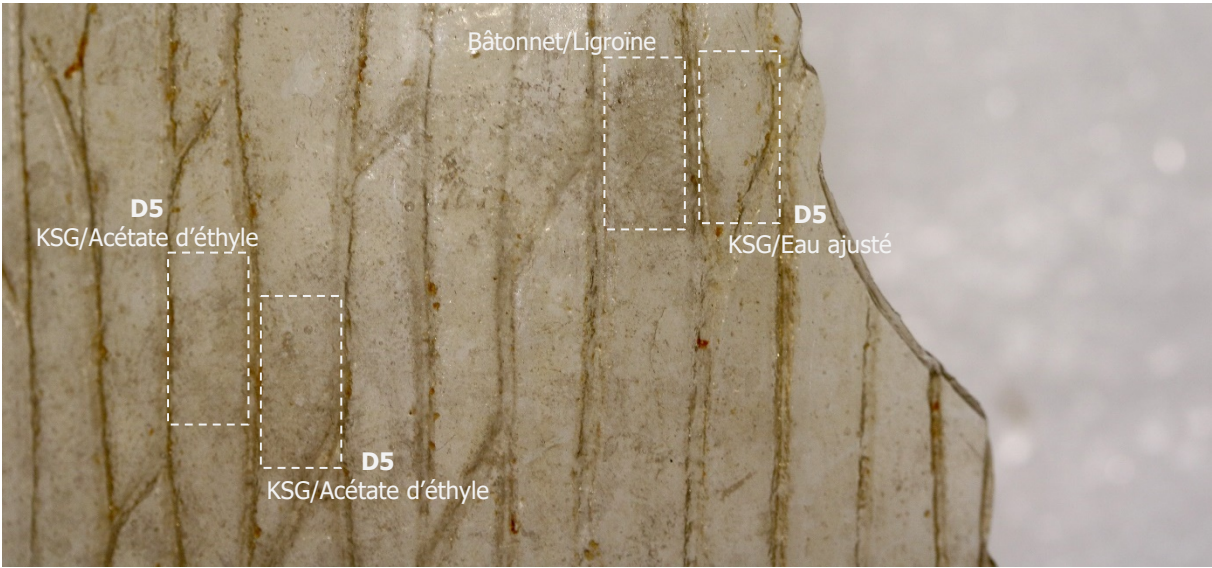


Fig. 243 Tests de nettoyage sur une zone encrassée du capuchon

#### 7.15.4 Test de collage

En considérant la sensibilité des matériaux, on peut remarquer que l'on a affaire à un système composite relativement complexe. En dehors des matériaux comme le papier-mâché ou les textiles, le système base gélatine-couche de peinture-vernis ressemble à problématique de peinture (avec une couche de préparation à base de colle de peau par exemple). Et la sensibilité des matériaux fait également penser au domaine de la photographie qui traite souvent de gélatine.

##### *7.15.4.1 Réflexion autour de la problématique de collage*

En restauration de matériaux organiques, les adhésifs les plus utilisés sont des colles naturels (protéiniques, amidons), les éthers de celluloses et les dispersions acryliques ou vinyliques. En photographie, pour le refixage d'écaille d'émulsions à base de gélatine, les adhésifs tels que les éthers de cellulose dans l'éthanol peuvent être utilisés<sup>217</sup>. Ceci afin d'éviter une déformation des écailles hydro-sensibles avec un apport d'eau. Down (2015), propose même une application de Paraloid™ B72 dans du xylène pour ces émulsions photographiques. Pour des très petites consolidations, de la gélatine peut être également appliquées<sup>218</sup>.

Il n'existe que peu de travaux concernant spécifiquement les parties en gélatine Brendel. Fiorini *et al.* (2008), avec « Save the Plants » ne fait qu'effleurer la problématique de la gélatine et recherche encore des traitements adaptés. Pour les parties en papier-mâché peint ou en bois, la restauratrice Mme Luana Maekawa utilise selon les cas, de la Klucel G, des dispersions acryliques Plextol B500 et Acril 33<sup>219</sup>. Certains éléments structuraux ont été refixés à l'aide d'adhésifs vinyliques ou époxyde à prise rapide.

Mayoni (2016) consacre quelques lignes à la restauration de modèles de Brendel en gélatine ; les collages sont simplement réalisés avec une solution de gélatine. C'est également le cas de la plupart des restaurateurs contactés.

De manière générale, dans la littérature et les travaux menés, sur la gélatine, sont utilisés des adhésifs à base d'eau. La gélatine est sensible à l'eau, il est probable qu'à l'interface adhésif base eau/gélatine, cette dernière va s'hydrolyser partiellement, se mélanger avec l'adhésif et finalement sécher en contribuant à un joint de collage solide, mais totalement irréversible. Le principe de réversibilité est déjà difficilement applicable lorsque l'on a affaire à des collages où la nature de l'adhésif est différente à celle du substrat. Et cette réversibilité est quasi impossible dans le cadre de consolidations. Dans le cas de ces modèles de Brendel, est-il possible de trouver un adhésif qui remplit tous les critères relatifs à l'adhésion (compatibilité, sans tension, souplesse, résistance, etc.), qui n'est pas plus résistant que le substrat (en cas de tension appliqué sur le collage une rupture cohésive de l'adhésif et non du substrat) et qui pourrait être retraité/retiré si nécessaire sans endommager la gélatine vernie ?

---

<sup>217</sup> Down, 2015, p.153

<sup>218</sup> Down, 2015, p.154

<sup>219</sup> Fiorini *et al.*, 2008, p. 42-43

Dans cette réflexion, les colles naturelles (peau, gélatine, amidons) et les éthers de cellulose, sont appliqués dans des solutions aqueuses, et surtout elles ne sont réactivées qu'avec un très grand apport d'eau. Elles sont donc écartées. Les hydroxypropylcelluloses comme les Klucel, ne conviennent pas non plus car, bien qu'elles puissent s'appliquer dans l'éthanol, la sensibilité du vernis aux alcools rend l'intervention tout autant irréversible. Les dispersions sont à proscrire, car elles impliquent un trop grand apport d'eau et leur pH est peu stable<sup>220</sup>.

L'adhésif sélectionné devra avoir de bonnes caractéristiques de collage car les tranches sont très fines et certains éléments à recoller sont relativement grands. Le joint d'adhésif doit être relativement souple et exempt de tensions, car la gélatine étant un matériau organique fragile qui risque d'avoir des variations dimensionnelles avec les fluctuations des conditions climatiques. De plus, la membrane en gélatine est relativement flexible, dans certains cas les collages seront très sollicités mécaniquement.

Pour la mise en œuvre, il faut un adhésif qui a un effet tack rapide, car les formes sont complexes et la mise sous tension des collages risque d'être difficile. Il faut également un temps de séchage raisonnable, qui fasse un compromis entre un temps de travail suffisamment long et un séchage rapide pour effectuer plusieurs collages.

Le sujet de la réversibilité/retraitabilité des interventions est délicat. Les tests de solubilité montrent que les seuls solvants qui n'endommagent ni le vernis, ni la gélatine, ni la peinture à l'huile, sont les aliphatiques, voire des mélanges d'aliphatiques avec un petit pourcentage d'acétone/acétate d'éthyle. Il faut donc idéalement un adhésif qui puisse être solubilisé/fragilisé à l'aide de solvants très apolaires. Il faut aussi rester réaliste, les collages de certaines cassures, notamment les cassures fermées qui doivent être infiltrées, ne seront jamais réversibles. Dans ces derniers cas, comme le collage sera de toutes façons définitif, il est possible d'envisager un adhésif de nature très similaire et compatible à la gélatine.

Résumés des critères :

- Stable dans le temps (pH, caractéristiques, jaunissement)
- Compatible avec les matériaux protéiniques
- Souple
- Évent. soluble dans les solvants apolaires
- Effet tack rapide

Deux types d'adhésifs ont donc été sélectionnés :

Les Paraloid™: Famille d'adhésifs acryliques, très utilisés en conservation-restauration ; il en existe de nombreux types, avec des caractéristiques différentes<sup>221</sup>. Ils sont potentiellement réversibles, car d'une autre nature chimique que la gélatine et solubles dans les solvants apolaires.

---

<sup>220</sup> Down *et al.*, 1996, p.40

<sup>221</sup> Down, 2015, p.97-98, Down *et al.*, 1996

La colle d'esturgeon : colle protéinique issue des vessie natatoires d'esturgeon. Irréversible en collage avec la gélatine, car uniquement soluble dans de l'eau, mais les deux sont des protéines animales dénaturées, donc parfaitement compatibles.

#### 7.15.4.2 Adhésifs sélectionnés et préparation des solutions

Parmi l'ensemble des Paraloid™ existants, le B72, le B67 et le B48-N ont été sélectionnés. Le B72 car c'est celui dont le vieillissement est le mieux connu, il reste très stable et soluble dans les solvants organiques sur plusieurs dizaines d'années<sup>222</sup>. Le B67 est très hydrophobe et assure ainsi un joint d'adhésif qui ne risque pas d'être trop résistant pour la gélatine et le B48-N car il contient un plastifiant (dibutyle phtalate) qui le rend très souple. Un mélange B72 et B48-N (1:1) peut être intéressant pour combiner les propriétés des deux adhésifs. Selon les études, ces trois Paraloid™ ont de relativement de bon résultats de vieillissement<sup>223</sup>. Comme alternative aux adhésifs acryliques, la colle d'esturgeon (isinglass) a été sélectionnée car elle a l'avantage d'être très souple pour une colle animale et garde ses propriété même en vieillissant<sup>224</sup>.

Tableau 21 Propriétés des adhésifs sélectionnés

Nom	Composition	TG (°C)	Viscosité, dans les esters à 25°C (cps)	Indice de réfraction	Masse moléculaire	pH	Sources
<b>Paraloid™ B 48N</b>	Copolymère metacrylate de méthyle, acrylate de butyle (MMA/BA) et plastifiant (dibutyle phtalate)	50	Information non-disponible	1.89	250'000	Information non-disponible	Fiche technique Kremer, Lazzari et Chiantore, 2000
<b>Paraloid™ B 72</b>	Copolymère éthyle methacrylate, methyl methacrylate	40	500 - 850	1.487	105'000	Information non-disponible	Fiche technique Kremer, Down <i>et al.</i> , 1996
<b>Paraloid™ B 67</b>	Polymère isobutyl methacrylate (IBMA) The most hydrophobic of the Paraloid™ thermoplastic resins and has excellent water resistance	50	240 - 320	1.486	60'000	Information non-disponible	Fiche technique Kremer, Lazzari et Chiantore, 2000
<b>Isinglass</b>	Protéines animales, tirées de la vessie natatoire d'esturgeon	50	Information non-disponible	1.5	15'000-300'000	6 - 7.5	Schellmann, 2007

<sup>222</sup> Down, 2015, p.98

<sup>223</sup> Lazzari et Chiantore, (2000) estime que le B67 est peu stable tandis que dans la publication de l'ICC, Down *et al.* (1996), le B67 est un des adhésifs qui a plutôt de bons résultats. Le B48-N est encore peu étudié mais semble peu s'oxyder/former des radicaux libre en vieillissant (Lazzari et Chiantore, 2000)

<sup>224</sup> Schellmann, 2007, p.61-62



Tableau 22 Préparations des adhésifs testés

Nom	Abréviation	Pourcentage	Préparation
<b>Paraloïd™ B 48N</b>	PB48N	35% dans de l'acétate d'éthyle (w/w) + 0.01% silice micronisée	Les granulés d'adhésif sont laissés dans le solvant en remuant régulièrement (agitateur magnétique) jusqu'à dissolution complète. 0.01% de silice micronisée est ajouté dans la solution qui est à nouveau laissée à mélanger jusqu'à être parfaitement homogène.
<b>Paraloïd™ B 72</b>	PB72	35% dans de l'acétate d'éthyle (w/w) + 0.01% silice micronisée	
<b>Paraloïd™ B 67</b>	PB67	35% dans de l'acétate d'éthyle (w/w) + 0.01% silice micronisée	
<b>Paraloïd™ B 72 + B 48N (1:1)</b>	PB72/48N	35% dans de l'acétate d'éthyle (w/w) + 0.01% silice micronisée	
<b>Isinglass 5%</b>	ISIN5	5% dans de l'eau déionisée	20 g de vessie d'esturgeon Salianski (non blanchie) découpée en petits morceaux, sont trempés pendant une nuit dans 180 ml d'eau déminéralisée.  La vessie d'esturgeon gonflée est ensuite réchauffée en remuant (agitateur magnétique) au bain-marie pendant env. 15 minutes à 55°C. La solution est filtrée à travers plusieurs couches de gaze et coulée dans une plaque de silicone puis laissée sécher à température ambiante.  Pour obtenir de la colle, il faut faire tremper les morceaux séchés dans l'eau déminéralisée, avec le ratio voulu, et les liquéfier ensuite à une température de 30 à 35°C.
<b>Isinglass 10%</b>	ISIN10	10% dans de l'eau déionisée	

#### 7.15.4.3 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes (9x3 cm) préparées dans un film de gélatine de 0.5 mm d'épaisseur vieilli artificiellement, ont été découpées de deux manières différentes :

Des éprouvettes de 4.5x1.5 cm. Deux éprouvettes sont collées en superposition sur 1 cm pour des tests de cisaillement. Une goutte d'adhésif est placée à l'extrémité de la première éprouvette et la deuxième éprouvette est placée dessus, l'ensemble est maintenu en place à l'aide d'un poids léger (baguette de bois).  
Préparées pour le Tests A : cisaillement

Des éprouvettes de 3x2 cm. Deux éprouvettes sont collées bord à bord dans la longueur pour des tests de traction. Chaque adhésif est appliqué au pinceau le long du bord, les deux éprouvettes maintenues à l'aide de lamelles de ruban adhésif, puis laissées sécher verticalement (calé à l'aide d'une pincette à linge).  
Préparées pour le Tests B : traction

Pour chaque adhésif, quatre tests A et quatre tests B ont été préparés. Ils ont tous été laissés sécher du 05.06.2021 au 27.06.2021 (22 jours).

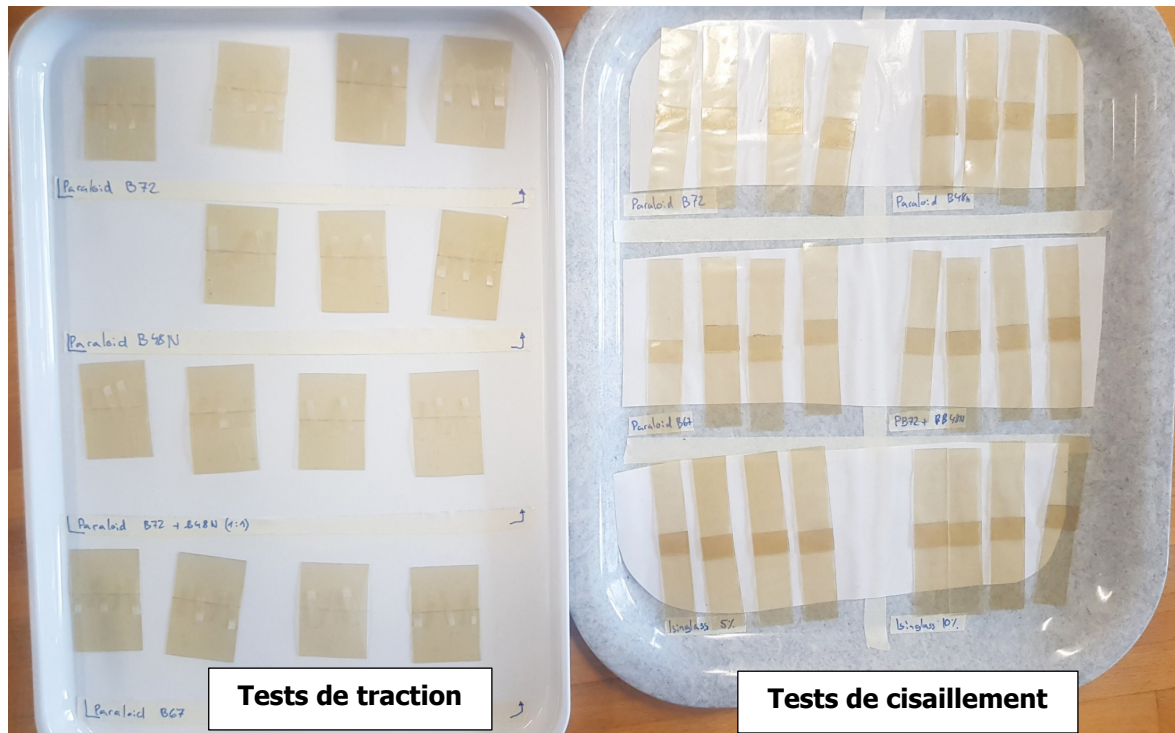
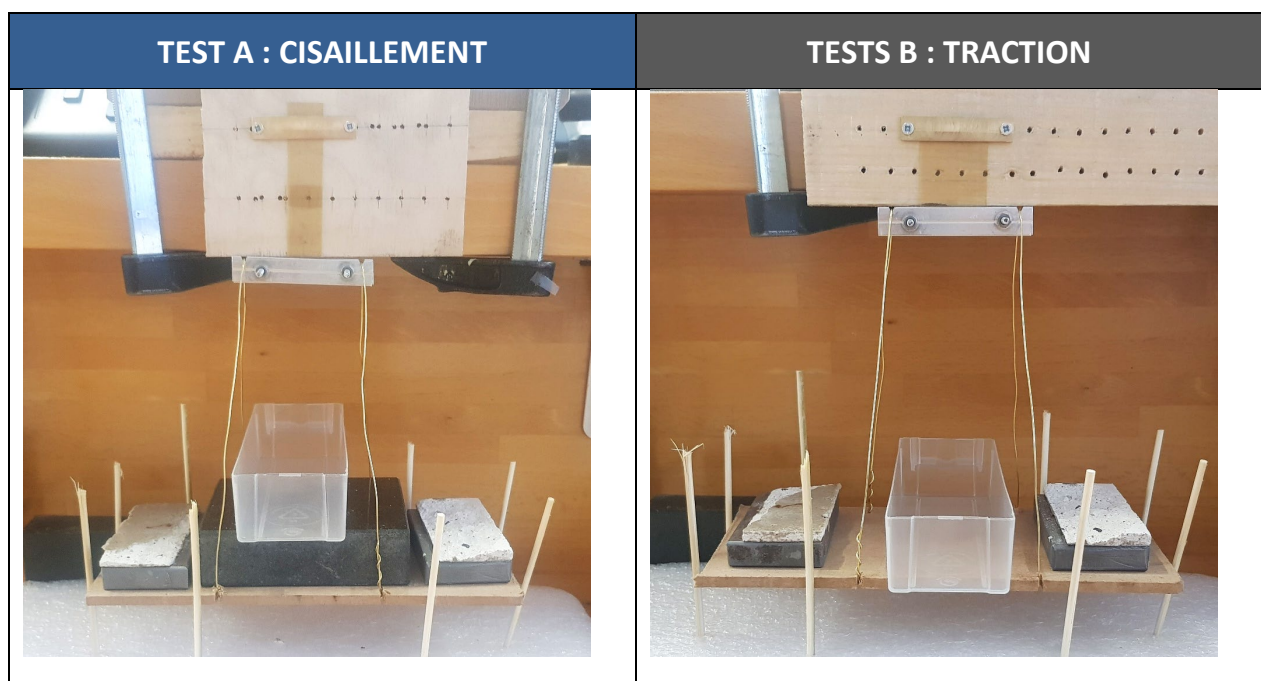


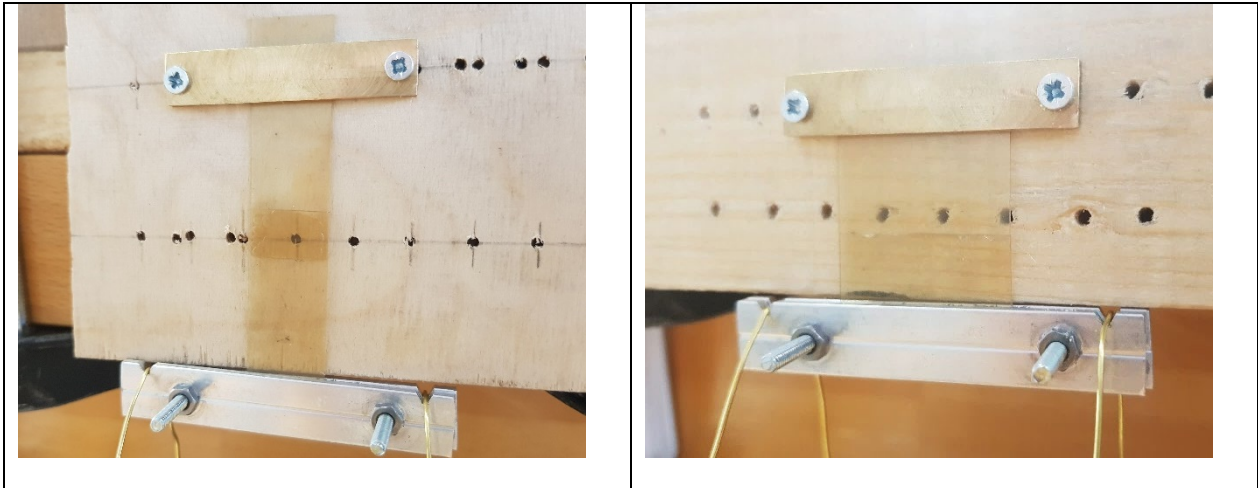
Fig. 244 Epreuves pour tests d'adhésifs après séchage

#### 7.15.4.4 Déroulements des tests

Les éprouvettes étaient maintenues en haut, bloquées entre une planche de bois et une plaquette de laiton vissée, et en bas entre deux plaquettes d'aluminium sur lesquelles venaient se fixer les poids. Les poids étaient ajoutés au fur et mesure, sans à-coups, avec toujours env. 3 min d'attente entre chaque ajout de poids pour laisser le temps au collage de « travailler ».

Tableau 23 Déroulement des tests d'adhésifs



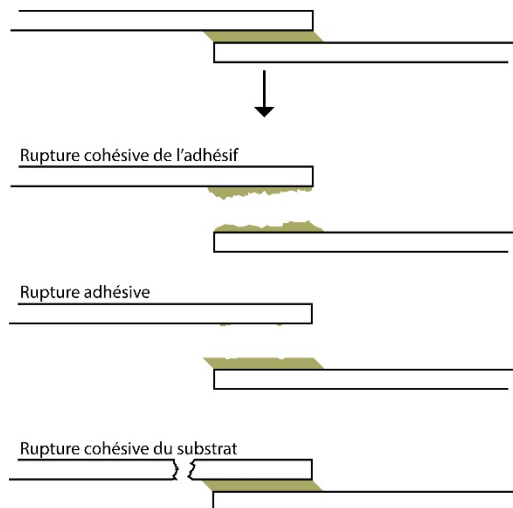


#### 7.15.4.5 Evaluation des résultats

Le premier critère d'évaluation est la facilité de mise en œuvre de l'adhésif et le rendu esthétique du joint de collage.

Le deuxième critère est la force de ce joint de collage en traction au travers des tests de traction et de cisaillement. Ceci permet de comparer les adhésifs entre eux et de les classer en fonction du poids nécessaire à faire céder le joint de collage/le matériau.

Le dernier critère est le profil de rupture des collages lors des tests. Il y a globalement trois profils<sup>225</sup> :



**Rupture cohésive du joint d'adhésif** (intervient dans la masse de l'adhésif, mode de rupture adéquat, indique un collage fiable mécaniquement sans risque de dégradation structurelle de l'objet) → **Cohésive adh.**

**Rupture adhésive** (intervient à l'interface joint d'adhésif-substrat, associé à un collage trop faible, ou dans le cas de matériaux avec trop peu d'affinités entre eux) → **Adhésive**

**Rupture cohésive du substrat** (se produit au sein du substrat lorsque les cohésives de l'adhésif sont plus élevées que celles du substrat, l'objet se brise plutôt que l'adhésif cède). → **Cohésive gél. / déformation**

<sup>225</sup> Goss, 2010, p.150 ; Comyn, 1997, p.116



Tableau 24 Exemples de profils de rupture pour l'évaluation des tests d'adhésifs

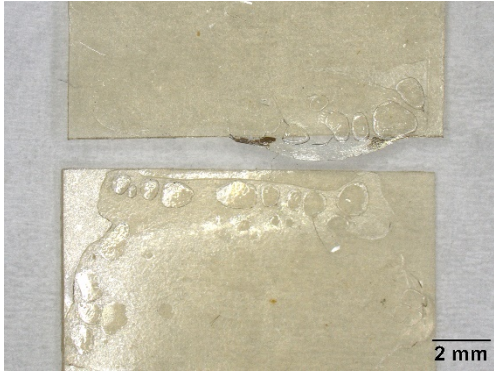
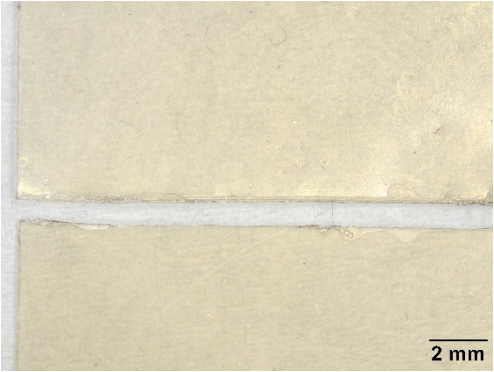
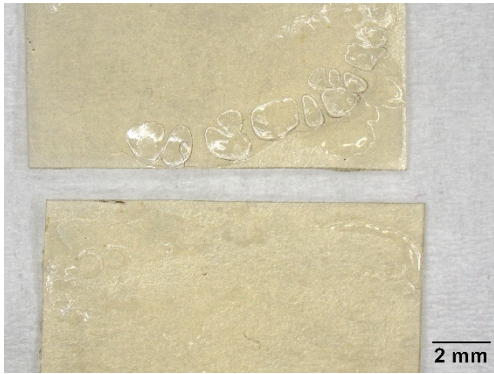
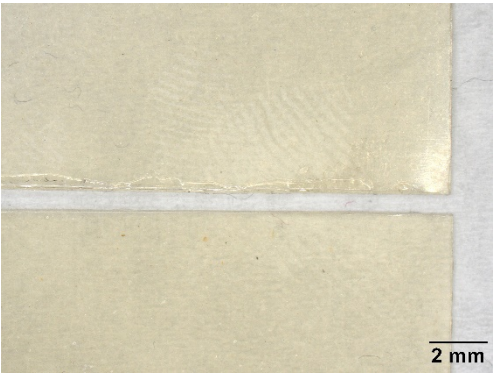
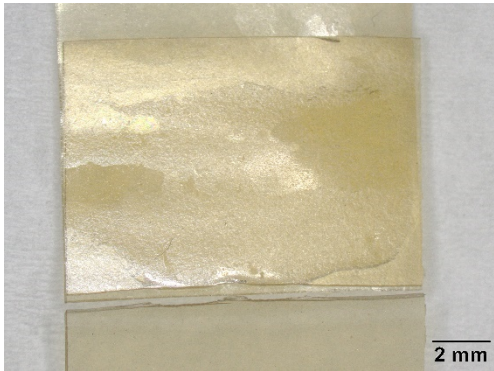
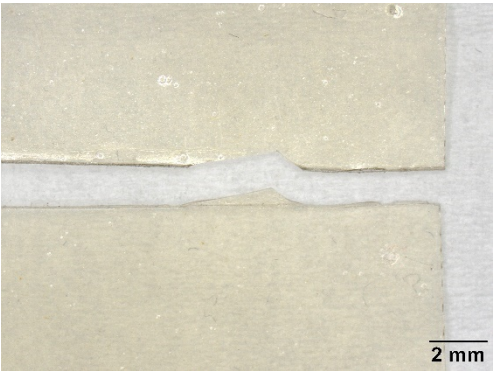
Profil de rupture	Test A : Cisaillement	Test B : Traction
Cohésive adh.		
Adhésive		
Cohésive gél. / déformation		

Tableau 25 Résultats du test A : Cisaillement

TEST A : CISAILEMENT				
PB72				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	4291.33	3903.19	1280.24	3158.3
Profil de rupture	Adhésive + déformation	Adhésive + déformation	Cohésive adh.	
PB48N				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	4384.54	6425.73	5248.34	5352.9
Profil de rupture	Adhésive + déformation	Adhésive + déformation	Adhésive + déformation	



PB72/48N				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	6425.17	4763.97	7045.04	6078.1
Profil de rupture	Adhésive + déformation	Cohésive adh. + déformation	Adhésive + déformation	
PB67				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	3369.35	4195.46	2350.97	3305.3
Profil de rupture	Adhésive	Cohésive adh.	Adhésive	
ISIN5				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	8444.22	9228.9	8653.75	8775.6
Profil de rupture	Cohésive adh. + déformation	Cohésive gél. + déformation	Cohésive gél. + déformation	
ISIN10				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	8950.88	9133.1	8886.84	8990.3
Profil de rupture	Cohésive gél. + déformation	Cohésive gél. + déformation	Cohésive gél. + déformation	

Tableau 26 Résultats du test B : Traction

TEST B : TRACTION				
PB72				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	415.25	497.68	468.82	460.6
Profil de rupture	Adhésive	Adhésive	Adhésive/Coh. adh.	
PB48N				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	1015.52	1461.15	1033.81	1170.2
Profil de rupture	Cohésive adh.	Cohésive adh.	Cohésive adh.	
PB72/48N				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	824.01	703.67	930.74	819.5
Profil de rupture	Adhésive	Adhésive	Adhésive/Coh. adh.	
PB67				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	430.86	395.04	417.67	414.5
Profil de rupture	Adhésive	Adhésive	Cohésive adh.	
ISIN5				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	1427.02	1526.32	1309.04	1420.8
Profil de rupture	Cohésive gél.	Adhésive/Coh. adh.	Adhésive/Coh. adh.	
ISIN10				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Masse [g]	2206.77	1613.9	1830.66	1883.8

Profil de rupture	Adhésive/Cohésive adh. + déformation	Adhésive/Cohésive adh. + déformation	Adhésive/Cohésive adh. + déformation	
-------------------	---	---	---	--

Tableau 27 Récapitulatif des résultats des tests d'adhésifs

Résumé	TEST A : CISAILEMENT		TEST B : TRACTION	
	Masse moyenne	Profil rupture	Masse moyenne	Profil rupture
PB72	3158.3	Adhésive + déf.	460.6	Adhésive
PB48N	5352.9	Adhésive + déf.	1170.2	Cohésive adh.
PB72/48N	6078.1	Adhésive + déf.	819.5	Adhésive
PB67	3305.3	Adhésive	414.5	Adhésive
ISIN5	8775.6	Cohésive gél.	1420.8	Cohésive adh.
ISIN10	8990.3	Cohésive gél.	1883.8	Déformation

#### 7.15.4.6 Choix final

Le but de cette évaluation et de ces tests d'adhésifs était de tenter d'amener une alternative au collage traditionnel de la gélatine avec de la gélatine. Les résultats montrent que les adhésifs considérés comme trop « résistants » car ils impliquent presque toujours une déformation ou une rupture du substrat sont PB72/48N, PB48N, ISIN10. Les adhésifs PB72 et ISIN5 ont parfois montré des profil de rupture acceptables, même si parfois ils ont été trop résistants. Le PB67 a montré des profils de rupture souvent trop faibles. De plus, le B67 n'a pas toujours montré une assez bonne stabilité au vieillissement et il a le désavantage d'être trop cassant<sup>226</sup>, il est donc écarté. Le mélange PB72 et PB48N a été sélectionné, car ces deux adhésifs ont des propriétés intéressantes (souplesse de joint de collage et stabilité au vieillissement). Mais le ratio (1:1) testé semble parfois être trop résistant pour la gélatine. Un mélange PB72/48N (3:1) a été choisi, car il combine les caractéristiques des deux adhésifs pour former un joint suffisamment souple et solide pour les tranches fines des pièces de gélatine des modèles Brendel, sans être trop résistant pour ce substrat. Un collage sur les pièces de gélatine les plus souples devra être d'autant plus résistant et flexible, le ratio B72/B48N peut être adapté en fonction de la situation.

Visuellement, seuls les colles d'esturgeon ont formé des joint de collage quasiment invisible et sans bulles. Ce sont également les seules solutions suffisamment fluides pour envisager une infiltration uniforme dans une cassure fermée. L'adhésif ISIN5 a donc été sélectionné comme alternative pour l'infiltration de cassures fermées. Ce choix s'est fait pour offrir une palette d'actions possible face aux différentes morphologies de cassures visibles sur ces objets, en dépit du fait que, dans la mesure du possible, il faudrait éviter de multiplier les familles d'adhésifs appliqués à un seul objet. L'utilisation de deux adhésifs différents doit donc se faire seulement si nécessaire et il faut être très conscient qu'une infiltration à la colle d'esturgeon dans la membrane de gélatine se rapproche d'une « soudure », c'est-à-dire une jonction entièrement irréversible de deux matériaux de même nature.

<sup>226</sup> Lazzari et Chiantore, 2000, p.6455 ; Down, 2015, p.98 ; Down *et al.*, 1996, p.34-35 et 41  
244/254

## 7.16 Contacts et entretiens

### Entretien téléphonique à Mme Sonja Bulker – Résumé

Mme Bulker est une restauratrice autrichienne qui a participé à la restauration de plusieurs modèles Brendel, aussi bien pour des collections privées que publiques. Elle est notamment intervenu sur un exemplaire de *Brachythecium rutabulum* (Nr 1) conservé par l'Université de Vienne et elle a co-écrit un article avec Matthias Svojtka (2015 [En ligne]). Elle m'a donné plusieurs détails liées à la conservation de ce modèle en gélatine : Le nettoyage c'est fait avec un solvant apolaire à base de pétrole. L'adhésif choisi pour le recollage des parties cassées et de la colle de peau ou de la gélatine. Parfois des fins feuillets de gélatine ont été utilisés pour le doublage des cassures, et parfois une solution de gélatine est utilisée pour infiltrer les cassures fermées. Les parties manquantes, c'est-à-dire une des dents translucides du péristome interne et les spores (petites sphères creuses présentes sur le sac à spores à l'intérieur de la capsule), ont été restituées. Elles ont d'abord été mises en forme à l'aide de cire à modeler, puis recouvertes de plusieurs couches de gélatine laissée sécher. Ensuite, avec une spatule chauffante ou un décapeur thermique, la cire a été assez ramollie afin d'être sortie de la forme. En plus de cela, le modèle en gélatine a été vernis avec une gomme-laque. Mme Bulker confirme que la structure de l'anneau, visible sous des soulèvements de peinture, semble être en bois.

### Entretien avec M. Valentin Boissonnas – Résumé

M. Boissonnas est enseignant à la HE-Arc et restaurateur indépendant ; c'est lui qui restaure la collection de modèles Brendel pour le Botanisches Museum UZH à Zurich. Il est surtout intervenu sur les modèles en papier-mâché et autres matériaux, peu sur des exemplaires avec de la gélatine. M. Boissonnas utilise de l'eau et un tensio-actif pour le nettoyage de la surface, et une solution de triammonium citrate pour les zones les plus encrassées. Les collages du bois et du papier-mâché se font à l'aide de l'adhésif Mowilith. Les comblements se font avec du Modostuc, avec parfois un doublage de papier-japon pour les parties qui le nécessitent. Les retouches se font avec un mélange de pigments et d'un liant, avec, pour la brillance, une touche finale de Lascaux Gloss.

### Entretien avec Mme Caroline Mottais – Résumé

Mme Mottais est une restauratrice spécialisée verre/céramique qui a eu l'occasion de travailler sur des modèles Brendel, en collaboration avec Mme Anaïs Gailhbaud, restauratrice de sculptures et d'objets composites. Les modèles Brendel traités étaient issus d'une collection privée, donc avec une histoire floue. Des nettoyages de surface trop agressifs ont été identifiés. Une étiquette, avec l'inscription « Logia Praha Smichov », visuellement très similaire aux étiquettes Brendel, sortait du lot. Autres producteurs ? Ou un revendeur Brendel ? Un modèle avec de la gélatine a été restauré. Les cassures ont été collés avec du Paraloid™ B72 ou avec de la Klucel. Les comblements ont été fait avec du Modostuc (opaque) ou du papier japon très fin imprégné de Paraloid™. Si possible, le substrat original a été isolé du comblement à l'aide d'une interface en papier japon.

### Entretien avec Mme Miria Germano – Résumé

Mme Germano est créatrice de masques et maquilleuse, elle travaille avec de nombreux matériaux, dont la gélatine, pour réaliser des masques/prosthétiques très réalistes. Elle est très compétente en moulage et sculptures composites en 3 dimensions. La gélatine est beaucoup utilisée pour réaliser les masques et les prosthétiques souples, qui imitent le plus la peau et la chair. Elle n'est jamais pure, mais toujours mélangée à des

additifs, en particulier de la glycérine. Mais aussi avec d'autres substances comme le parabène, le sorbitol, l'amidon, des résines ou des gommes de plantes, des conservateurs, etc. pour faire un masque prosthétique (par exemple agrandir l'arcade sourcilière, les pommettes et le nez, donner une texture de peau, des plaies) on fait un positif en plâtre du visage de l'acteur/comédien, on isole la surface avec du savon liquide, on modèle le futur masque sur la surface avec de la plastiline©, on recouvre le tout de plâtre. Ensuite on retire la plastiline entre les deux pièces de plâtres, et on coule la masse de gélatine+glycérine à la place et on ferme bien les deux pièces. Mme Germano utilise également la gélatine souple « encapsulée » dans un textile synthétique moderne, comme texturant pour réaliser des plaies. Il est très difficile d'étaler une solution de gélatine au pinceau, parce qu'elle gélifie rapidement en contact avec des surfaces froides. Le rendu est très irrégulier. La surface peut éventuellement être un peu lissée avec de l'eau, ou le support peut être chauffé pour éviter que la gélatine ne gélifie pas trop vite. Le mieux reste de couler la solution ou de tremper les pièces. La peau de chevreuil, très fine et poncée, peut aussi être relativement transparente, mais elle garde la structure visible (poils et texture de surface). En regardant les créations des Brendel, les assemblages ont très probablement été faits avec le même matériau, car très efficace et compatible, et à disposition. Sans ajout de matière, il est aussi possible d'assembler deux pièces en chauffant le joint. Les pores de la membrane en gélatine sont à l'intérieur de la forme (surface matte) ce qui laisse penser à un travail un positif. Les formes sont ligne d'assemblage (tubes tordus de l'Equisetum arvense (Nr 4)), peuvent être fait en latex, avec un moule-chaussette retroussable ou coupé puis refait à chaque pièce.

#### Echange de mails avec Mme Tracey Seddon

Mme Seddon est l'auteure d'un des premiers articles contemporains sur les modèles Brendel (Seddon, 1994) et elle est la restauratrice de la collection de modèles du Liverpool Museum. Le nettoyage des modèles de gélatine s'est fait avec des bâtonnets ouatés humidifiés avec de l'eau ou avec une humidification préalable à l'eau tiède brumisée l'aide du Preservation Pencil. Cette dernière méthode a aussi été utilisée lorsqu'il était nécessaire de remettre en forme des parties de gélatine déformées. Les collages ont été fait à l'aide de gélatine.

#### Echange de mails avec Mme Jenny Truran

Mme Jenny Truran est restauratrice indépendante et travaille pour la Gallery Oldham (GB). Elle a notamment restauré de nombreux modèles Brendel, mais très peu de pièces en gélatine.

Les nettoyages des encrassements ont été réalisés à l'aide d'une gomme en latex Smokesponge. Mme Truran a utilisé du Paraloid™ B27 pour la consolidation des fissures. Certains collages structuraux ont été réalisés avec de l'adhésif époxy Araldite. Les comblements ont été fait avec de la pâte Flugger. Pour refaire des éléments manquants, un papier-mâché à partir de papier japon Kozo et de colle PVA a été utilisée. Certains pièces ont été modelée avec de la Apoxie® Sculpt (pâte époxy). Les retouches ont été réalisées avec les acryliques Golden®. Sur un modèle de Iris germanica, deux pétales faites de soie enrobée de gélatine ont été recollées à l'aide de Paraloid™ B72 et d'un renfort en Stabiletex® (membrane synthétique).



Seuls les produits utilisés directement sur les objets ou spécifiquement cités dans le texte ont été listé ici.

247/254



**KREMER**  
PIGMENTE

63000 – 63060 Technical Data

Product/Commercial Name & Form	Animal & Part of Animal Derived From	Bloomgrams	Viscosity
63000 Bone Glue - Pearls	Cow Bone	160 - 180	1.85 – 2.30 Engler
63010 Hide Glue - Grains	Cow Hide	236	82 mPa.s
63020 Hide Glue - Cubes	Cow Hide	230 - 270	8.1 – 9.1 mPa.s
63025 Rabbit Skin Glue - Coarse Powder	Rabbit Hide	340 – 360	4.25 – 5.50 Engler
63028 Rabbit Skin Glue, Grains	Rabbit Hide	340 – 360	4.25 – 5.50 Engler
63045 Gelatine, powder, technical	Cow Hide	360 – 380	4.5 - 5.5 Engler
63052 Genuine Rabbit Skin Glue - Plates	Rabbit Hide	340 – 360	4 – 5 Engler
63053 Technical Gelatine, Plates	Cow Hide	200 – 220	2.0 – 2.5 Engler
63060 Bookbinders Glue/Glider Glue - Powder	Cow Hide	320 – 360	110 – 120 mPa.s

Page 1 of 1  
Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88117 Aichstetten · Tel. 0049 7565 914480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com  
We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

**KREMER**  
PIGMENTE

63110 Salianski-Kremer Isinglass Glue

The Salianski Kremer Isinglass Glue is made from the fresh air bladder of the sturgeon (species of origin: Acipenseridae). Our product does not include any equine, ruminant, swine or avian species or their materials.

In the places of origin, the bladders are taken out of the sturgeon, cut lengthwise, dipped into hot water, the outer muscle layer and blood removed and put up for drying.

The largest amounts of native collagen are contained by the bladders from caviar fish, which are qualitatively the best. We call this quality Salianski Sturgeon Glue. Sturgeon glue has been used by Russian conservators for consolidation and as glue for a long time. Sturgeon glue has a higher adhesion and lower viscosity than comparable animal products, such as gelatine or rabbit skin glue.

Put sturgeon glue into a glass or enamel container, cover with water and let soften for several hours. Dump excess water, wring glue to uniform consistency. Pour into double boiler and cover with fresh, distilled water. Slowly heat to 60°C - stirring constantly - until glue has solved, which depends on the amount of glue. Do not overheat the glue! Remove from heat, and if necessary, strain through fine cotton cloth. A conservative may be added at this time, but it is best to prepare only the amount needed. Remaining solved glue may be kept in the refrigerator for several days at 5 - 6°C (cold glue may gel, however can be melted again by heating).

In case a plasticizer is required, Russian conservators add dark wild flower honey to the glue - normally the weight of the honey is equal to the weight of the dry sturgeon glue.

Isinglass and CITES



To prevent the poaching of sturgeon fish in Russia the CITES (Convention on International Trade of Endangered Species of Wild Fauna and Flora) has included the wild sturgeon into the group of protected species. Sturgeon farming emerged from the need for caviar. Our Isinglass is a by-product of this caviar production.

Technical Specification

Sturgeon glue is a natural product. The specifications listed below are only approximate values.

Form:	sheets
Color:	yellowish
Odor:	characteristic
Humidity:	10 - 12 %
Ashes:	8 - 12 %
Protein content:	75 - 80 %
Storage:	Store in tightly closed containers. Do not store above 30°C.

Page 1 of 1  
Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88117 Aichstetten · Tel. 0049 7565 914480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com  
We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

<div></div> <div><h3>60100 Gummi Sandarak</h3><p>engl.: sandarac frz.: sandarace</p><p>Sandarak ist nicht, wie der Name vermuten lässt, ein wasserlösliches Gummi, sondern ein wasserunlösliches Harz. Es stammt von der nordafrikanischen Cupressaceae <i>Callitris quadrivalvis</i> (= <i>Tetraclinis articulata</i>), welche auch gegliedert Lebensbaum genannt wird. Sandarak ist in länglichen Stücken bis etwa 3 cm im Handel, welche von gelblich; manchmal rötlicher Farbe sind. Das nordafrikanische Harz wird auch Mogador-Sandarak genannt, es wird hauptsächlich in Algerien und Marokko produziert. Australischer Sandarak von <i>Callitris prensis</i> wird in grösseren Stücken gehandelt, jedoch nicht in Europa. Eine weitere weniger wichtige Art ist der von <i>Callitris sinensis</i> produzierte chinesische Sandarak. Unter dem Namen "deutscher Sandarak" war früher ein Harz des Wacholders (<i>Juniperus communis</i>) im Handel.</p><p>Zu den Inhaltsstoffen des Sandaraks gehören verschiedene Harzsäuren, welche den grössten Teil ausmachen: Sandaracinsäure, Sandaracolsäure, Sandaracacidsäure, Sandaracopimarinsäure und i-Pimarinsäure. Zusätzlich sind Sandaracoresen und ätherisches Öl enthalten.</p><p>Sandarak schmilzt bei etwa 140°C. Er ist härter als Mastix-Harz. Zerkaut man ihn, so bildet sich nicht wie beim Mastix eine klebrige Masse, sondern ein krümeliges Pulver. Das Harz ist in Alkohol, Äther, Amylalkohol und Aceton gut löslich. In Methylalkohol, Eisessig, Chloroform, Terpentinöl und ätherischen Ölen ist es teilweise und in Benzol, Petrolether oder Schwefelkohlenstoff fast gar nicht löslich. Verfälschungen mit Kolophonium sind anhand der unterschiedlichen Löslichkeiten erkennbar: in Chloralhydrat, Benzol und Petrolether ist Kolophonium weitaus besser zu lösen als Sandarak.</p><p>Zur Anwendung kommt Sandarak hauptsächlich bei der Herstellung von Firnissen. Sandarak-Firnisse besitzen eine relativ grosse Härte, welche aber z.B. von Wehlte gar nicht geschätzt werden, weil sie sehr spröde sind. Im Barock gab es reine Sandarak-Firnisse für Holz.</p><div><b>Produktspezifikation:</b></div><table><tr><td>Ursprung:</td><td>Marokko</td></tr><tr><td>Aussehen:</td><td>Längliche, stängelförmige, fast zylindrische oder kugelige bis birnenförmige, durchsichtige, blasszitronengelbe, an der Oberfläche glatte oder weiß bestäubte Stücke.</td></tr><tr><td>Geruch:</td><td>Angenehm balsamisch, etwas terpenartig.</td></tr><tr><td>Geschmack:</td><td>Schwach aromatisch, leicht bitter.</td></tr><tr><td>Typische Zusammensetzung:</td><td>Etwa 95 % Harzsubstanzen (mit den fetten Harzsäuren: Sandaracopimarinsäure, Oxy-sandaracopimarinsäure, Callitrol-, Sandaracin-, Sandaracol- und Sandaracacidsäure). Etwa 3 % Sandaracoresen. Etwa 2 % Bitterstoffe. Etwa 2 % ätherisches Öl (mit alpha- und beta-Pinen, D-Limonen, Thymochinon, sowie bi- und tricyclischen Alkoholen).</td></tr></table></div>	Ursprung:	Marokko	Aussehen:	Längliche, stängelförmige, fast zylindrische oder kugelige bis birnenförmige, durchsichtige, blasszitronengelbe, an der Oberfläche glatte oder weiß bestäubte Stücke.	Geruch:	Angenehm balsamisch, etwas terpenartig.	Geschmack:	Schwach aromatisch, leicht bitter.	Typische Zusammensetzung:	Etwa 95 % Harzsubstanzen (mit den fetten Harzsäuren: Sandaracopimarinsäure, Oxy-sandaracopimarinsäure, Callitrol-, Sandaracin-, Sandaracol- und Sandaracacidsäure). Etwa 3 % Sandaracoresen. Etwa 2 % Bitterstoffe. Etwa 2 % ätherisches Öl (mit alpha- und beta-Pinen, D-Limonen, Thymochinon, sowie bi- und tricyclischen Alkoholen).	<div></div> <div><p>Lagerung:</p><p>3 Jahre unter dunklen, kühlen und trockenen Bedingungen</p><div><b>Physikalische und Chemische Eigenschaften:</b></div><table><tr><td>Säurezahl:</td><td>130 – 150 mg KOH / g</td></tr><tr><td>Versäufungszahl:</td><td>120 – 170 mg KOH / g</td></tr><tr><td>Flüchtige Bestandteile:</td><td>&lt; 5 %</td></tr><tr><td>Asche:</td><td>&lt; 0,5 %</td></tr><tr><td>Schwermetalle:</td><td>&lt; 20 ppm</td></tr><tr><td>Arsen:</td><td>10 ppm</td></tr></table><p>Unlöslich in Wasser, Benzol und Terpentin Löslich in Alkohol, Ether und Aceton, aber nur teilweise löslich in Chloroform.</p></div>	Säurezahl:	130 – 150 mg KOH / g	Versäufungszahl:	120 – 170 mg KOH / g	Flüchtige Bestandteile:	< 5 %	Asche:	< 0,5 %	Schwermetalle:	< 20 ppm	Arsen:	10 ppm
Ursprung:	Marokko																						
Aussehen:	Längliche, stängelförmige, fast zylindrische oder kugelige bis birnenförmige, durchsichtige, blasszitronengelbe, an der Oberfläche glatte oder weiß bestäubte Stücke.																						
Geruch:	Angenehm balsamisch, etwas terpenartig.																						
Geschmack:	Schwach aromatisch, leicht bitter.																						
Typische Zusammensetzung:	Etwa 95 % Harzsubstanzen (mit den fetten Harzsäuren: Sandaracopimarinsäure, Oxy-sandaracopimarinsäure, Callitrol-, Sandaracin-, Sandaracol- und Sandaracacidsäure). Etwa 3 % Sandaracoresen. Etwa 2 % Bitterstoffe. Etwa 2 % ätherisches Öl (mit alpha- und beta-Pinen, D-Limonen, Thymochinon, sowie bi- und tricyclischen Alkoholen).																						
Säurezahl:	130 – 150 mg KOH / g																						
Versäufungszahl:	120 – 170 mg KOH / g																						
Flüchtige Bestandteile:	< 5 %																						
Asche:	< 0,5 %																						
Schwermetalle:	< 20 ppm																						
Arsen:	10 ppm																						



KREMER  
PIGMENTE

## 67400 Paraloid™ B-72

### Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin

#### Summary

Paraloid™ B-72 is an excellent general purpose acrylic resin, supplied as a 100 % solid grade or as a 15 % solution.

It can be applied in either clear or pigmented coatings by a variety of application methods and can be air-dried or baked. Paraloid™ B-72 has a very low reactivity with sensitive phosphorescent and luminescent pigments. The durability and non-yellowing characteristics also make it valuable for use with these pigments.

Paraloid™ B-72 is compatible with other film forming materials such as vinyls, cellulose, chlorinated rubbers, and silicones and can be used in combination with them to produce coatings with a wide variety of characteristics.

Paraloid™ B-72 is very resistant against water, alkalis, acids, oils and chemical fumes. The coverings are very elastic and adhere on many different surfaces, e.g. also on light metals.

Paraloid™ B-72 is unique in possessing a high tolerance for ethanol. The property allows its use in applications in which strong solvents cannot be tolerated. The alcohol dispersions may be cloudy or milky; however, clear, coherent films are formed.

#### Melting Point

Paraloid™ B-72 is an acrylic resin with a high molar mass, thus, it doesn't have a defined melting point. It starts to melt at 70 - 75°C, the flowing point is at 145 - 150°C. TG: 40°C

#### Physical Properties

(Not to be used as specifications)

Physical form	Pellets
Bulk density, 25°C, lb/gal	9.6
Solubility parameter	9.3
Transition temperature, Tg, °C	40
Ultimate hardness of clear films, KHN	10 to 11
Chemical composition	EMA Copolymer

Page 1 of 2

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88317 Aichstetten · Tel. 0049 7566 91480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com  
We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

KREMER  
PIGMENTE

### Solubility of PARALOID™ -Acrylic Thermoplastic Resins

(Values given are Viscosity, cps, at 25°C of a 40% solids solution, except as noted)

Solvents	PARALOID™ Types				
	B-44	B-66	B-67	B-72	B-82
	No. 67460	No. 67480	No. 67420	No. 67400	No. 67440
<b>Alcohols</b>					PSol
2B Alcohol	-	-	-	-	-
Isopropanol	-	-	2 800	-	-
n-Butanol	-	94 <sup>e</sup>	2 500	130 <sup>e</sup>	-
Isobutanol	-	5 600 <sup>g</sup>	3 200	-	-
n-Amyl alcohol	-	-	3 200	-	-
Diacetone alcohol	10 000	6 200	2 300	3 500	3 000
<b>Chlorinated Hydrocarbons</b>					
Methylene chloride	2 700	850	520	960	1 200
Carbon tetrachloride	860 <sup>a</sup>	280 <sup>a</sup>	20 000	280 <sup>a</sup>	6 000 <sup>f</sup>
Ethylene dichloride	5 500	1 200	640	1 300	1 800
Trichloroethylene	12 000	7 200	2 100	4 800	3 400
<b>Esters</b>					
Ethyl acetate	1 800	940	240	500	610
n-Propyl acetate	1 800	570	180	550 <sup>g</sup>	580
n-Butyl acetate	2 600	875	250	700	630
Isobutyl acetate	3 100	960	240	660 <sup>a</sup>	700
Amyl acetate	5 600	1 110	320	850	980
1-Ethyl hexyl acetate	-	6 900	770	-	-
<b>Ethers</b>					
Dioxane	5 600	880	830	1 300	1 700

c. Code for used letters: - = Insoluble; D = Dispersed; PS = Partially soluble

d. Results when using pure 2B alcohol. Paraloid™ B-82 is soluble in different alcohol/water-mixtures.

e. Viscosity determined at 20 % solids.

f. Viscosity determined at 30 % solids.

g. Hazy solution.

Page 2 of 2

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88317 Aichstetten · Tel. 0049 7566 91480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com  
We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

**KREMER**  
PIGMENTE

## 67420 Paraloid™ B-67

### Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin

#### Summary

Paraloid™ B-67 is an alkyl-compatible acrylic ester resin particularly designed to have good compatibility with medium- and long-oil alkyds, drying oils, and oleoresinous varnishes. The addition of Paraloid™ B-67 to alkyds, oils or varnishes produces coatings of improved hardness, faster drying speed, better color and gloss retention and improved hold out and brushing characteristics.

Paraloid™ B-67 is the most hydrophobic of the Paraloid™ thermoplastic resins and has excellent water resistance.

Paraloid™ B-67 is recommended for general product finishing and as a topcoat in vacuum metallizing applications. It is also a very good pigment dispersant.

#### Physical Properties

(Not to be used as specifications)

Product Properties	Specification
Appearance, as-is visual	Free of visible foreign matter
Appearance of solution*	Clear to slightly turbid viscous liquid, free of sediment, foreign particles or polymer granules
Color of solution, APHA ASTM D-1209	30, maximum
Turbidity Naphtha, scale	30, maximum
Viscosity, corrected, cps	250 - 375
Brookfield I.V. spindle #2, 60 rpm, 25°C	

\* 45% solution by weight in toluene

Page 1 of 2

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · D-58317 Albstadt · Tel. 049 7565 91480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com  
We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

**KREMER**  
PIGMENTE

### Solubility of PARALOID™ -Acrylic Thermoplastic Resins

(Values given are Viscosity, cps, at 25°C of a 40% solids solution, except as noted)

Solvents	PARALOID™ Types					
	B-44 No. 67460	B-66 No. 67480	B-67 No. 67420	B-72 No. 67400	B-82 No. 67440	
<b>Alcohols</b>						
2B Alcohol	- <sup>c</sup>	- <sup>c</sup>	- <sup>c</sup>	- <sup>c</sup>	- <sup>c</sup>	PSol
Isopropanol	-	-	2 800	-	-	-
n-Butanol	-	94 <sup>e</sup>	2 500	130 <sup>e</sup>	-	-
Isobutanol	-	5 600 <sup>fg</sup>	3 200	-	-	-
n-Amyl alcohol	-	-	3 200	-	-	-
Diacetone alcohol	10 000	6 200	2 300	3 500	3 000	-
<b>Chlorinated Hydrocarbons</b>						
Methylene chloride	2 700	850	520	960	1 200	-
Carbon tetrachloride	860 <sup>g</sup>	280 <sup>g</sup>	20 000	280 <sup>g</sup>	6 000 <sup>f</sup>	-
Ethylene dichloride	5 500	1 200	640	1 300	1 800	-
Trichloroethylene	12 000	7 200	2 100	4 800	3 400	-
<b>Esters</b>						
Ethyl acetate	1 800	940	240	500	610	-
n-Propyl acetate	1 800	570	180	550 <sup>g</sup>	580	-
n-Butyl acetate	2 600	875	250	700	630	-
Isobutyl acetate	3 100	960	240	660 <sup>g</sup>	700	-
Amyl acetate	5 600	1 110	320	850	980	-
1-Ethyl hexyl acetate	-	6 900	770	-	-	-
<b>Ethers</b>						
Dioxane	5 600	880	830	1 300	1 700	-

c. Code for used letters: - = Insoluble; D = Dispersed; PS = Partially soluble

d. Results when using pure 2B alcohol. Paraloid™ B-82 is soluble in different alcohol/water-mixtures.

e. Viscosity determined at 20 % solids.

f. Viscosity determined at 30 % solids.

g. Hazy solution.

Page 2 of 2

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · D-58317 Albstadt · Tel. 049 7565 91480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com  
We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.

## Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin

### Description

**Description** B-48N acrylic resin provides unique adhesion to unprimed, untreated metals as well as excellent Paraloid<sup>®</sup> adhesion. Its solubility in a number of solvent permits wider formulating latitude.

## Typical Properties

**Typical Properties**  
(Not to be used as specifications)

Physical form	Pellets
Chemical composition	MMA Copolymer
Transition temperature, T <sub>g</sub>	50°C
Bulk density, 25°C	1.15 g/cm <sup>3</sup>
Solubility parameter	9.3
Ultimate hardness of clear films, KHN	11 to 12

Page 1 of 1

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88317 Aichstetten · Tel. 0049 7565 914480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com



KSG-350Z

version 2017/11/7  
Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.

**KSG-350Z**  
**Emulsifying Silicone Elastomer**

## Silicone Emulsifier

### ■ Features & Advantages

- Emulsions W/O or Si or O-Si
- Quick breaking creams
- Silky skin feeling
- Good compatibility with organic oils, esters and silicones

## Applications

- Skin care
- Make-up

Percentage of use	2-7 %
-------------------	-------

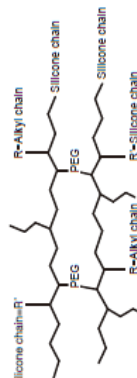
2-7 %

## INCI name

CYCLOPENTASILOXANE (AND) PEG-15/  
LAURYL POLYDIMETHYLSILOXYETHYL DIMETHICONE  
CROSSPOLYMER

\* This does not represent all composition.  
Please contact Shin-Etsu sales representative for details.

## ■ Structure



### ■ Characteristics

Properties	Unit	Values	Standard method / condition
Appearance (color)	—	Colorless to light yellow	Visual observation
Appearance (transparency)	—	Slightly hazy to cloudiness	Visual observation
Appearance (form)	—	Paste to gel	Visual observation
Percentage of active raw material	%	20–30	
Worked penetration	—	370	JIS K 2220
Specific gravity	—	—	Densimeter
Refractive index	—	1.404	Refractometer (not specific values)

(Not specific values)

### ■ Solubility / compatibility

	B
KF-995 (Cyclopentasiloxane)	
KF-96A-6cs (Dimethicone)	O
Isododecane	O
Mineral oil	O
Squalane	O
Isotridecyl Isomonanoate	O
Triethylhexanoin	O

### ■ Processing (How to use)

The product is ready to use. In case of solidification, please apply high shearing before use.

The product must be pre-dispersed in an adequate silicone or oil phase.

The emulsion must be done at a spindle speed lower than 1000rpm. After emulsion, high stirring must be applied.

For further information, please contact us.

## ■ Packaging

16 kg can

## ■ Storage

The silicone products may deteriorate when it comes in contact with heat, light, acid, alkaline, etc.  
Be sure to seal tightly and store in a cool dark place away from heat and flame.

## ■ Safety

Please consult our SDS.

## Warning to users

- The data and information presented in this document may not be relied upon to represent standard values. Shin-Etsu Users reserves the right to change the information, in whole or in part, in this document, including product performance standards and specifications without notice.
- Users are solely responsible for making preliminary tests to determine the suitability of products for their intended use. Since the use of silicone products is not intended to be relied upon, or be construed as a warranty of no patient infringement.
- The silicone products described herein have been designed, manufactured and developed solely for general industrial use only. Such silicone products are not designed for, intended for use as, or suitable for medical, surgical or other particular purposes. Users have the sole responsibility and obligation to determine the suitability of the silicone products described herein for any application, to make preliminary tests, and to confirm the safety of such products for their use.
- Users must review the use silicone products described herein for the purpose of implantation into the human body and/or injection into humans.
- Users are solely responsible for exporting or importing the silicone products described herein, and complying with all applicable laws, regulations, and rules relating to the use of such products. Shin-Etsu recommends checking each relevant country's laws, regulations and rules in advance, when exporting or importing, and before using the products. Please contact Shin-Etsu before reproducing any part of this document.

Shin-Etsu Silicone® is a registered trademark of Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.  
Copyright of this information belongs to Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.  
<http://www.shinetsusilicone-global.com/>



## 87081 Cyclomethicone D5

**INCI Name: Cyclotetrasiloxane**

**Description:**  
Cyclomethicone D5 is a volatile polydimethylcyclosiloxane composed mainly of cyclotetrasiloxane. The product is clear, tasteless, essentially odorless, non-greasy and non-stinging.

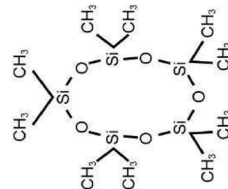
**Benefits:**

- Imparts soft silky feel to the skin
- Excellent spreading
- Leaves no oily residue or build up
- Detackification
- Non-greasy

Typical Properties:

Cyclotrisiloxane (D4) content	< 0.1 %
Appearance	Colorless liquid
Specific gravity (25°C/77°F)	0.95
Viscosity (25°C/77°F)	4.0 mm <sup>2</sup> /s
Refractive index (25°C/77°F)	1.397
Surface tension (25°C/77°F)	18.0 mN/m
Flash point (Closed Cup)	77°C (171°F)
Freezing point	-50°C (-58°F)
Boiling point (760 mmHg)	205°C (401°F)
Water content	250 ppm

Figure 1:  
Cyclotetrasiloxane (D5)



Page 1 of 4

Kremer Pigmente GmbH & Co. KG · Hauptstr. 41-47 · DE-88317 Aichstetten · Tel. 0049 7565 914480 · info@kremer-pigmente.com · www.kremer-pigmente.com

We do not assume any warranty for the guidance shown above. In any case, we recommend production and evaluation of samples.