

**Étude et amélioration de la gestion du mobilier en bois  
gorgé d'eau au Service archéologique de l'Etat de  
Fribourg**

**- Des fouilles archéologiques jusqu'aux réserves -**

Mémoire présenté par :

Flückiger Laura

Pour l'obtention du

Bachelor of Arts HES-SO en Conservation  
Objets archéologiques et ethnographiques

Année académique 2019-2020

Remise du travail : 31.08.2020

Jury : 7-9.10.2020

Nombre de pages : 101



## 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 :

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à M. **Reto Blumer**, archéologue cantonal et chef de service et M. **Rocco Tettamanti**, chef de secteur, support technique (collections, documentation et valorisation) au sein du Service archéologique de l'État de Fribourg (SAEF) pour m'avoir permis de réaliser ce travail de mémoire au sein de cette institution. Merci à M. Tettamanti pour nos échanges, ses conseils et son expertise.

Je tiens à remercier Mme **Emmanuelle Forster**, conservatrice-restauratrice responsable du laboratoire organique au SAEF d'avoir proposé ce sujet passionnant et de m'avoir supervisée et conseillée tout au long de la réalisation de ce travail. Son aide, son soutien, sa bienveillance et sa gentillesse ont été précieux et ont permis le bon déroulement de ce mémoire.

Merci à M. **Régis Bertholon**, professeur HES et responsable de la filière HE-Arc Conservation-restauration d'avoir été mon référent pour ce travail. Merci aux maîtres d'enseignement HES M. **Valentin Boissonnas**, M. **Tobias Schenkel** et à M. **Thierry Jacot**, chargé d'enseignement et coordinateur des modules de travail de Bachelor pour leur encadrement.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres de l'équipe du SAEF suivants :

- M. **Léonard Kramer**, assistant scientifique (secteur Pré-Protohistoire) et gestion des fouilles subaquatiques.
- M. **Jacques Monnier**, chef de secteur (secteur Gallo-romain et Antiquité tardive).
- Mme **Christelle Payot**, collaboratrice technique et gestion de l'arrivage du mobilier archéologique.
- Mme **Aude-Line Pradervand**, assistante scientifique (secteur Moyen-Âge et Archéologie urbaine).
- Mme **Ingrid Sonnewyl**, collaboratrice technique, responsable des collections archéologiques et gestion de la conservation préventive.
- M. **Henri Vigneau**, technicien de fouille (secteur Archéologie du territoire).

En effet, leur disponibilité et leur amabilité m'ont permis d'avoir accès à un grand nombre d'informations et tous nos échanges ont été enrichissants pour mon étude et ont stimulé mon intérêt personnel.

Un grand merci à M. **David Cuendet**, conservateur-restaurateur au Musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne (MCAHL), pour ses conseils, son expertise sur la conservation des bois gorgés d'eau et le temps qu'il a accordé à mes demandes.

Je tiens à remercier Mme **Gaëlle Liengme**, conservatrice-restauratrice au Musée national suisse, pour ses nombreux renseignements et l'attention qu'elle a portée à mes demandes. Merci également d'avoir pris le temps pour me faire visiter les laboratoires de conservation-restauration.



Mes sincères remerciements s'adressent aussi à Mme **Friederike Moll-Dau**, conservatrice-restauratrice au Service archéologique du canton de Berne, pour avoir répondu à mon enquête, pour sa visite du service et pour m'avoir transmis une part de ses précieuses connaissances sur le sujet.

Du Site et Musée romains d'Avenches, je tiens à remercier les conservatrices-restauratrices Mme **Line Pedersen** et Mme **Myriam Krieg** pour la transmission de leurs connaissances dans la gestion du mobilier archéologique et la passionnante visite de leurs locaux. J'adresse également mes remerciements à M. **Hugo Amoroso**, archéologue au sein de l'institution, pour le partage de ses expériences avec les bois gorgés d'eau. Nos échanges ont été très constructifs et bénéfiques pour mon travail.

J'exprime également ma reconnaissance à Mme **Linda Leuenberger** et M. **Christoph Müller**, tous deux conservateurs-restaurateurs au Service archéologique du canton de Thurgovie, pour avoir pris le temps de répondre à mon questionnaire, de me partager leurs expériences et de m'avoir fait visiter leurs locaux.

Un grand merci au personnel de l'Atelier de Recherche et de Conservation Nucléart à Grenoble : M. **Loïc Caillat**, assistant-ingénieur-biologiste, M. **Gilles Chaumat**, ingénieur, adjoint scientifique et technique et Mme **Laure Meunier**, conservatrice-restauratrice. Leur aide, leur disponibilité et leur expérience dans la conservation-restauration des bois gorgés d'eau m'ont permis d'en apprendre plus sur le sujet et d'élargir ma recherche.

Je tiens à remercier Mme **Marie Grall**, gestionnaire des archives de fouille au Bureau d'études archéologiques Éveha, pour la transmission de documents et protocoles très pertinents pour mon travail ainsi que pour sa sympathie. Mes remerciements s'adressent également à Mme **Lila Reboul**, chargée de mission pour la conservation préventive et la gestion du mobilier pour le Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM), d'avoir pris le temps pour répondre à mes questions et partager son expérience.

Merci à Mme **Gwenaëlle Lemoine**, conservatrice-restauratrice, responsable du secteur organique au Laboratoire l'Arc Antique, pour ses recommandations, ses partages et sa gentillesse. Nos échanges ont été très intéressants et très instructifs pour mon travail.

Merci à M. **David Dorte**, ingénieur en hydraulique urbaine, pour ses renseignements précieux sur la composition de l'eau, les possibilités de traitement ainsi que pour ses conseils constructifs.

Et finalement, un grand merci à Elias, à ma famille et à tous mes proches pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce travail de mémoire.

# Table des matières

Résumé .....	5
Zusammenfassung .....	5
Abstract .....	6
<b>1. Introduction.....</b>	<b>7</b>
1.1 Introduction générale .....	7
1.2 Mandat .....	8
1.3 Objectifs .....	8
1.4 Méthodologie .....	8
<b>2. Contexte de l'étude.....</b>	<b>8</b>
2.1 Présentation de l'institution d'accueil .....	8
2.2 Archéologie en milieu terrestre-humide.....	9
2.3 Archéologie en milieu subaquatique.....	10
<b>3. Mobilier en bois.....</b>	<b>11</b>
3.1 Anatomie du bois .....	11
3.1.1 Structure macroscopique.....	11
3.1.2 Structure microscopique.....	12
3.1.3 Propriétés liées à l'anatomie .....	13
3.2 Particularités du bois gorgé d'eau .....	14
3.3 Processus de dégradation .....	15
3.3.1 Dégradations en milieu d'enfouissement .....	16
3.3.2 Dégradations post-fouille .....	17
3.4 Enjeux liés à la conservation des bois gorgés d'eau .....	18
<b>4 Méthodes de conservation in situ .....</b>	<b>19</b>
4.1 Préservation in situ.....	19
4.1.1 Protection physique .....	20
4.1.1 Protection juridique.....	23
4.2 Méthodes de prélèvement et de stockage .....	23
4.2.1 Critères de prélèvement .....	23
4.2.2 Techniques de prélèvement.....	24
4.2.3 Emballage et stockage sur site.....	27
<b>5 Méthodes de conservation en laboratoire .....</b>	<b>30</b>
5.1 Stockage provisoire .....	30
5.2 Interventions curatives .....	31

5.2.1 Nettoyage mécanique .....	31
5.2.2 Bains de lessivage.....	32
5.3 Stockage définitif et conservation préventive.....	35
<b>6 Gestion du mobilier en bois gorgé d'eau au SAEF .....</b>	<b>35</b>
6.1 Objectifs de conservation.....	35
6.2 Distinction du type de mobilier .....	36
6.2.1 Problématique .....	36
6.2.2 Précision du vocabulaire .....	37
6.2.3 Étape de la distinction .....	38
6.3 Chaîne opératoire des fouilles aux réserves .....	39
6.3.1 Problématique .....	39
6.3.2 Propositions d'améliorations .....	39
<b>7 Discussion .....</b>	<b>40</b>
<b>8 Conclusion.....</b>	<b>44</b>
Bibliographie .....	45
Bibliographie non référencée.....	52
Glossaire.....	53
Liste des figures .....	58
Liste des tableaux .....	59
Liste des documents .....	60
Listes des abréviations.....	60
Annexes.....	61
A. Figures .....	61
B. Tableaux.....	64
C. Protocole de conservation pour le SAEF .....	70
D. Fiche pratique pour les archéologues .....	101

## Résumé

Le bois archéologique est un matériau organique qui, enfoui des années dans un environnement saturé en humidité, va se gorger d'eau et subir des dégradations physico-chimiques irréversibles. Suite à ces nombreuses altérations en milieu d'enfouissement, les bois gorgés d'eau sont des matériaux très fragiles et dans un état instable. Les risques d'altération sont donc également très élevés dès leur mise au jour car ils seront soumis à de nouvelles contraintes environnementales et mécaniques. Par conséquent, si ces objets ne sont pas correctement pris en charge tout au long du processus de conservation, cela peut entraîner d'importantes déformations, des ruptures ou voir même leur destruction.

A ce jour, le Service archéologique de l'Etat de Fribourg (SAEF) ne possède pas de démarche formelle pour la gestion de ce mobilier et désire qu'une ligne directrice soit mise en place pour favoriser la fluidité du processus. Pour ce faire, différentes méthodes de conservation des bois gorgés d'eau depuis le chantier de fouille jusqu'aux réserves ont été étudiées. De nombreuses recherches bibliographiques, des visites et des entretiens avec des spécialistes ont permis de décrire plusieurs techniques de conservation mais aussi d'évaluer celles qu'il serait pertinent d'ajouter à la chaîne opératoire du SAEF.

Finalement, ce projet a permis de faire une synthèse d'une partie des connaissances actuelles sur le sujet, de soumettre des propositions d'améliorations pour la gestion du bois gorgé d'eau au SAEF et de mettre au point deux documents qui leur permettront d'avoir une marche à suivre pour optimiser leur chaîne opératoire et ainsi éviter des détériorations.

## Zusammenfassung

Archäologisches Holz ist ein organisches Material, das, wenn es jahrelang in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Umgebung vergraben wird, wassergesättigt wird und irreversiblen physikalischen und chemischen Abbau erleidet. Infolge dieser zahlreichen Veränderungen in der Bestattungsumgebung ist wasserdurchtränktes Holz in einem instabilen Zustand ein sehr zerbrechliches Material. Die Risiken einer Veränderung sind daher auch sehr hoch, sobald sie aufgedeckt werden, da sie neuen ökologischen und mechanischen Zwängen unterworfen sein werden. Wenn diese Objekte während des gesamten Konservierungsprozesses nicht richtig gepflegt werden, kann dies zu erheblichen Verformungen, Brüchen oder sogar Zerstörungen führen.

Bis heute hat das Amt für Archäologie des Kantons Freiburg (AAFR) keinen formellen Ansatz für die Verwaltung dieses Mobiliars und wünscht, dass ein Leitfaden erstellt wird, um den reibungslosen Ablauf des Prozesses zu fördern. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Methoden zur Konservierung von wassergesättigtem Holz von der Ausgrabungsstätte bis zum Lagerbereich untersucht. Zahlreiche bibliografische Recherchen, Besuche und Interviews mit Fachleuten ermöglichten es, verschiedene

Konservierungstechniken zu beschreiben, aber auch diejenigen zu evaluieren, die für eine Ergänzung der Chain of Custody des AAFR relevant wären.

Schliesslich ermöglichte es dieses Projekt, einen Teil des aktuellen Wissensstandes zu diesem Thema zusammenzufassen, dem AAFR Vorschläge zur Verbesserung der Bewirtschaftung von mit Wasser durchtränktem Holz zu unterbreiten und zwei Dokumente zu erarbeiten, die ihnen ein Verfahren zur Optimierung ihrer Chain of Custody und damit zur Vermeidung von Verschlechterungen ermöglichen.

## **Abstract**

Archaeological wood is an organic material which, buried for years in a humid environment, will become waterlogged and suffer irreversible physical and chemical degradation. As a result of these numerous alterations in the burial environment, waterlogged wood is a very fragile material in an unstable state. Therefore, the risks of alteration are also very high as soon as they are uncovered because they will be subject to new environmental and mechanical constraints. Consequently, if these objects are not properly cared for throughout the conservation process, it can lead to significant deformation, breakage or even destruction.

To date, the "Service archéologique de l'Etat de Fribourg" (SAEF) has no formal approach in regard to the management of this furniture and would like to see a guideline put in place to promote the smoothness of the process. To this end, different methods of conserving waterlogged wood from the excavation site to the storage area have been studied. Numerous bibliographical researches, visits and interviews with specialists made it possible to describe several conservation techniques, but also to evaluate those that would be relevant to add to the SAEF chain of custody.

Finally, this project made it possible to synthesize some of the current knowledge on the subject, to submit proposals for improvements in the management of waterlogged wood to the SAEF and to develop two documents that will enable them to have a procedure to follow to optimize their chain of custody and thus avoid deterioration.

# 1. Introduction

## 1.1 Introduction générale

Le bois étant un matériau de nature organique, il entame un processus de *biodégradation*<sup>1</sup> une fois abandonné sur le sol ou immergé dans l'eau, et ce, peu importe son essence. Néanmoins, malgré le fait que les restes en bois soient initialement voués à disparaître dans le temps, ces vestiges sont fréquemment retrouvés lors de chantiers de fouilles archéologiques ou de *prospections* sur des sites terrestres-humides ou immergés<sup>2</sup>. Cet événement remarquable s'explique par la présence de conditions d'enfouissement d'exception dans ces milieux. En effet, dans un environnement humide ou saturé en eau, les cavités cellulaires du bois vont se gorger d'eau et favoriser le maintien de la forme et de l'aspect du bois. Cependant, l'apport d'eau dans les cellules va également engendrer des phénomènes de dégradation irréversibles qui rend la structure du bois très fragile et spongieuse<sup>3, 4</sup>.

De par ses différents processus de détérioration, les découvertes de matériaux organiques sur un site archéologique gorgé d'eau présentent des problématiques bien spécifiques qui rendent leur conservation complexe pour les archéologues et les conservateurs-restaurateurs<sup>5</sup>. La mise au jour de vestiges en bois gorgé déstabilise considérablement l'équilibre interne des bois gorgés d'eau et peut provoquer l'effondrement complet des cellules en quelques heures seulement<sup>6</sup>. Ce phénomène induit la perte d'informations archéologiques inestimables et la destruction de biens matériels faisant partie intégrante de notre mémoire collective. Par conséquent, la sauvegarde des bois gorgés d'eau nécessite une réflexion à part entière, des interventions de conservation préventive et curative et une attention particulière tout au long du processus de conservation afin que celui-ci se fasse de façon continue<sup>7</sup>.

Le canton de Fribourg dénombre à ce jour une cinquantaine de sites archéologiques en milieux humides dont cinq d'entre eux sont des sites *palafittiques* inscrits au Patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2011<sup>8</sup>. Par conséquent, le Service archéologique de l'État de Fribourg (SAEF) est régulièrement confronté aux problématiques de conservation du mobilier archéologique humide et notamment à la préservation des bois gorgés d'eau.

---

<sup>1</sup> Les mots en italiques sont définis dans le glossaire p.53-58.

<sup>2</sup> Duchêne, 2007, p.23.

<sup>3</sup> E. J. S. Werz et Seemann, 1993, p.37.

<sup>4</sup> Berducou, 1990, p.240.

<sup>5</sup> E. J. S. Werz et Seemann, 1993, p.37.

<sup>6</sup> Duchêne, 2007, p.23.

<sup>7</sup> Maarleveld, 2013, p.189.

<sup>8</sup> Blumer, 2012, p.6.

## 1.2 Mandat

Le sujet a été proposé par Mme Emmanuelle Forster, conservatrice-restauratrice, responsable du laboratoire organique au SAEF qui désirait que la conservation de ce matériau fasse l'objet d'une étude plus approfondie. Le mandat de ce travail est de proposer à l'institution un protocole qui présenterait les étapes de conservation nécessaires pour favoriser la sauvegarde des objets en bois gorgés d'eau depuis les chantiers de fouilles archéologiques jusqu'aux réserves. Un travail de mémoire de la même nature a été réalisé l'année passée au SAEF pour la gestion du mobilier archéologique ferreux et Mme Forster trouvait pertinent d'également examiner le cas des bois gorgés d'eau<sup>9</sup>. Ce travail n'englobe pas les interventions de restauration visant à stabiliser les vestiges en bois, car celles-ci relèvent des compétences d'un conservateur-restaurateur.

## 1.3 Objectifs

L'objectif de cette étude est de livrer à l'institution un protocole de conservation destiné aux intervenants au sein du laboratoire et une fiche synthétisée développée pour les archéologues sur le terrain. Ces deux documents comprendront des recommandations pour la gestion du mobilier en bois gorgé d'eau dès sa mise au jour et les gestes à adopter pour éviter des dégradations. L'objectif de ces documents est dans un premier temps de formaliser les pratiques déjà en vigueur au SAEF et dans un deuxième temps, d'y apporter des modifications afin d'optimiser la *chaîne archéologique* des vestiges et de faciliter la prise de décisions durant le processus de conservation. Ce mémoire comprend premièrement la présentation du contexte de travail ainsi que l'étude du bois gorgé d'eau et de ses caractéristiques. Deuxièmement, les méthodes de conservation ainsi que la gestion de ce mobilier sont analysées et synthétisées dans le but de proposer des améliorations possibles au SAEF.

## 1.4 Méthodologie

Pour ce faire, un travail d'enquête auprès de professionnels de la conservation-restauration et autres spécialistes en lien avec la sauvegarde du patrimoine archéologique est nécessaire. Des entretiens, des visites et recherches bibliographiques permettront de comparer les méthodes de conservation existantes et de mettre en place une méthodologie optimale pour le SAEF.

# 2. Contexte de l'étude

## 2.1 Présentation de l'institution d'accueil

Le SAEF a été fondé en 1826 par une société archéologique avec pour objectifs de composer des collections et de les étudier. Au fil des années, le SAEF a élargi ses champs d'action dans différents milieux de fouilles (terrestre et subaquatique) et mis au point une première cartographie des sites

---

<sup>9</sup> Regnault, 2019, p.6.

archéologiques du canton en 1878<sup>10</sup>. L'institution a pour buts et missions d'identifier, d'inventorier et de recenser les biens culturels archéologiques en vue de les conserver, de les valoriser et d'ainsi sensibiliser la population à l'importance du patrimoine archéologique<sup>11</sup>.

Depuis 1997, les locaux du SAEF sont situés en vieille ville de Fribourg dans une ancienne caserne<sup>12</sup> qui a été partiellement rénovée cette année-là<sup>13, 14</sup>. Ce bâtiment historique abrite les bureaux des multiples collaborateurs, les dépôts, une bibliothèque et les laboratoires de conservation-restauration.

Le mobilier archéologique en bois gorgé d'eau du SAEF est issu de deux différents types de fouilles : les chantiers de fouilles archéologiques en milieu terrestre-humide et celles en milieu subaquatique.

## 2.2 Archéologie en milieu terrestre-humide

Il est passablement rare de révéler des objets en bois sur les sites archéologiques terrestres. En effet, le bois étant biodégradable, les processus de dégradation en milieu aérobie peuvent induire la destruction des vestiges en bois en moins de 50 ans<sup>15</sup>. Néanmoins, il arrive de retrouver des vestiges en bois si ceux-ci ont été enfouis rapidement dans des sédiments humides au moment de leur abandon. Les milieux terrestres *uligineux* dans lesquels on retrouve du mobilier en bois sont fréquemment des lieux proches des lacs, des rivières, des étangs, des anciennes zones aquatiques ou des zones *palustres*<sup>16, 17</sup>. Les marécages, les marais et les tourbières sont des lieux dans lesquels le bois se conserve bien, car ce sont des milieux anoxiques<sup>18</sup>.

La préservation du bois dans des sols sédimentaires dépend non seulement de la composition du substrat et des phénomènes de dégradations intervenant en milieu enfoui, mais aussi de la position de la *nappe phréatique*<sup>19, 20</sup>. En effet, cette zone souterraine saturée en eau favorise la conservation des matériaux organiques de par l'humidité élevée<sup>21</sup> et le faible taux d'oxygène dans les couches sous-jacentes<sup>22</sup>. Un bois trouvé en milieu terrestre est d'ailleurs dit gorgé d'eau lorsqu'il se trouvait en dessous du niveau de la nappe phréatique<sup>23, 24</sup>.

---

<sup>10</sup> Historique du Service archéologique [En ligne].

<sup>11</sup> Missions du Service archéologique [En ligne].

<sup>12</sup> Cf. Annexes, Figure 28, p.61.

<sup>13</sup> Historique du Service archéologique [En ligne].

<sup>14</sup> Entretien téléphonique le 06.05.20 avec Mme Ingrid Sonnenwyl, collaboratrice technique, responsable des collections archéologiques et gestion de la conservation préventive au SAEF.

<sup>15</sup> Caple et Dungworth, 1998, p.15.

<sup>16</sup> Chaumat *et al.*, 2017, p.2.

<sup>17</sup> Van Heeringen et Theunissen, 2006, p.120.

<sup>18</sup> Bois gorgé d'eau [En ligne].

<sup>19</sup> Corboud et Pugin, 2006, p.53.

<sup>20</sup> Corboud et Pugin, 2006, p.48.

<sup>21</sup> Hochuli et Schaeren, 2006, p.60.

<sup>22</sup> Van Heeringen et Theunissen, 2006, p.122.

<sup>23</sup> Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhéna, non daté, p.3.

<sup>24</sup> Cf. Annexes, Figure 29, p. 61.



Dans le canton de Fribourg, les archéologues ont été surpris de découvrir en 2019 des vestiges en bois relativement bien conservés à Saint-Aubin<sup>25</sup>. Ce site terrestre normalement pauvre en trouvailles organiques, avait tout de même permis la conservation de ces éléments grâce à une couche d'argile assez étanche qui a empêché l'évaporation de l'eau contenue dans le sous-sol<sup>26, 27</sup>. Les archéologues du SAEF interviennent en milieu terrestre principalement lors de fouilles de sauvetage ou de suivi<sup>28</sup>.

## 2.3 Archéologie en milieu subaquatique

En 1854, l'historien et antiquaire Ferdinand Keller dévoile l'existence de la « civilisation lacustre » suite à la trouvaille de villages préhistoriques au bord du lac de Zurich<sup>29</sup>. L'hiver 1853-54 ayant été particulièrement rigoureux en Suisse, le niveau d'eau du lac de Zurich a fortement baissé et a dévoilé des vestiges archéologiques jusque-là méconnus. Cette découverte scientifique majeure engendre le développement de l'intérêt pour les sites lacustres et l'émergence des *fouilles subaquatiques*<sup>30, 31</sup>, notamment dans le canton de Fribourg où des passionnés d'archéologie vont obtenir des droits de recherches et réaliser les premières explorations dès 1856<sup>32, 33</sup>.

Au fil des années, *le patrimoine culturel subaquatique* est mis en lumière et devient pour les scientifiques une source d'informations essentielles sur les sociétés passées et le développement des civilisations<sup>34</sup>.

Le milieu subaquatique présente un environnement propice pour la conservation des bois, car non seulement la dégradation est ralentie dans des eaux peu oxygénées, à l'abri de la lumière, et à basse température, mais aussi, car dans le cas où le milieu s'avère être plus tempéré ou sujet à de forts courants, les vestiges peuvent tout de même être préservés si une couche de sable ou de boue protège les biens de l'abrasion, des rayons du soleil et des organismes xylophages<sup>35</sup>. Ces conditions environnementales permettent une conservation exceptionnelle des objets de nature organique et donnent ainsi l'accès à de nouvelles connaissances sur notre patrimoine culturel<sup>36</sup>.

---

<sup>25</sup> Cf. Annexes, Figure 30, p. 62.

<sup>26</sup> Entretien téléphonique le 20.05.20 avec M. Jacques Monnier, chef de secteur (secteur Gallo-romain et Antiquité tardive) au SAEF.

<sup>27</sup> Pillier, 2019, p.15.

<sup>28</sup> Entretien téléphonique le 12.05.20 avec M. Léonard Kramer, assistant scientifique (secteur Pré-Protohistoire), gestion des fouilles subaquatiques au SAEF.

<sup>29</sup> Blumer, 2012, p.7.

<sup>30</sup> Pomey, 2007, p.15.

<sup>31</sup> Suter, 2009, p.10.

<sup>32</sup> Historique du Service archéologique [En ligne].

<sup>33</sup> Blumer, 2012, p.7.

<sup>34</sup> UNESCO, 2007, p.3.

<sup>35</sup> Nutley, 2008, p.16.

<sup>36</sup> Horevoets, 2017, p. 208.

Depuis 2003, le SAEF a mis en place une équipe d'archéologues-plongeurs prenant la responsabilité des fouilles et recherches subaquatiques sur des sites dont l'érosion menace la stabilité<sup>37</sup>. Leur objectif initial était de mener des prospections<sup>38</sup> afin d'identifier l'étendue et l'état des sites immergés du Néolithique et de l'âge du Bronze<sup>39</sup>. Actuellement, cette équipe réalise des chantiers de fouilles archéologiques dans le canton de Fribourg le plus fréquemment au mois de novembre<sup>40</sup> notamment pour des raisons de diminution des activités du secteur de la construction à cette période, de lisibilité des fonds marins et de températures de l'eau et de l'air encore agréables<sup>41</sup>.



Figure 1 : Equipe de scaphandriers au début du 20<sup>e</sup> siècle au bord du lac de Morat

© SAEF



Figure 2 : Equipe de fouilles subaquatiques du SAEF en 2011

© SAEF

### 3. Mobilier en bois

#### 3.1 Anatomie du bois

La compréhension de l'anatomie du bois est un prérequis pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques ainsi que des processus de dégradation de celui-ci. L'observation du bois au niveau cellulaire et *pariétal*, est une étape permettant d'appréhender les comportements et le fonctionnement du matériau durant le processus de conservation. Le bois, tissu complexe de nature organique et d'origine végétale, peut être décrit et identifié par ses différentes structures macroscopiques et microscopiques<sup>42</sup>.

##### 3.1.1 Structure macroscopique

La croissance de l'arbre et la formation du bois fluctuent en fonction de la nature du terrain, du climat et du contexte géographique. Chaque année, une nouvelle couche de bois va être produite par le

<sup>37</sup> Blumer, 2012, p.8.

<sup>38</sup> Entretien le 11.05.20 avec M. Henri Vigneau, technicien de fouille (secteur Archéologie du territoire) au SAEF.

<sup>39</sup> Blumer, 2014, p.25.

<sup>40</sup> Entretien le 07.04.20 avec Mme Emmanuelle Forster, conservatrice-restauratrice au SAEF.

<sup>41</sup> Mauvilly *et al.*, 2020, p.29.

<sup>42</sup> Trouy, 2015, p.XI.

*cambium* et former un cerne annuel de croissance<sup>43</sup>. Étant influencé par son environnement, le développement du bois est plus actif du printemps à l'été (cernes annuels larges) et diminue de l'automne à l'hiver (cernes annuels plus étroits). Ces différentes périodes de vie ainsi que l'âge de l'arbre peuvent ensuite être déterminés par dendrochronologie, une méthode de datation par comptage des cernes annuels de croissance<sup>44, 45</sup>.

Les différentes essences de bois, possédant chacune un arrangement anatomique particulier, peuvent être classifiées en deux grandes classes : les feuillus (*Angiospermes*) et les résineux aussi appelés conifères (*Gymnospermes*)<sup>46, 47</sup>. Les différences entre ces deux familles sont notamment liées à leur structure cellulaire et leur composition chimique.

### 3.1.2 Structure microscopique

La composition chimique du bois connaît une répartition élémentaire d'environ 50% de carbone, 43% d'oxygène, 6% d'hydrogène et à 1% d'azote en masse. La quantité de carbone présente dans le bois est due au CO<sub>2</sub> exploité par l'arbre pour la photosynthèse<sup>48</sup>.

La composition chimique du bois étant complexe, seuls les composés principaux présents dans les parois cellulaires végétales seront cités :

- **La cellulose** (environ 50%) : polysaccharide composé d'une chaîne linéaire de 15 à 15'000 monomères D-glucose<sup>49, 50</sup>. La cellulose assure une fonction structurelle pour la paroi végétale grâce à sa résistance à la tension et sa formation en microfibrilles autour de la cellule<sup>51</sup>. Une microfibrille résulte de l'association de fibres élémentaires, elles-mêmes composées de 40 chaînes de cellulose<sup>52</sup>.

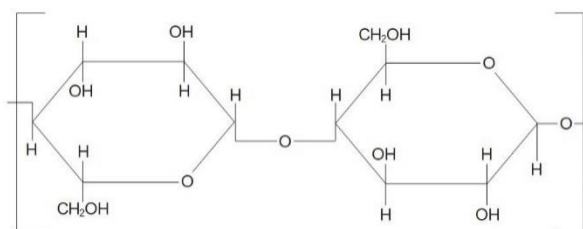


Figure 3 : Structure chimique de la cellulose

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, tiré de Berducou, 1990

<sup>43</sup> Trouy et Tribulot, 2019, p. 14.

<sup>44</sup> Michel, 1999, p.14.

<sup>45</sup> Trouy, 2015, p.8.

<sup>46</sup> Anatomie et structure du bois [En ligne].

<sup>47</sup> Berducou, 1990, p.225.

<sup>48</sup> Trouy et Tribulot, 2019, p.13.

<sup>49</sup> Mills, 1994, p.64.

<sup>50</sup> Cellulose [En ligne].

<sup>51</sup> Mezouar, 2018-2019, p.42.

<sup>52</sup> Berducou, 1990, p.223.

- **L'hémicellulose** (15% - 25%) : polysaccharide ramifié composé de plusieurs types de sucres et qui permet d'agréger les fibres de cellulose<sup>53 54</sup>.
- **La lignine** (20% - 30%)<sup>55</sup> : polymère formé de monomères de type phénylpropylène qui enduit les parois celluliques, les rigidifie et ainsi leur prodigue une meilleure résistance<sup>56, 57</sup>.

### 3.1.3 Propriétés liées à l'anatomie

En raison de sa composition chimique, le bois est un matériau *hygroscopique*. En effet, l'hémicellulose et la cellulose qui le constitue possèdent des fonctions hydroxyles (OH) qui ont la capacité de former des liaisons hydrogène avec l'eau (H<sub>2</sub>O)<sup>58</sup>. Par conséquent, le bois va continuellement échanger avec son environnement et absorber ou désorber l'humidité de l'air ambiant jusqu'à trouver un équilibre. À l'inverse, lorsque l'hygrométrie est inférieure au *point de saturation des fibres*, le bois va se rétracter et débiter le séchage. On appelle cette alternance d'humidification et de rétraction « l'hystérésis »<sup>59</sup>.

Chez les feuillus, la paroi cellulaire contient un plus grand pourcentage d'hémicellulose que chez les conifères. L'hémicellulose étant plus hygroscopique que la cellulose, les feuillus possèdent donc un point de saturation des fibres de 32% à 35% d'humidité interne alors que celui des conifères se situe entre 26% et 28%<sup>60</sup>.

Un autre phénomène qu'il est intéressant de décrire est l'anisotropie du bois. Cela signifie que lorsque l'humidité diminue, le bois va subir des déformations différentielles, car les coefficients de retrait varient

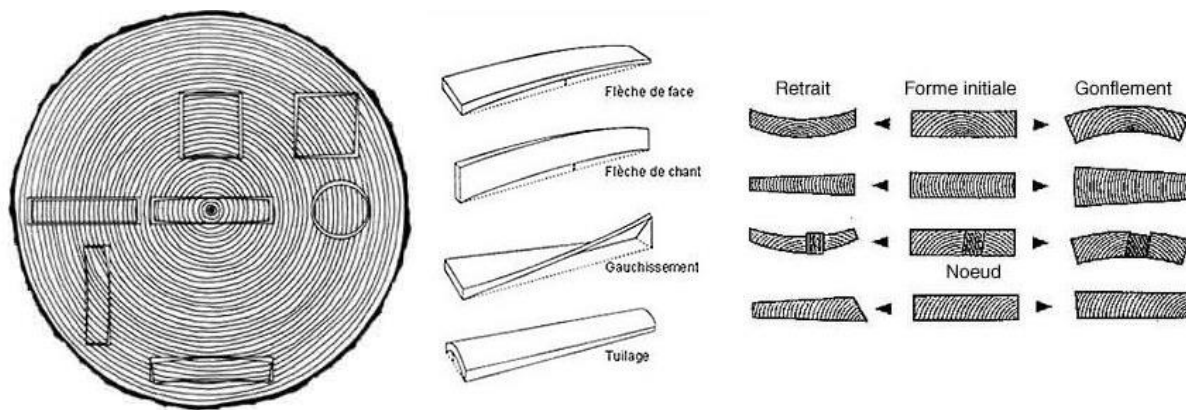


Figure 4 : Défaits de retrait et de gonflement en fonction du sens de débitage

© Wikibois

<sup>53</sup> Hémicellulose [En ligne].

<sup>54</sup> Berducou, 1990, p.224.

<sup>55</sup> Bois [En ligne].

<sup>56</sup> Mezouar, 2018-2019, p.45.

<sup>57</sup> Berducou, 1990, p.224.

<sup>58</sup> Ibidem.

<sup>59</sup> Berducou, 1990, p.228-229.

<sup>60</sup> Ibidem.

en fonction des *directions longitudinale, radiale, tangentielle* (rapport 1 :2 :3)<sup>61, 62</sup>. Par conséquent, le sens de débitage va influencer considérablement les directions de variations dimensionnelles (Cf. Figure 4). Cette différence s'explique par le fait que le bois est un matériau hétérogène dont les parois cellulaires et les tissus conjonctifs vont varier dans leur arrangement ou leurs propriétés<sup>63</sup>.

## 3.2 Particularités du bois gorgé d'eau

Le bois gorgé d'eau est caractérisé par la dissolution des composés chimiques cellulotiques présents dans les parois végétales et leur substitution par des molécules d'eau. Après plusieurs siècles d'enfouissement en milieu humide et subaquatique, la cellulose et l'hémicellulose présentes dans les parois cellulaires du bois vont se détériorer suite à un phénomène d'*hydrolyse*. Ce processus de dégradation est notamment induit par la présence des bactéries contenues dans le sol qui facilitent la dissolution progressive des matières cellulotiques (érosion bactérienne). Ces bactéries pouvant se développer en milieu anaérobie vont détériorer la matière organique grâce à des *enzymes digestives*<sup>64</sup>. Le niveau de détérioration peut également varier en fonction de l'essence du bois. Par exemple, les trouvailles en chêne sont plus fréquentes, car sa densité et sa résistance sont supérieures à celles d'autres essences. De plus, le pH du sédiment peut avoir une influence sur les processus de dégradations. Si le milieu est fortement acide (pH < 4) ou fortement basique (pH > 10), l'hydrolyse sera plus rapide. La lignine, étant un composé plus hydrophobe, résiste mieux à l'immersion et à la dégradation<sup>65, 66, 67</sup>. Les parois cellulaires du bois une fois gorgées d'eau et dégradées ne sont parfois plus que composées de 25% à 35% de cellulose et d'hémicelluloses et de 50% à 60% de lignine<sup>68</sup>.

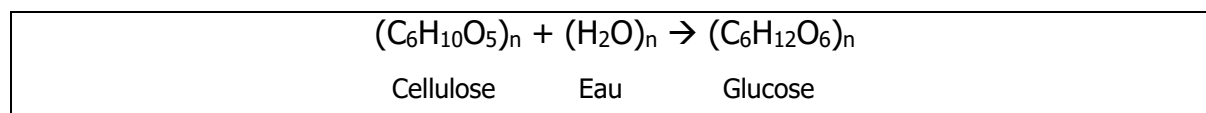


Figure 5 : Fragmentation de de la cellulose par hydrolyse jusqu'à obtenir une molécule de glucose

© Biologie Végitale

Suite à la décomposition des matières cellulotiques et donc à la perte des qualités mécaniques du bois, l'eau est l'élément qui empêche l'effondrement de la cellule et qui permet la conservation de la forme des objets<sup>69</sup>. En effet, malgré l'altération biochimique du bois due à l'eau, il y a peu de modifications

<sup>61</sup> Hygroscopie et anisotropie [En ligne].

<sup>62</sup> Berducou, 1990, p.228.

<sup>63</sup> Michel, 1999, p.14.

<sup>64</sup> Caple et Dungworth, 1998, p.15.

<sup>65</sup> Chaumat *et al.*, 2017, p.2-3.

<sup>66</sup> Mühlethaler, 1973, p.12.

<sup>67</sup> UNESCO, 1984, p.118.

<sup>68</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.16.

<sup>69</sup> Chaumat *et al.*, 2017, p.3.

dimensionnelles. Cela s'explique par la présence d'une humidité supérieure au point de saturation des fibres (~30% d'humidité) dans le milieu d'enfouissement. Au-dessus de 30% d'humidité, les parois cellulaires n'ayant plus la capacité de stocker l'eau, l'excès appelé « *eau libre* » va remplir les pores du bois en causant peu de variations dimensionnelles<sup>70</sup> (Cf. Figure 6).

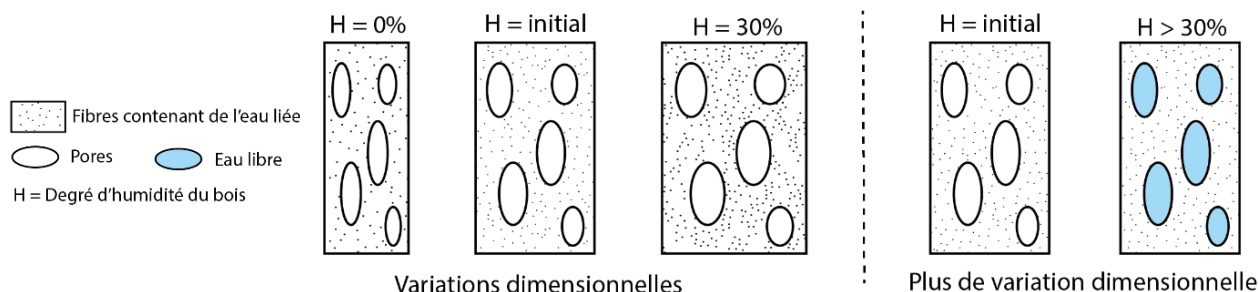


Figure 6 : Variations dimensionnelles du bois en fonction de l'humidité

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, tiré de Wikibois

Cependant, le matériau devient très fragile à la manipulation, car étant gorgé d'eau, il est spongieux et malléable. Dans le cas où l'objet vient à sécher, le bois gorgé d'eau pouvant être composé jusqu'à 80% de liquide, ses cellules ainsi que sa structure anatomique vont s'effondrer allant parfois jusqu'à perdre plus de 50% de son volume initial<sup>71, 72</sup> (Cf. Figure 7).



Figure 7 : Eléments en bois dont la structure s'est effondrée suite à la dessiccation des cellules gorgées d'eau

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, DABC à Lucens - MCAHL

### 3.3 Processus de dégradation

Lors des diverses visites et entretiens, la question de l'altération des bois gorgés d'eau a été abordée afin d'identifier l'état de conservation des objets à leur mise au jour et les différentes problématiques rencontrées lors de la chaîne archéologique. Ces processus de détérioration ont donc été divisés en deux catégories : les dégradations en milieu d'enfouissement et les dégradations post-fouille.

<sup>70</sup> Hygroscopie et anisotropie [En ligne].

<sup>71</sup> Chaumat *et al.*, 2017, p.3.

<sup>72</sup> Chaumat *et al.*, 2007, p.169.

### 3.3.1 Dégradations en milieu d'enfouissement

Bien que les milieux humides et saturés en eau permettent la préservation des objets organiques dans le temps, de nombreuses dégradations peuvent survenir durant la période d'enfouissement. En effet, en plus du phénomène d'hydrolyse et d'érosion bactérienne décrit au point 3.2, les objets peuvent être sujets à d'autres altérations en fonction des paramètres géologiques, physico-chimiques et biologiques intrinsèques à la nature du site<sup>73</sup>.

Le milieu aquatique est notamment propice à la **colonisation des végétaux** qui vont transpercer le bois et l'utiliser comme support pour leur développement. En plus de causer des dégradations mécaniques, les algues vont ensuite favoriser le développement de **champignons et bactéries** qui peuvent être source d'importantes détériorations du bois. De plus, si les vestiges ne sont pas recouverts par une couche sédimentaire, les **organismes xylophages** peuvent digérer la matière organique et altérer sa résistance mécanique et physico-chimique<sup>74</sup>.

Certaines détériorations rencontrées sur les sites archéologiques sont également dues au retrait de la nappe phréatique et à l'**érosion** des sites révélant certains vestiges en milieu subaquatique et provoquant des cycles de séchage pour les objets en milieu terrestre-humide<sup>75, 76</sup>. Les activités humaines telles que les constructions sur les rives ou dans les lacs, les dragages ou encore les abaissements artificiels des plans d'eau<sup>77, 78</sup> ont accéléré la *progradation* naturelle des rives et l'**assèchement** des couches archéologiques. Dans un environnement aquatique où les objets en bois se trouvent souvent à faible profondeur, cet événement va induire la mise au jour des sites et l'érosion accrue de ceux-ci. Les courants et l'abrasion par le sable sont les causes principales de dégradations des vestiges immergés et peuvent amener à leur disparition en quelques années (Cf. Figure 8)<sup>79, 80, 81</sup>.

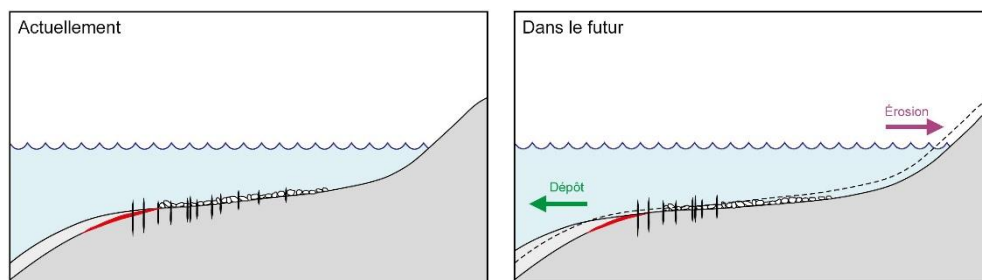


Figure 8 : Projection de l'érosion d'un site littoral contenant des pilotis

© Adapté de Corboud et Pugin, 2006

<sup>73</sup> Maarleveld, 2013, p.181.

<sup>74</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.16.

<sup>75</sup> Pétrequin, 2006, p.91.

<sup>76</sup> Entretien le 23.07.20 avec M. Amoroso, archéologue au Site et Musée romains d'Avenches.

<sup>77</sup> Billaud et Marguet, 2006, p.103.

<sup>78</sup> Heumüller, 2012, p.51.

<sup>79</sup> Constandache, 2006, p.7.

<sup>80</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.16.

<sup>81</sup> Billaud et Marguet, 2006, p.103.



Certaines dégradations en milieu d'enfouissement sont d'**origine anthropique**, notamment l'altération des sites archéologiques par les filets de pêche, la circulation des bateaux ou encore par les plongeurs. Effectivement, avec le développement de la plongée, les sites sont sujets à des pillages, des vols ou à des destructions involontaires<sup>82, 83</sup>.

### 3.3.2 Dégradations post-fouille

Lors de chantiers de fouilles archéologiques et durant tout le processus de conservation, les objets en bois gorgés d'eau sont susceptibles de subir des dégâts importants. Certains processus de dégradation des matières organiques débutent dès que l'on vient perturber l'équilibre et la stabilité établis par l'objet dans son milieu d'enfouissement en l'exposant à de nouvelles contraintes environnementales et mécaniques<sup>84</sup>.

Introduites au chapitre 3.2, les problématiques les plus récurrentes sont probablement celles liées au **séchage**. Lorsque la dessiccation débute, les molécules d'eau qui ont substitué les composés structuraux cellulotiques des parois cellulaires vont s'évaporer et selon le niveau de dégradation du bois, de plus ou moins grandes déformations vont se produire<sup>85, 86</sup>. Ces variations dimensionnelles sont dues à l'effondrement des parois cellulaires suite à une forte tension capillaire de surface induite par la perte de l'eau libre. Étant donné que la résistance des parois a été affaiblie, cette pression va engendrer le collapse des cellules, des retraits, des gondolements, des ruptures, des pertes de volume, des microfissurations et des fentes (Cf. Figures 9-10)<sup>87</sup>.

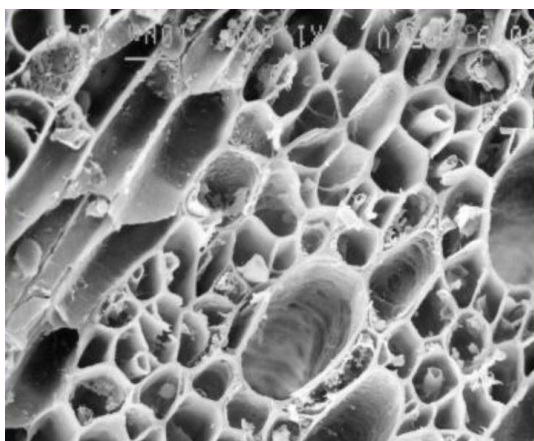


Figure 9 : Microstructure d'un bois archéologique avant le séchage – vue au MEB

© Chaumat *et al.*, 2017

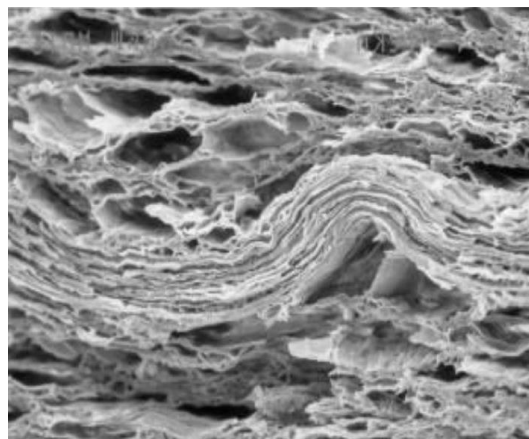


Figure 10 : Microstructure d'un bois archéologique après séchage et effondrement cellulaire – vue au MEB

© Chaumat *et al.*, 2017

<sup>82</sup> UNESCO, 2007, p.5.

<sup>83</sup> Manders, 2011, p.17.

<sup>84</sup> Berducou, 1990, p.19-20.

<sup>85</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.16.

<sup>86</sup> Maarleveld, 2013, p.24.

<sup>87</sup> Chaumat, 2019, p.6.



Pendant le processus de conservation et de traitement, les bois gorgés d'eau sont majoritairement stockés en eau ou dans des environnements saturés afin d'éviter cette déshydratation. Cependant, ces méthodes de stockage provisoire et de stabilisation peuvent elles-mêmes être une source potentielle d'altérations. Effectivement, les milieux liquides et humides sont favorables au développement de **microorganismes, de bactéries et de levures**. Dans le cas de bains, ces organismes *planctoniques* vont augmenter la *turbidité* du liquide et occasionner la création d'un biofilm à la surface des objets et le dégagement de composés organiques volatils (COV) comme par exemple des composés ferro-soufrés si des sulfates sont présents<sup>88</sup>. Effectivement, l'eau des lacs et rivières ainsi que l'eau souterraine sont chargées en sels minéraux dissous ou en suspension<sup>89</sup> qui vont être absorbés par le bois. Ces **résidus minéraux** comme les sulfures de fer ou les produits calcaires vont ensuite réagir en contact avec l'oxygène et engendrer des complications comme des efflorescences à la surface des objets, des concrétions cristallines, des gonflements ou une acidification du matériau<sup>90</sup>.

Les substances composant l'eau vont varier en fonction de sa provenance, sa circulation à travers les structures géologiques et selon des facteurs anthropiques comme la dispersion d'engrais, de pesticides ou l'activité des industries<sup>91, 92</sup>. Ainsi, les problématiques peuvent varier selon les conditions d'enfouissement de l'objet.

### 3.4 Enjeux liés à la conservation des bois gorgés d'eau

Les *artefacts* et *écofacts* formés de ce matériau présentent un intérêt archéologique considérable. En effet, ces témoins matériels, ainsi que leur contexte de fouille, sont des sources d'informations essentielles à la compréhension du fonctionnement des sociétés passées et représentent des outils indispensables pour les recherches scientifiques et historiques<sup>93, 94</sup>.

Cependant, comme expliqué dans le point 3.3, les processus de dégradations du bois peuvent avoir des conséquences dramatiques et voir même provoquer la destruction complète des objets. Les bois gorgés d'eau sont des biens complexes et fragiles dont la bonne prise en charge est primordiale. Les méthodes employées lors de la mise au jour des vestiges en bois gorgés d'eau et tout au long du processus de conservation sont décisives pour le bon déroulement des études et analyses ainsi que pour la conservation des biens sur le long terme.

Les dégâts les plus importants vont survenir notamment si la chaîne de l'eau est brisée, car ceux-ci sont irréversibles et dévastateurs. Par conséquent, il est essentiel de mettre en place une méthodologie

---

<sup>88</sup> Caillat *et al.*, 2015, p.116.

<sup>89</sup> Berducou, 1990, p.239.

<sup>90</sup> ARC-Nucléart, 2019, p.108.

<sup>91</sup> Office fédéral de la santé publique (OFSP), 2010, p.17.

<sup>92</sup> Dorthe, 2019, p.5.

<sup>93</sup> T.116 Sites archéologiques [En ligne].

<sup>94</sup> Jasinski, 2017, p.7-8.

depuis les fouilles jusqu'aux réserves qui permette de maintenir les cellules du bois en état de saturation d'eau et de sensibiliser les différents intervenants aux risques encourus ainsi qu'aux dégradations probables.

## 4 Méthodes de conservation in situ

Le chantier de fouille archéologique est l'une des premières étapes du processus de conservation, car c'est à ce moment-là que les objets sont prélevés, triés, documentés avant d'être transmis aux conservateurs-restaurateurs. La phase de fouille est déterminante pour le reste de la chaîne archéologique, car les décisions qui sont prises sur site influencent la suite des interventions. Par conséquent, il est important d'établir des procédés et techniques en amont de la fouille afin d'éviter les détériorations et la perte d'informations.

In situ, certains **principes de base** sont à respecter :

1. Il est primordial que le bois **reste constamment gorgé d'eau** et que la mise au jour soit progressive afin de ne pas accentuer le traumatisme de fouille (principalement en milieu subaquatique)<sup>95</sup>. Les cellules composant le bois doivent impérativement rester en état de saturation d'eau de sorte à éviter le collapse et la dénaturation structurelle du bois<sup>96</sup>.
2. Il faut **éviter d'exposer les objets au soleil** ou à quelconque autre source de lumière. Dans le meilleur des cas, il est idéal de déposer les objets dans un endroit frais et sombre.
3. Une fois le prélèvement, la documentation et l'emballage effectués, il faut **transmettre les objets le plus rapidement possible** au laboratoire pour les traitements et prévenir les conservateurs-restaurateurs.
4. Le stockage des bois gorgés d'eau ainsi que leur traitement nécessite **un suivi et un espace** considérable qui doivent être anticipés<sup>97</sup>.

Dans le cadre de ce travail, différentes techniques employées pour la conservation des bois gorgés d'eau sur le terrain de fouille ont été sélectionnées et décrites afin de pouvoir ensuite évaluer quelles méthodes peuvent être proposées et mises en place au SAEF.

### 4.1 Préservation in situ

Sur un site archéologique submergé, les archéologues et les conservateurs-restaurateurs peuvent se retrouver face à une grande quantité de mobilier en bois gorgé d'eau et être confrontés à l'impossibilité de prendre en charge tout le matériel archéologique. L'extraction des objets de leur milieu ainsi que

<sup>95</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.37.

<sup>96</sup> Grattan, 1982, p.124.

<sup>97</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2019, p.10.

leur sauvegarde nécessitent une attention particulière, des infrastructures conséquentes et des coûts de conservation élevés. S'il n'est pas envisageable de prendre en charge tout le mobilier une fois mis au jour et de mettre en place des traitements rapidement, il est parfois préférable de procéder à une préservation in situ. Cette méthode, qui consiste à conserver, protéger ou valoriser les vestiges à l'emplacement de leur découverte s'applique principalement aux sites archéologiques subaquatiques<sup>98, 99</sup>.

La convention de l'UNESCO sur la protection du patrimoine culturel subaquatique définit la préservation in situ comme un choix de conservation prioritaire, non seulement parce que cela permet de sauvegarder l'authenticité du site et de le conserver dans son intégrité, mais aussi parce que les objets trouvés sous l'eau sont souvent dans des conditions salutaires à leur pérennisation grâce à la faible quantité d'oxygène, l'absence de lumière, la stabilité thermique et la présence de sédiments majoritairement protecteurs<sup>100, 101, 102</sup>. En effet, des études ont démontré que pour une grande majorité de matériaux et notamment pour le bois, les objets présentaient un taux de dégradation inférieur dans un site submergé que dans un site terrestre<sup>103</sup>.

Cependant, la conservation sur site ne permet pas de stopper tous les processus de dégradation<sup>104</sup>. Les objets en milieux enfouis peuvent encore être sujets à des phénomènes d'érosion, des attaques de bactéries, des colonisations de végétaux modernes, des pillages, etc. (Cf. 3.3.1)<sup>105</sup>. La préservation in situ implique donc des interventions de protection légale et physique qui permettront de conserver et protéger les vestiges archéologiques afin que les générations futures puissent en bénéficier<sup>106, 107</sup>.

#### 4.1.1 Protection physique

Plusieurs méthodes peuvent être mises en place in situ pour favoriser la sauvegarde du mobilier en bois gorgé d'eau. Les premières interventions de cette nature ont été instaurées en 1980 aux Pays-Bas suite à la découverte d'une épave exposée à l'abrasion par le sable et la détérioration par les insectes xylophages en raison de l'abaissement du niveau des eaux souterraines. Ce bateau s'est vu entouré de **filets flottants en polypropylène** afin de capter le sable en mouvement pour qu'il se dépose sur l'épave<sup>108</sup>. Ce système permet donc d'accumuler le sédiment à la surface de l'objet, de recréer ainsi un

---

<sup>98</sup> Coles, 1990, p.3.

<sup>99</sup> Manders, 2008, p.34.

<sup>100</sup> Protection in situ [En ligne].

<sup>101</sup> E.J.S Werz, 1993, p.38.

<sup>102</sup> UNESCO, 2007, p 13.

<sup>103</sup> Cf. Annexes, Figure 31, p.62.

<sup>104</sup> Manders, 2008, p.35.

<sup>105</sup> Protection des sites [En ligne].

<sup>106</sup> Manders, 2008, p.35.

<sup>107</sup> Manders, 2006, p.72.

<sup>108</sup> Cf. Annexes, Figures 32, p.63.

environnement anaérobie et d'également réduire l'abrasion et les attaques d'insectes en quelques semaines seulement<sup>109</sup>. Cependant, ce type de dispositif requiert des conditions sédimentaires spécifiques (transport des sédiments, granulométrie inférieure aux mailles du filet) et doit donc faire l'objet d'une étude préalable afin de voir si le système est viable dans l'environnement en question<sup>110</sup>. Le polypropylène possède l'avantage d'être résistant à l'abrasion et imputrescible. De plus, étant de faible densité, il est possible d'en faire des cordes flottant au-dessus des vestiges.<sup>111</sup> Ces filets peuvent être maintenus sur site grâce à des sacs de sable ou des tiges métalliques<sup>112</sup>.

Cette méthode de conservation in situ a été jugée économique et efficace dans la lutte contre l'*affouillement* des sites subaquatiques, le risque de pillage, les attaques xylophages ou les dégradations liées à la présence d'oxygène<sup>113</sup>. Une autre méthode qui fonctionne sur le même principe est l'application d'un **herbier marin artificiel** (seagrass). Ce tapis composé de franges en polypropylène de 1.6 cm de large permet également de capter le sable transporté par les courants et de recouvrir le site archéologique d'une couche sédimentaire en quelques jours (Cf. Figure 11)<sup>114, 115</sup>.



Figure 11 : Accumulation du sable sur une épave six semaines après l'application d'un herbier marin artificiel (seagrass)

© Richards, 2011

---

<sup>109</sup> Manders, 2006, p.71-72.

<sup>110</sup> Manders, 2011, p.36.

<sup>111</sup> Polypropylène [En ligne].

<sup>112</sup> Manders, 2011, p.32.

<sup>113</sup> Protection des sites [En ligne].

<sup>114</sup> Chamberlin, 2010, p.4-5.

<sup>115</sup> Manders, 2011, p.31.

Une seconde technique déployée dans le cadre de protection des sites archéologiques submergés est la pose de **géotextile** lesté de sable ou maintenu au sol par des galets ou des sacs de remblai<sup>116</sup>. Cette méthode a notamment été employée par le canton de Fribourg pour limiter les dégâts d'érosion suite à l'abaissement des plans d'eau qui ont révélé des vestiges en bois autrefois enfouis et protégés par les sédiments<sup>117, 118</sup>.

La mise en place d'une **natte de sable** (SYTEC Terrafix B<sup>TM</sup>) a également été employée par des institutions en Suisse comme le Service archéologique du canton de Saint-Gall pour la protection d'un site palafittique ou le Service archéologique du canton de Berne (ASB) pour la protection d'un site archéologique subaquatique (Cf. Figure 12).



Figure 12 : Mise en place d'un géotextile SYTEC Terrafix B par le Service archéologique du canton de Berne

© SYTEC

La **pose de galets** est également une mesure de protection existante et elle a notamment été utilisée par le SAEF pour protéger un site archéologique de l'érosion en 1998. Cette technique a permis la protection des couches archéologiques et des vestiges sous-jacents. Pour ce faire, il est nécessaire que les galets ne soient pas trop légers pour ne pas être déplacés par le courant, mais également pas trop lourds afin que les couches archéologiques ne soient pas endommagées (5 à 7kg en moyenne pour obtenir un résultat satisfaisant)<sup>119</sup>. Cependant, sur un site présentant des pilotis, cette protection peut engendrer la dégradation de la partie supérieure des pieux<sup>120</sup>.

Afin de pouvoir mettre en place des infrastructures de protection optimales et de favoriser une conservation des biens sur le long terme, il est indispensable d'avoir identifié quels étaient les facteurs de dégradations physiques, chimiques et biologiques in situ et de s'assurer que les vestiges ne risquent

---

<sup>116</sup> Pétrequin, 2006, p.92.

<sup>117</sup> Blumer, 2012, p.22.

<sup>118</sup> Mauvilly et Spielmann, 2013, p.113.

<sup>119</sup> Ramseyer, 2006, p.43.

<sup>120</sup> Entretien téléphonique le 12.05.20 avec M. Léonard Kramer, assistant scientifique (secteur Pré-Protohistoire), gestion des fouilles subaquatiques au SAEF.

pas la destruction complète en milieu d'enfouissement. Si la stratégie de préservation in situ ne présente pas de dangers trop importants, les vestiges en bois pourraient être conservés sur leur lieu de découverte<sup>121</sup>.

**Note 1**

**La préservation in situ** peut être considérée comme une option prioritaire si la stratégie de préservation ne présente pas de risques de dégradation trop importants et que le site peut être stabilisé, contrôlé et protégé<sup>122</sup>.

**L'installation** d'une protection in situ doit pouvoir être réversible en cas de fouilles dans le futur et ne doit pas causer de dommages supplémentaires au site<sup>123</sup>.

#### 4.1.1 Protection juridique

La protection légale d'un site est un élément essentiel à sa préservation. En effet, suite au développement de la plongée rendant les sites archéologiques plus accessibles, les vestiges ont subi des dommages, et ont fait l'objet de pillages et d'exploitations commerciales<sup>124</sup>. La convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique a été instaurée en 2001 comme « *instrument juridique international permettant de régler et de coordonner la protection des sites archéologiques subaquatiques et d'encourager la collaboration des États* »<sup>125</sup>. En 2019, la Suisse va adhérer à la Convention de 2001 et ainsi s'engager à sauvegarder le patrimoine culturel subaquatique pour les générations futures, à sensibiliser la population à cette thématique et à se donner les moyens d'intervenir<sup>126</sup>.

## 4.2 Méthodes de prélèvement et de stockage

### 4.2.1 Critères de prélèvement

Ces méthodes font appel à différents champs de compétence et nécessitent la collaboration des responsables de fouille, des archéologues, des conservateurs-restaurateurs, des dendrochronologues et autres spécialistes du bois<sup>127</sup>. Le dialogue entre ces différents intervenants va permettre d'identifier le contexte, les problématiques et les solutions envisageables.

---

<sup>121</sup> Richards, 2011, p.2.

<sup>122</sup> Richards, 2011, p.2.

<sup>123</sup> Mesic, 2008, p.102.

<sup>124</sup> Menaces [En ligne].

<sup>125</sup> UNESCO, 2007, p.10.

<sup>126</sup> La Suisse ratifie la Convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique de l'UNESCO [En ligne].

<sup>127</sup> Coles, 1990, p.5.

Les responsables de la fouille vont procéder à un tri des objets à conserver et pour ce faire, différents critères de sélection vont lui permettre de justifier le dégagement des objets de leurs milieux :

- L'intérêt archéologique de l'objet : le bien peut présenter une valeur scientifique élevée s'il s'agit d'un artefact rare et singulier ou s'il s'agit d'un écofact qui peut faire l'objet d'études et d'analyses qui nous renseigneront sur la nature du site.
- La cohérence du bien avec les collections du propriétaire et avec sa politique d'acquisition : il est important que l'objet puisse entrer dans un projet de financement et de valorisation<sup>128 129</sup>.
- La fragilité de l'objet : identifier si le milieu d'enfouissement va engendrer sa destruction complète et qu'un sauvetage est nécessaire. Si l'objet est très fragile, complexe ou fragmenté, un prélèvement est recommandé<sup>130</sup>.
- Les possibilités de traitements de conservation-restauration : les traitements peuvent être onéreux et chronophages. Il est nécessaire d'évaluer les coûts de conservation afin de définir la quantité de mobilier qui peut être prélevée et prise en charge. De plus, les stockages en attente de traitement pouvant être source de dégradations s'ils sont trop longs, il est parfois préférable de ne pas prélever trop d'objets tant que les ressources humaines et matérielles pour gérer ce mobilier ne sont pas réunies<sup>131, 132</sup>.

#### 4.2.2 Techniques de prélèvement

Avant de procéder à un prélèvement, il est important de documenter l'objet dans son contexte. En effet, les informations archéologiques sont des éléments essentiels à l'étude, l'interprétation et la valorisation des objets par la suite. Les traitements de conservation pouvant être source d'une perte de volume et d'une modification de l'aspect de l'objet, la documentation sur site est très importante<sup>133, 134</sup>. Les archéologues vont donc procéder à des relevés sur le terrain (contexte stratigraphique, dimensions, poids, objectif de prélèvement, état de conservation) et à une documentation (photographies et dessins) des vestiges mis au jour<sup>135</sup>.

---

<sup>128</sup> Coles, 1990, p.15-16.

<sup>129</sup> Entretien téléphonique le 12.05.20 avec Mme Lila Reboul, Chargée de mission pour la conservation préventive et la gestion du mobilier pour le DRASSM.

<sup>130</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2019, p.4.

<sup>131</sup> Questionnaire le 29.05.20 avec M. Christophe Müller et Mme Linda Leuenberger, conservateurs-restaurateurs au Service archéologique du canton de Thurgovie.

<sup>132</sup> Entretien téléphonique le 12.05.20 avec M. Léonard Kramer, assistant scientifique (secteur Pré-Protohistoire), gestion des fouilles subaquatiques au SAEF.

<sup>133</sup> Coles, 1990, p.6.

<sup>134</sup> Entretien téléphonique le 26.03.20 avec M. David Cuendet, conservateur-restaurateur au MCAHL.

<sup>135</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2019, p.6.

Les différentes méthodes de prélèvement seront ensuite sélectionnées en fonction de la fragilité de l'objet, de son format, de ses matériaux constitutifs et de son contexte d'enfouissement<sup>136</sup>. Pour les prélèvements complexes et dans le cas d'objets difficilement manipulables, il est recommandé de faire appel aux compétences d'un conservateur-restaurateur.

Pour les objets qui sont en **bon état**, ils peuvent être prélevés précautionneusement avec les mains et déposés dans un sachet Minigrip™ selon le système de conditionnement décrit au point 4.2.3.

Les vestiges très fragiles et **difficilement manipulables** peuvent être prélevés soigneusement et déposés sur une plaque en polypropylène (PP) qui permet un soutien structurel<sup>137</sup>. Au ASB, des profils en mousse PE (polyéthylène) sont disposés sur les bords de la plaque et l'objet est humidifié grâce à un pulvérisateur (Cf. Figure 13). Une fois l'objet bien humide, du film plastique (de type cellophane) est étiré tout autour de la plaque afin de créer un environnement étanche, car le film polyéthylène est peu perméable à la vapeur d'eau. (Cf. Figure 14)<sup>138, 139</sup>. Les conservateurs-restaurateurs du Site et Musée romains d'Avenches se sont inspirés du ASB et découpent en amont des fouilles différents formats de plaques PP afin de faciliter la gestion du mobilier sur site par les archéologues<sup>140</sup>.

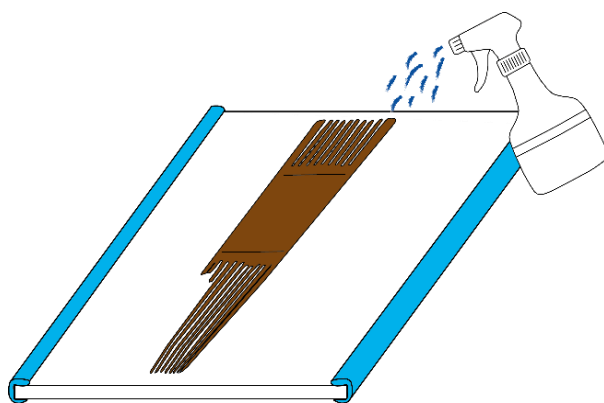


Figure 13 : Plaque en polypropylène cannelé, protégée par des bords en mousse, accueillant un objet en bois

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, inspiré de GAF, 2019

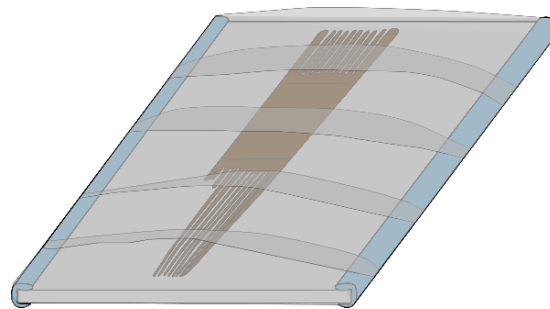


Figure 14 : Plaque en polypropylène cannelé emballée dans du film plastique

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, inspiré de GAF, 2019

<sup>136</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.37.

<sup>137</sup> Reboul, 2008, p.21.

<sup>138</sup> Entretien le 10.07.20 avec Mme Friederike Moll-Dau, conservatrice-restauratrice au Service archéologique du canton de Berne.

<sup>139</sup> Flieder et Capderou, 1999, p.177.

<sup>140</sup> Entretien le 23.07.20 avec Mme Line Pedersen, conservatrice-restauratrice au Site et Musée romains d'Avenches.



Si le prélèvement se fait sous l'eau, le support rigide est glissé sous l'objet avant d'être entouré de bandes de crêpe Velpeau<sup>141</sup> qui permettent non seulement de maintenir l'objet sur son support et d'être protégé de la lumière, mais également d'être humidifié régulièrement ou mis en eau<sup>142</sup>. De plus, l'application de bandes de coton sous l'eau diminue l'impact du choc de la mise au jour<sup>143</sup>.



Figure 15 : Prélèvement subaquatique à l'aide de bandes de crêpe en coton Velpeau

©T. Seguin - Reboul, 2009

En milieu terrestre, dans le cas d'objets très fragiles ou fragmentés **difficilement manipulables**, il est possible de procéder à un prélèvement en motte, car celui-ci présente de nombreux avantages. En effet, cette méthode permet d'extraire l'objet sans le manipuler directement et d'également pouvoir observer l'objet dans son contexte sédimentaire<sup>144</sup>. Les étapes de réalisation sont les suivantes :

1. Dégager soigneusement le sédiment autour de l'objet et sur l'objet grâce à une ouate en coton humide. Creuser une tranchée à l'aide de spatules autour de celui-ci afin de créer une motte. Laisser minimum 5 cm de marge sur les côtés pour éviter que la motte s'effondre et ne pas réaliser des tranchées trop profondes sinon le prélèvement sera trop lourd.
2. Enserrer la motte dans plusieurs couches de film plastique (cellophane) en partant depuis la base.
3. *A.* Si la motte présente une bonne cohésion, détacher au moyen de truelles et glisser un support rigide dessous. Si le support est en bois, utiliser une interface en plastique (cellophane).  
*B.* Si la motte est fragile, appliquer 2 à 3 couches maximum de bandes plâtrées humidifiées sur la surface afin de créer une coque rigide. En variant la direction des bandes de 90°C sur les différentes couches, cela permet d'avoir un meilleur maintien. Détacher puis glisser la motte sur un support rigide<sup>145, 146</sup>.

<sup>141</sup> Gestionnaires des Archives de fouilles, 2019, p.20.

<sup>142</sup> Reboul, 2009, p.4.

<sup>143</sup> DRASSM, 2011, p.1.

<sup>144</sup> DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, p.38.

<sup>145</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2019, p.16.

<sup>146</sup> Entretien le 24.07.20 avec Mme Emmanuelle Forster, conservatrice-restauratrice au SAEF.

### **Note 2**

Dans le cas de figure où le **prélèvement devait durer plusieurs heures ou plusieurs jours** :

- Humidifier régulièrement les vestiges exposés à l'air libre afin d'éviter que le processus de séchage ne débute. Il est possible de vaporiser de l'eau grâce à un pulvérisateur ou de déposer un textile humide sur les objets (draps en coton ou géotextile Bidim®).
- Recouvrir les objets d'une bâche plastique polyéthylène pour éviter l'évaporation<sup>147, 148, 149</sup>.

## 4.2.3 Emballage et stockage sur site

À la suite du prélèvement, l'emballage et le stockage sont des étapes essentielles à la conservation des vestiges. Les buts de l'emballage et du stockage sont non seulement de protéger et préserver l'objet de la dégradation, mais aussi de faciliter les interventions et limiter les manipulations.

Pour les petits objets en **bon état** de conservation qui ont été prélevés à la main, une méthode de stockage a été mise au point par le Service archéologique du canton de Zurich et a notamment été réutilisée par le laboratoire du Musée national suisse<sup>150</sup>. Il s'agit d'un bac gerbable munit d'un système d'accrochage pour les sachets Minigrip™ contenant les objets et leurs N°inventaire (Cf. Figure 16-17).

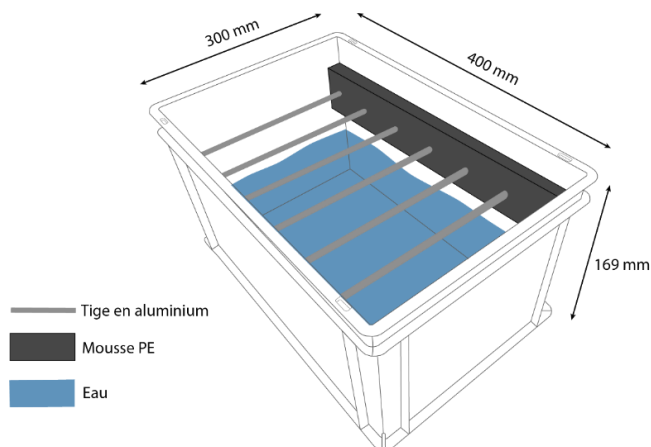


Figure 16 : Conditionnement pour les sachets Minigrip™

125 x 100 mm

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

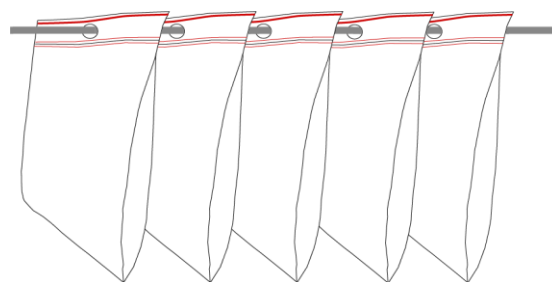


Figure 17 : Sachets Minigrip™ percés suspendus au tube en aluminium

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

<sup>147</sup> Entretien le 06.07.20 avec M. David Cuendet, conservateur-restaurateur au MCAHL.

<sup>148</sup> Evéha, 2015, p.1.

<sup>149</sup> Guyon, 2010, p.26.

<sup>150</sup> Entretien le 30.06.20 avec Mme Gaëlle Liengme, conservatrice-restauratrice au Musée national suisse.

En s'inspirant de ce modèle, le conditionnement pour des objets de petits formats (contenus dans un sachet de 125 x 100 mm) peut se faire de la manière suivante :

1. Scier des tubes en aluminium de 1cm de diamètre pour obtenir des tiges de 27 cm de longueur.
2. Découper deux mousses PE noires au format 40 cm x 4 cm x 4 cm.
3. En fonction du nombre de tubes désirés, découper des entailles de 0.6 cm x 2.5 cm x 2 cm dans chacune des mousses afin de venir y insérer les tubes (Cf. Figure 18).

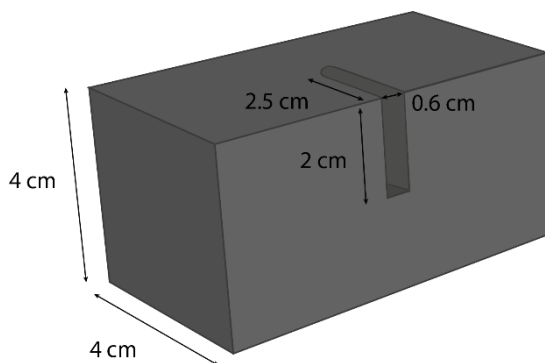


Figure 18 : Schéma d'une entaille dans la mousse PE pour accueillir un tube en aluminium

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

4. Coller les mousses à la colle chaude sur les longueurs de la caisse en laissant 1.5 cm de marge en haut pour le couvercle.
5. Si les sachets Minigrip™ ne sont pas percés, réaliser des trous avec une perforatrice. L'entaille ou l'ouverture permettant d'insérer le tube peut aussi se faire au scalpel au centre de la partie supérieure.
6. Une fois sur le site de fouille, remplir la moitié de la caisse d'eau et insérer les sachets sur les tubes.
7. Remettre le couvercle pour garder le conditionnement à l'abri de la lumière.

Ce conditionnement permet non seulement d'organiser le rangement des vestiges et de les maintenir en eau, mais aussi, de réduire les contraintes physiques induites par l'empilement des sachets dans une caisse. De plus, si la caisse est transportée, les mouvements et chocs pouvant provoquer des dégâts sont amoindris.

Si les objets n'entrent pas dans les différents formats de Minigrip™, ils peuvent être disposés dans des boîtes hermétiques (Tupperware®), des bacs gerbables ou des bassins remplis d'eau. Dans le cas où plusieurs objets de ce type sont prélevés et stockés dans le même bac, les objets peuvent être individualisés en les entourant de film plastique (pas en excès sinon l'étanchéité empêche l'eau du bassin d'échanger avec le bois) et en plaçant l'étiquette contenant le N° d'inventaire entre deux couches de cellophane<sup>151</sup>.

<sup>151</sup> Evéha, 2015, p.1.

Pour le stockage des objets **difficilement manipulables** qui ont été placés sur des supports, il est idéal de les stocker dans un endroit frais et à l'abri de la lumière<sup>152</sup>. S'ils ne sont pas stockés en eau et que les conditions de fouilles ne permettent pas d'avoir de l'ombre, une couverture de survie (côté argenté vers l'extérieur) ou une feuille d'aluminium permettent de diminuer l'impact de la chaleur. L'utilisation d'une glacière peut également créer un environnement frais pour les objets de petits formats<sup>153</sup>.

Pour les objets **difficilement manipulables** qui ont été prélevés en motte, il faut vérifier régulièrement que le taux d'humidité est toujours suffisant et que des moisissures ne se développent pas. C'est une problématique souvent rencontrée si le stockage dure longtemps ou si les conditions environnementales ne sont pas assez fraîches. Ce type d'objets doit impérativement être pris en charge au plus vite dans un laboratoire pour éviter des dégâts trop importants. Au laboratoire du Musée national suisse, un mélange d'eau-éthanol (30 : 70) est vaporisé sur les mottes dans le cas de moisissures ou de façon préventive<sup>154</sup>.

### **Note 3**

Concernant **les bassins et les bacs** remplis d'eau :

- Changer l'eau régulièrement pour éviter les développements de microorganismes et évacuer les minéraux ainsi que la flore<sup>155</sup>.
- Vérifier que le niveau d'eau ne baisse pas, rajouter de l'eau si nécessaire.
- Suivre l'état sanitaire des bacs<sup>156</sup>.

Concernant **les emballages et conditionnements** :

- S'assurer que l'emballage soit intact et étanche.
- Vérifier que le conditionnement soit saturé en humidité, réhumidifier si nécessaire.
- Contrôler l'état de conservation des objets et surveiller les développements fongiques.

**Rappel** : Les vestiges doivent être rapatriés le plus rapidement possible de la fouille et amenés dans un laboratoire de conservation-restauration afin d'être traités<sup>157</sup>.

**Rappel** : Conserver les objets dans un endroit frais (entre 5°C et 18°C idéalement) et à l'abri de la lumière<sup>158</sup>.

<sup>152</sup> DRASSM, 2011, p.4.

<sup>153</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2016, p.8.

<sup>154</sup> Entretien le 30.06.20 avec Mme Gaëlle Liengme, conservatrice-restauratrice au Musée national suisse.

<sup>155</sup> Entretien le 23.06.20 avec M. Loïc Caillat, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.

<sup>156</sup> Ce procédé permet de réduire les échanges avec l'oxygène et diminuer le développement de microorganismes.

<sup>157</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2019, p.23.

<sup>158</sup> Evéha, 2015, p.2.

## 5 Méthodes de conservation en laboratoire

Une fois rapatriées de la fouille, les collections archéologiques en bois gorgé d'eau sont prises en charge par les conservateurs-restaurateurs en laboratoire. Les objets vont bénéficier d'interventions de conservation préventive et curative et vont pouvoir être stabilisés par des consolidations et des restaurations. Depuis la deuxième moitié du 19<sup>e</sup> siècle, différents traitements de stabilisation concluants sont mis en pratique pour sauvegarder les bois gorgés d'eau<sup>159</sup>. Ceux-ci visent à consolider le bois au moyen d'un autre matériau, généralement le *polyéthylène-glycol* (PEG), afin de pouvoir en extraire l'eau sans provoquer l'effondrement des cellules<sup>160</sup>. On trouve actuellement plusieurs méthodes de traitement qui le permette comme :

- Le procédé *PEG à saturation-séchage contrôlé*
- Le procédé *PEG-lyophilisation*
- La *méthode alcool-éther-résine*

Ces traitements étant chronophages et requérant une logistique particulière, il peut se passer des mois voire des années avant qu'une intervention de stabilisation puisse être réalisée. Les étapes précédant la restauration représentent une part importante de la chaîne archéologique des objets, car si des mesures adaptées ne sont pas prises, des dégâts importants peuvent survenir durant cette attente parfois indéterminée.

Ci-dessous sont décrites quelques méthodes utilisées fréquemment en laboratoire de conservation-restauration pour le stockage et le nettoyage des objets. La succession de toutes les étapes de traitement se trouvera dans le protocole de conservation pour le SAEF<sup>161</sup>.

### 5.1 Stockage provisoire

Lorsque les objets arrivent au laboratoire, ils vont être stockés en attendant de pouvoir être traités. Le risque de ce stockage est que, les objets étant humides ou dans un milieu liquide, ils sont rapidement sujets à des développements de microorganismes. Pour amoindrir leur prolifération, l'idéal est de disposer les objets dans une chambre froide aux environs des 4°C. Cependant, malgré que l'action du froid permette de ralentir le développement fongique, elle ne permet pas de tuer entièrement la flore microbienne. En effet, celle-ci peut résister à de très basses températures<sup>162</sup>. Il faut également retirer les bandes de crêpe en coton et réaliser un emballage avec du film plastique pour éviter les moisissures. Un deuxième risque pour les objets qui sont **emballés** et non entreposés en eau est qu'ils peuvent débuter le processus de séchage. En effet, si l'emballage n'est pas parfaitement étanche ou si l'humidité relative n'est pas assez élevée, une déshydratation peut avoir lieu. Au ASB, la chambre froide contenant

---

<sup>159</sup> Michel, 1999, p.21.

<sup>160</sup> Hamilton, 1999, p.24.

<sup>161</sup> Cf. Annexes, Protocole de conservation pour le SAEF, p.70-100.

<sup>162</sup> Entretien téléphonique le 23.06.20 avec M. Loïc Caillat, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.

les objets gorgés d'eau a une humidité relative de 80%<sup>163</sup> afin de restreindre ce risque de dessiccation du bois.

Concernant les objets **contenus en eau**, il est possible de changer l'eau des bacs lorsqu'ils arrivent de la fouille et de la remplacer par de l'eau déminéralisée. Cette eau adoucie permet notamment d'extraire les excès de sels minéraux contenus dans le bois et d'ainsi éviter les efflorescences calcaires par la suite (Cf. 5.2.2)<sup>164</sup>.

Il s'agit de méthodes de **stockage provisoire**, même si les risques peuvent être réduits par une basse température, une humidité élevée et un suivi régulier, ces conditions de conservation doivent rester le plus temporaires possible. Les recommandations de suivi et d'entretien sont similaires à celles du stockage in situ (Cf. Note 3, p.29).

## 5.2 Interventions curatives

### 5.2.1 Nettoyage mécanique

Une fois rapatriés au laboratoire, les objets peuvent être nettoyés sous la supervision d'un conservateur-restaurateur. Suite à l'extraction d'un vestige de son milieu d'enfouissement, il est fréquent que du sédiment recouvre encore en partie l'objet. Un nettoyage permet donc de révéler l'objet, mais aussi, de réduire les risques de prolifération bactérienne dont la terre est souvent le substrat. Cependant, avant de réaliser un dégagement et un nettoyage, il faut veiller à ce que le sédiment n'assure pas la cohésion et la stabilité de l'objet si celui-ci est fragile.

Pour retirer les résidus de terre, plusieurs moyens de nettoyage mécanique peuvent être mis en œuvre :

- Nettoyage sous eau courante : à la main, à l'éponge, au pinceau et brosse douce ou à l'aide d'outils en bois (ou en plastique). Le bois gorgé d'eau étant un matériau ayant une faible résistance mécanique, il faut être très délicat afin d'éviter l'abrasion ou la déformation des vestiges. Il faut essayer de limiter la manipulation au maximum et ne pas employer d'outils métalliques<sup>165, 166</sup>.
- Nettoyage au moyen d'un aérographe pulvérisant de l'eau ou d'un karcher à vapeur d'eau (pour les objets grands formats)<sup>167</sup>. Il faut pouvoir régler le débit d'eau éjectée afin de pouvoir adapter l'action abrasive en fonction de la fragilité de l'objet.

---

<sup>163</sup> Entretien le 10.07.20 avec Mme Friederike Moll-Dau, conservatrice-restauratrice au ASB.

<sup>164</sup> Entretien téléphonique le 23.06.20 avec M. Loïc Caillat, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.

<sup>165</sup> Berducou, 1990, p.246-249.

<sup>166</sup> Entretien téléphonique le 14.04.20 avec Mme Gwenaëlle Lemoine, conservatrice-restauratrice au laboratoire L'Arc Antique.

<sup>167</sup> Entretien le 06.07.20 avec M. David Cuendet, conservateur-restaurateur au MCAHL.

#### **Note 4**

- **Retirer** au plus vite les restes de sédiment pour éviter les développements de microorganismes et de bactéries. À condition que le sédiment n'ait pas une fonction de maintien pour l'objet !
- Si le nettoyage s'effectue hors de l'eau, veiller à ce l'objet **reste constamment humide**.
- Si le nettoyage dure plusieurs jours, humidifier les objets et stocker dans un frigo entre les interventions.

### 5.2.2 Bains de lessivage

Les bains de lessivage n'ont pas comme fonction première de retirer les dépôts superficiels à la surface des objets, mais plutôt d'évacuer au maximum les sulfures/oxydes de fer et la flore accumulés en milieu d'enfouissement<sup>168</sup>.

Au ASB, tous les objets en bois gorgé d'eau passent par une période de lessivage. Les bains se font dans de l'eau déminéralisée afin d'inhiber le risque d'efflorescences calcaires, de réduire l'utilisation de biocide et d'accroître l'échange osmotique entre le bois et l'eau du bassin. Effectivement, cette eau adoucie étant déchargée de ses minéraux, les sels minéraux contenus dans le bois vont se retirer dans le milieu à plus faible concentration jusqu'à trouver un équilibre<sup>169, 170</sup>. Ce phénomène peut se mesurer en contrôlant la conductivité électrique de l'eau grâce à un conductimètre. La conductivité va accroître de par l'augmentation de la quantité de sels minéraux suite à leur extraction du bois<sup>171, 172</sup>.

Même si les bois gorgés d'eau issus de milieux marins sont plus fortement impactés par cette problématique, ceux provenant de milieux terrestres et subaquatiques sont tout de même concernés. Effectivement, comme cité au point 3.3.2, les eaux de ces environnements sont chargées en sels minéraux dissous ou en suspension qui vont être absorbés par le bois. Ceux-ci, ainsi que la charge microbiologique, peuvent par la suite être source de dégradations et influencer les traitements de conservation-restauration<sup>173</sup>. Par conséquent, un lessivage permet de retirer la majorité de ces résidus et d'éviter des complications ultérieures.

---

<sup>168</sup> Lemoine *et al.*, 2019, p.9.

<sup>169</sup> Entretien le 10.07.20 avec Mme Friederike Moll-Dau, conservatrice-restauratrice au Service archéologique du canton de Berne.

<sup>170</sup> Entretien téléphonique le 23.06.20 avec M. Loïc Caillat, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.

<sup>171</sup> Reboul, 2009, p.10.

<sup>172</sup> DRASSM, 2011, p.2.

<sup>173</sup> Hamilton, 1999, p.24.

Pour mettre en œuvre un bain de lessivage tout en réduisant la prolifération de bactéries et en maintenant une bonne qualité de l'eau, plusieurs méthodes peuvent être employées et combinées :

- Le renouvellement fréquent de l'eau des bains (1 à 2 fois par mois)<sup>174</sup>
- L'ajout d'un biocide dans le liquide
- La mise en place d'un système de stabilisation de l'eau

Concernant le dernier point, divers systèmes de traitement de l'eau peuvent être installés dans les laboratoires de conservation-restauration pour les bains de lessivage et parfois d'imprégnation au PEG :

- **L'oxygénation des bains** : la mise en place d'un système d'aération des bains, avec un bullage par exemple, permet d'empêcher la prolifération de la flore anaérobie et la formation de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ )<sup>175, 176</sup>. De plus, l'installation d'une pompe dans le bassin augmente la rapidité de la dessalaison des matériaux<sup>177</sup>.
- **L'utilisation d'un réacteur UV** : l'installation d'un réacteur UV permet la décontamination des bactéries aérobies dans les bains. Les rayons UV vont altérer l'ADN des microorganismes et empêcher ainsi leur prolifération<sup>178</sup>.



Figure 19 : Bain dont l'eau est traitée avec un système d'oxygénation et de rayons UV

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, DABC à Lucens - MCAHL



Figure 20 : Bain qui n'a pas encore été mis sous traitement de l'eau

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, DABC à Lucens - MCAHL

<sup>174</sup> Entretien téléphonique le 23.06.20 avec M. Loïc Caillat, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.

<sup>175</sup> Ibidem.

<sup>176</sup> Caillat, 2015, p.115.

<sup>177</sup> Reboul, 2009, p.10.

<sup>178</sup> Office fédéral de la santé publique (OFSP), 2011, p.58.



Le laboratoire du Musée national suisse et celui du Musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne (Cf. Figures 19-20) ont mis en place ces différents systèmes de stabilisation de l'eau pour les bois avant imprégnation au PEG. Au Musée national suisse, le matériel nécessaire à cette installation est le suivant<sup>179</sup> :

Matériel	Fournisseur	N° d'article	Prix (CHF)
Réacteur UV	Hornbach	8895910	105
Pompe à eau	Qualipet	203442	24.90
Pompe à air	Qualipet	12150	57.20
		203679	39.50
Tuyaux	Qualipet	G9685756	0.70/m
Diffuseurs d'air	Qualipet	203603	1.90
			<b>Coût total : 229,2</b>

Tableau 1 : Coûts pour des installations pour le traitement de l'eau au Musée national suisse

Celui-ci représente un investissement financier, mais pourrait être mis en place au SAEF dans les bacs utilisés pour le traitement d'imprégnation au PEG<sup>180</sup>. De plus, les pompes à air pourraient également être utilisées pour les bains d'imprégnation au PEG.

Il serait intéressant d'ajouter les bains de lessivage comme une étape systématique pour le bois gorgé d'eau du SAEF afin de réduire l'impact des microorganismes et des résidus de sels minéraux.

#### **Note 5**

Une turbidité élevée est signe d'**anomalie** ! Lorsque l'eau est trouble, il faut la changer et désinfecter les bacs avec de l'éthanol. De plus, il est **nécessaire que l'eau soit claire** pour que les traitements de l'eau (UV) soient efficaces<sup>181, 182</sup>.

<sup>179</sup> Entretien le 30.06.20 avec Mme Gaëlle Liengme, conservatrice-restauratrice au Musée national suisse.

<sup>180</sup> Cf. Annexes, Figure 33, p.63.

<sup>181</sup> Office fédéral de la santé publique (OFSP), 2010, p.58.

<sup>182</sup> Entretien téléphonique le 23.06.20 avec M. Loïc Caillat, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.

### 5.3 Stockage définitif et conservation préventive

Suite aux traitements de stabilisation et de restauration, les objets en bois secs sont conditionnés et stockés en réserves. De plus, une fois que l'objet a été traité, l'étude scientifique ainsi qu'une documentation peuvent être réalisées maintenant que le bois est dans un état plus stable. Cependant, les objets restent fragiles et demandent une manipulation délicate et un conditionnement adapté. Celui-ci a pour objectif de protéger l'objet des chocs et vibrations, de diminuer l'impact de l'environnement et de faciliter/limiter la manipulation. Il est recommandé d'utiliser des matériaux inertes et stables chimiquement afin d'éviter des interactions physico-chimiques avec les objets (mousse en polyéthylène, carton non acide, non-tissé de fibres de polyéthylène Tyvek™...).

Le bois échange constamment avec son milieu pour atteindre un équilibre hygroscopique et le PEG utilisé pour la consolidation est lui-même un matériau hygroscopique qui risque de se réhumidifier et de faire suinter la surface du bois si l'humidité dépasse les 70%. Par conséquent, il est nécessaire que les conditions thermohygrométriques soient stables et fassent l'objet d'un contrôle attentif. Idéalement, il faudrait maintenir une température en **18°C et 25°C**, et un taux d'humidité relative entre **50% et 55%** idéalement.

Un autre facteur de dégradation auquel il faut être attentif lors du stockage définitif, c'est la lumière. En effet, si les sources de lumière émettent des rayons ultraviolets, les liaisons chimiques du bois peuvent être altérées ce qui provoquerait une perte de résistance mécanique et une décoloration. Si la lumière est source de rayons infrarouges, cette émission de chaleur va participer à la déshydratation du bois et donc à des fissures ou des déformations. Il est recommandé de ne pas dépasser les **150 lux**<sup>183, 184</sup>.

## 6 Gestion du mobilier en bois gorgé d'eau au SAEF

### 6.1 Objectifs de conservation

In situ, les objets ne pouvant pas toujours être tous pris en charge, le responsable de fouille va effectuer un tri et une sélection des vestiges en fonction de leur objectif de conservation, c'est-à-dire de la finalité de l'objet (analyse, conservation, exposition...). Cet objectif de conservation est défini sur la base des critères de prélèvement et va conditionner la suite des interventions. En effet, le bois contient des données archéologiques exceptionnelles notamment parce qu'il peut faire l'objet de *datations par le carbone-14* (<sup>14</sup>C) ou de datations par dendrochronologie<sup>185</sup>. Et si les moyens financiers le permettent,

---

<sup>183</sup> Chaumat *et al.*, 2017, p.13-14.

<sup>184</sup> Lemoine *et al.*, 2019, p.9.

<sup>185</sup> UNESCO, 1984, p.37.

ces différentes méthodes d'analyse peuvent être utilisées afin de se renseigner davantage sur la nature d'un site.

Un vestige en bois pour analyse requiert des mesures différentes d'un objet qui est stabilisé et conservé. Par exemple, un objet qui doit être daté par le carbone-14 ne doit surtout pas être en contact avec des fongicides, car ceux-ci pourraient fausser les résultats de l'analyse<sup>186</sup>. Définir un objectif de conservation permet donc de suivre une chaîne archéologique conforme à la finalité de l'objet et de sélectionner les méthodes de conservation adaptées.

## 6.2 Distinction du type de mobilier

### 6.2.1 Problématique

La problématique rencontrée au SAEF lors de l'arrivée des objets au laboratoire est que la finalité de l'objet n'est pas systématiquement spécifiée. Les objets sont donc stockés provisoirement en attendant que le responsable de fouille transmette l'objectif de conservation à la conservatrice-restauratrice en charge du mobilier organique. La communication entre les archéologues et les conservateurs-restaurateurs permet de pallier ce manque, mais idéalement, il faudrait que cette information soit transmise avec l'objet afin de faciliter la planification des interventions de conservation-restauration et de réduire le temps de stockage provisoire ainsi que le risque de dégradation.

Ce problème réside notamment dans le fait que le fichier d'inventaire Excel prévu à la récolte de données sur site propose différents termes génériques pour classer le mobilier, mais que ceux-ci ne permettent pas aux archéologues de faire une distinction des différents cas de figure qu'on rencontre avec le bois gorgé d'eau. Actuellement, le fichier d'inventaire Excel utilisé par les archéologues permet uniquement de différencier les types de mobilier appelés « type d'inventaire » suivant :

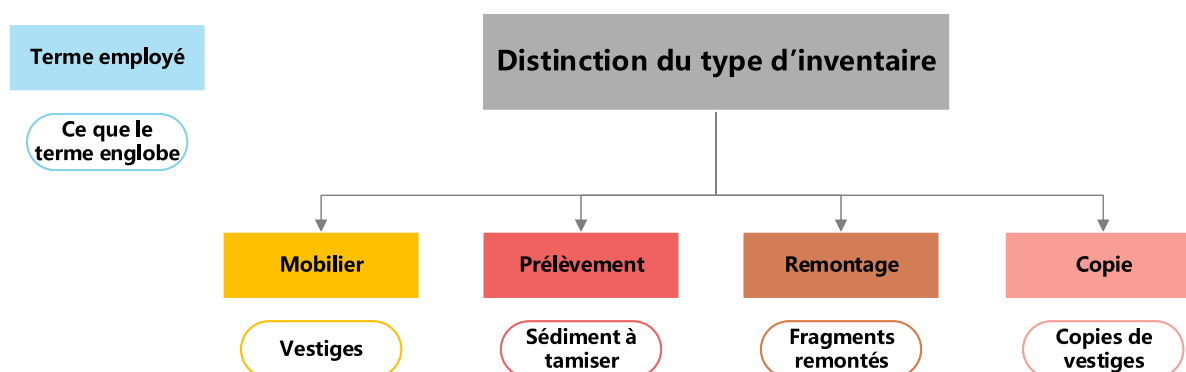


Figure 21 : Distinction du type d'inventaire au SAEF actuellement

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

<sup>186</sup> UNESCO, 1984, p.92.

Le terme « mobilier » au sein du SAEF est très large et ne permet pas de distinguer les cas de figure rencontrés dans la gestion du bois gorgé d'eau :

- Bois qui ont été extraits dans le but d'être analysés, mais pas conservés.
- Bois sujets à l'analyse, mais qui nécessitent d'être traités ou stockés pour une conservation ultérieure.
- Bois mis au jour dans le but d'être conservés sans besoin d'analyses.

Pourtant, ces catégories ne devraient pas être traitées de la même manière étant donné que les objectifs de conservation sont différents.

Par conséquent, pour faciliter la gestion du mobilier en bois gorgé d'eau, il faudrait trouver un moyen de spécifier ces types de mobilier organique plus précisément dans l'inventaire et définir une étape dans la chaîne opératoire pour effectuer cette distinction.

### 6.2.2 Précision du vocabulaire

Dans le but de pouvoir établir un tri et un inventaire des bois gorgés d'eau, il est indispensable de réfléchir au vocabulaire employé au sein de l'institution. Actuellement les termes « échantillon », « prélèvement » et « mobilier » sont employés à diverses fins ce qui peut induire des malentendus et une documentation hétérogène.

Dans ce travail, une terminologie spécifique à la gestion du mobilier organique au SAEF est proposée afin de faciliter les interventions et d'homogénéiser le vocabulaire.

- **Prélèvement** : Malgré que ce terme soit employé pour définir l'extraction d'un objet de son milieu, dès qu'il s'agit d'un type d'inventaire, le prélèvement désigne une masse de sédiments qui fera l'objet d'un tamisage.
- **Échantillon** : L'échantillon désigne un matériau destiné à l'analyse ou à une datation. Il peut s'agir d'un écofact, ou d'un fragment d'artefact. L'échantillonnage consiste en l'extraction d'un fragment d'un objet afin d'en faire examiner cette partie. Dans le cas de pilotis, l'échantillon représente la rondelle sciée pour dendrochronologie.
- **Mobilier** : Le mobilier est un terme utilisé pour les artefacts et vestiges en bois qui ont pour vocation d'être conservés et stabilisés. Ceux-ci font l'objet de traitement de conservation-restauration. Dans l'éventualité d'une analyse sur un objet qui doit être conservé, un échantillonnage peut être effectué. Le fragment extrait devient alors un « échantillon » et le reste de l'objet est toujours classé comme « mobilier ».

### 6.2.3 Étape de la distinction

Afin d'optimiser la chaîne archéologique des vestiges en bois gorgés d'eau, différents termes pourraient être ajoutés aux types d'inventaire du fichier d'inventaire Excel afin d'englober tous les cas de figure et de faire la distinction in situ par les archéologues.

Pour ce faire, nous proposons d'ajouter le type d'inventaire « Échantillon datation » pour les bois qui devraient faire l'objet d'une datation par  $^{14}\text{C}$  ou par dendrochronologie et le type d'inventaire « Échantillon analyse » pour les bois gorgés d'eau destinés par exemple à la détermination d'essence.

Cette proposition amènerait à la configuration suivante :

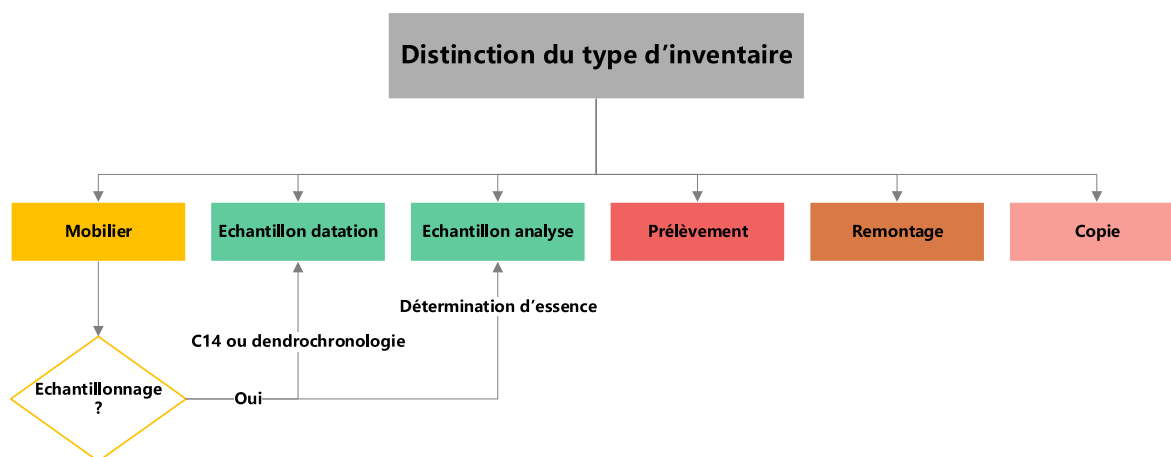


Figure 22 : Proposition d'ajout de types d'inventaire dans le fichier d'inventaire Excel

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

Les objets enregistrés sous « mobilier » peuvent également être sujet à des analyses ou à une datation. Pour ce faire, un échantillonnage est réalisé et les échantillons prélevés deviennent ensuite « échantillon datation » ou « échantillon analyse » selon la finalité de l'objet.

Cette solution permettrait de définir déjà **sur le chantier de fouille archéologique** si l'objet découvert doit être désigné pour une analyse, une datation ou pour un traitement de conservation-restauration. Ainsi, lorsque le fichier d'inventaire est importé dans la base de données au moment de l'arrivage au laboratoire, la conservatrice-restauratrice en charge du mobilier organique connaît l'objectif de conservation et sait quelles mesures prendre. De plus, bien qu'elles aient été réfléchies pour la gestion du bois gorgé d'eau, ces catégories pourraient s'étendre pour l'inventaire d'autres matériaux :

- Échantillon datation :  $^{14}\text{C}$  (bois, os, charbon...), dendrochronologie (bois).
- Échantillon analyse : Détermination d'essence, analyse isotopique, palynologie, carpologie, analyse de pâte céramique, etc.<sup>187</sup>

<sup>187</sup> Entretien le 20.08.20 avec M. Rocco Tettamanti, chef de secteur, support technique (collections, documentation et valorisation) au SAEF.

## 6.3 Chaîne opératoire des fouilles aux réserves

### 6.3.1 Problématique

Actuellement, le SAEF possède une chaîne opératoire générale pour la conservation-restauration de tous les matériaux pris en charge par le laboratoire, mais il n'y a pas de lignes directrices spécifiques à la gestion du bois gorgé d'eau. Ce matériau ayant une sensibilité particulière, il ne peut pas être traité au même titre qu'un matériau inorganique. Par exemple, une des préoccupations principales durant le processus de conservation du bois gorgé est qu'il se fasse de manière continue et sans rupture du cycle de l'eau. Si les emballages ne sont pas parfaitement étanches, pas assez humides ou si les objets ne sont pas stockés au frais au moment de l'arrivage, cela peut engendrer des dégradations importantes comme le séchage ou le développement de moisissures.

Le bon déroulement du processus de conservation est dépendant de la bonne collaboration entre les différents intervenants, de la logistique des interventions et de la mise en place d'une méthodologie directrice pour chaque étape. Comme expliqué au point 6.2.1, la fluidité des procédés peut également être impactée par le manque d'informations sur la finalité de l'objet ou par l'hétérogénéité des propos.

### 6.3.2 Propositions d'améliorations

Le SAEF cherche à formaliser et améliorer les pratiques en vigueur pour tous les types de mobilier afin d'avoir une ligne directrice commune pour tous les intervenants. Ce travail de mémoire s'insère dans cette démarche et cherche à proposer des modifications envisageables pour l'institution concernant la gestion des vestiges en bois gorgé d'eau. Ces propositions résultent de diverses recherches, visites et entretiens où différentes chaînes archéologiques et méthodes de conservation ont pu être étudiées<sup>188</sup>.

Pour optimiser le chemin de l'objet, il faut dans un premier temps comprendre le fonctionnement du SAEF et identifier les procédés concluants qui nécessitent uniquement d'être formalisés sous forme écrite. Ensuite, grâce aux entretiens et à la documentation bibliographique, il est possible d'élargir ou modifier les techniques employées et de proposer de nouvelles étapes de traitement. Cette réflexion amène à la détermination d'une chaîne archéologique formelle qui englobe les cas de figure les plus fréquents dans la gestion du bois gorgé d'eau au SAEF. L'objectif est d'officialiser les différentes étapes constituant la chaîne opératoire, mais également de proposer des paliers pour prendre les décisions influant sur le traitement.

---

<sup>188</sup> Cf. Annexes, Tableau 2, p.64-65.

Suite à l'étude des méthodes de conservation au sein des institutions patrimoniales, les techniques suivantes pourraient être mises en place au SAEF et ajoutées au processus de conservation :

- Le prélèvement des objets fragiles sur des plaques de polypropylène ou avec des bandes de crêpe en coton.
- Le système d'accrochage des sachets Minigrip™.
- Le stockage des objets dans de l'eau déminéralisée au laboratoire.
- La mise en place des bains de lessivage comme une étape systématique.
- Le traitement des eaux pour les bains de lessivage.

Finalement, l'ensemble des étapes ainsi que les recommandations associées ont été regroupées sous la forme d'un protocole de conservation destiné aux intervenants au sein du laboratoire de conservation-restauration (LCR). Ce document permet de reprendre des éléments de ce mémoire (schémas, textes) et de synthétiser les différentes possibilités d'interventions, les gestes à adopter et les prescriptions pour favoriser une conservation optimale des vestiges en bois depuis le chantier de fouille archéologique jusqu'aux réserves<sup>189</sup>. De plus, la conception d'un protocole de conservation a également permis de réfléchir aux ressources matérielles nécessaires pour la préservation des objets en bois gorgés d'eau<sup>190</sup>.

Le contenu de ce protocole a ensuite été résumé pour les archéologues in situ selon le modèle de guide pratique utilisé au SAEF. Celui-ci regroupe les principes de bases pour la conservation des bois gorgés d'eau sur le chantier de fouille archéologique<sup>191</sup>.

## 7 Discussion

La réflexion sur la chaîne archéologique actuelle des bois gorgés d'eau au sein du SAEF m'a permis, en collaboration avec le personnel du SAEF, de réfléchir à la gestion de ce mobilier ainsi qu'aux méthodes employées puis d'émettre des propositions d'améliorations pour optimiser ce processus. Les problématiques principales identifiées par ce travail étaient que le chemin de l'objet n'était pas formel au sein de l'institution et que les types d'inventaire n'étaient peut-être pas suffisamment précis.

Les propositions d'améliorations émises suite à l'étude sont les suivantes :

1. Ajouter des champs d'entrée dans le fichier d'inventaire Excel des archéologues afin de permettre la distinction de types d'inventaire adaptés à la gestion du mobilier en bois gorgé d'eau.
2. Redéfinir les termes « prélèvement », « échantillon » et « mobilier » au sein du SAEF.
3. Proposer des méthodes de conservation qui n'étaient pas employées au SAEF.

---

<sup>189</sup> Cf. Annexes, Protocole de conservation pour le SAEF, p.70-100.

<sup>190</sup> Cf. Annexes, Tableau 3, p.66-69.

<sup>191</sup> Cf. Annexes, Fiche pratique pour les archéologues, p.101.

4. Proposer une chaîne opératoire du chantier de fouilles archéologiques jusqu'aux réserves qui permette de définir un objectif de conservation in situ (Cf. Figure 23).
5. Proposer une gestion du mobilier in situ spécifique au mobilier pour conservation (Cf. Figure 24).

La difficulté de ce travail a été non seulement de recenser une part des méthodes existantes, mais aussi d'évaluer si celles-ci pouvaient être adaptées pour la gestion du mobilier en bois gorgé d'eau au SAEF. Tous les cas de figure et toutes les méthodes n'ont pas pu être étudiés et présentés, mais cette étude a permis d'identifier quelques problématiques récurrentes et de proposer en fonction une chaîne opératoire continue pour le SAEF en prenant en compte l'implication et les contraintes des différents intervenants. La chaîne archéologique sous forme de logigramme est un moyen de résumer les étapes indispensables et les différents chemins de décision pour faciliter la gestion du mobilier au SAEF car il est possible de suivre les diverses étapes selon l'objectif de conservation.

Les résultats de ce travail sont proposés à la suite d'observations et d'une analyse des méthodes de conservation. Il a fallu faire une sélection des techniques et principes à présenter, car il y a beaucoup de documentation et de différents points de vue sur le sujet. Dans le temps imparti pour ce travail il était donc impossible de décrire toutes les méthodes. Il aurait également pu être intéressant de mettre en relation les différentes méthodologies étudiées dans les institutions patrimoniales, toutefois étant donné que mon travail consiste en l'amélioration de la gestion du mobilier au SAEF, il a été choisi de mener des entretiens semi-directifs afin de discuter des techniques de conservation plutôt qu'une enquête qui mènerait à une étude comparative des différentes méthodologies.

Les propositions soumises dans ce travail ont été discutées avec Mme Emmanuelle Forster et M. Rocco Tettamanti et évaluées dans leur possible mise en œuvre au SAEF. Ce travail nécessite encore une réflexion à l'interne pour sa mise en pratique concrète.



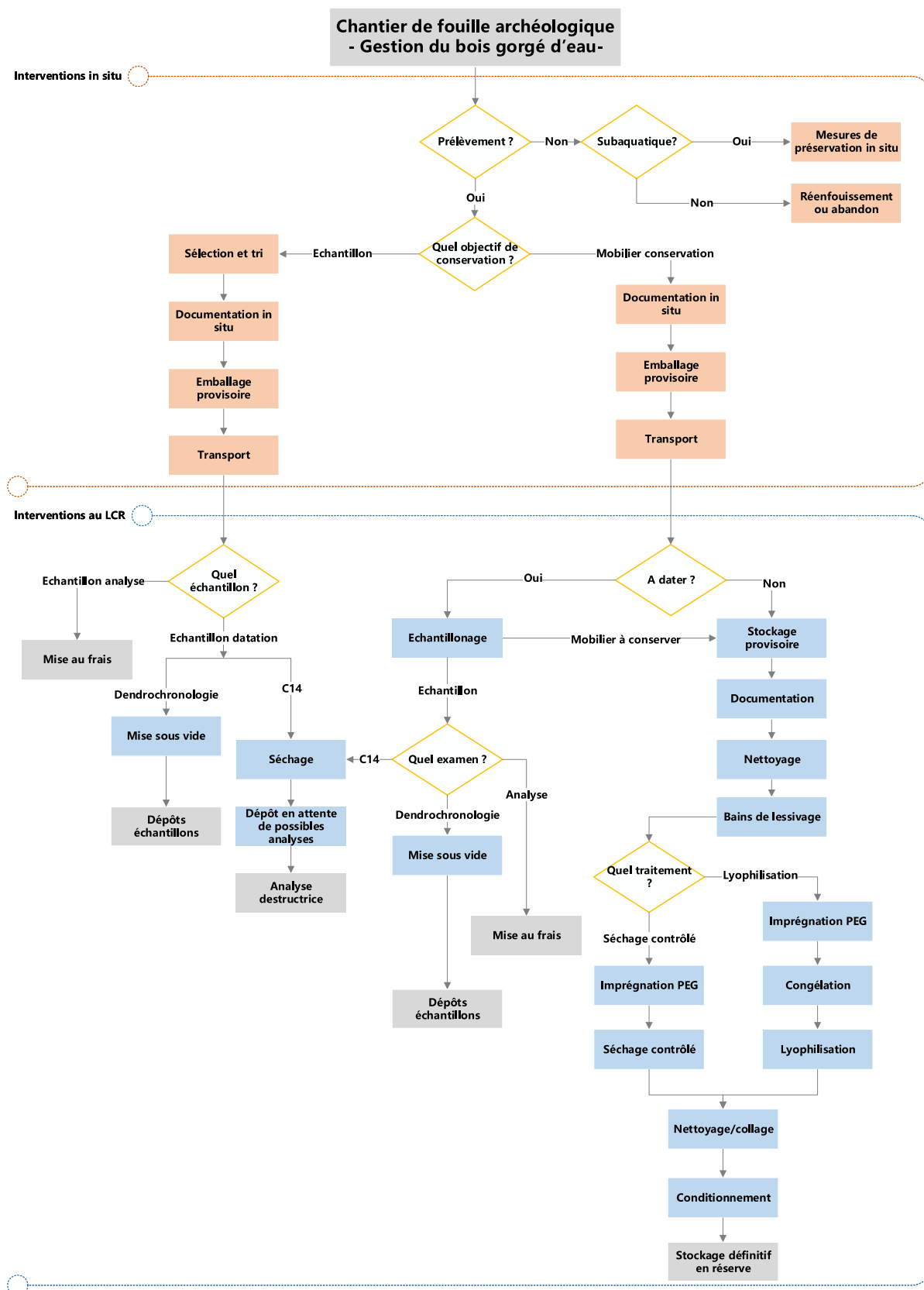


Figure 23 : Formalisation et modification de la chaîne archéologique des bois gorgés d'eau au SAEF

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

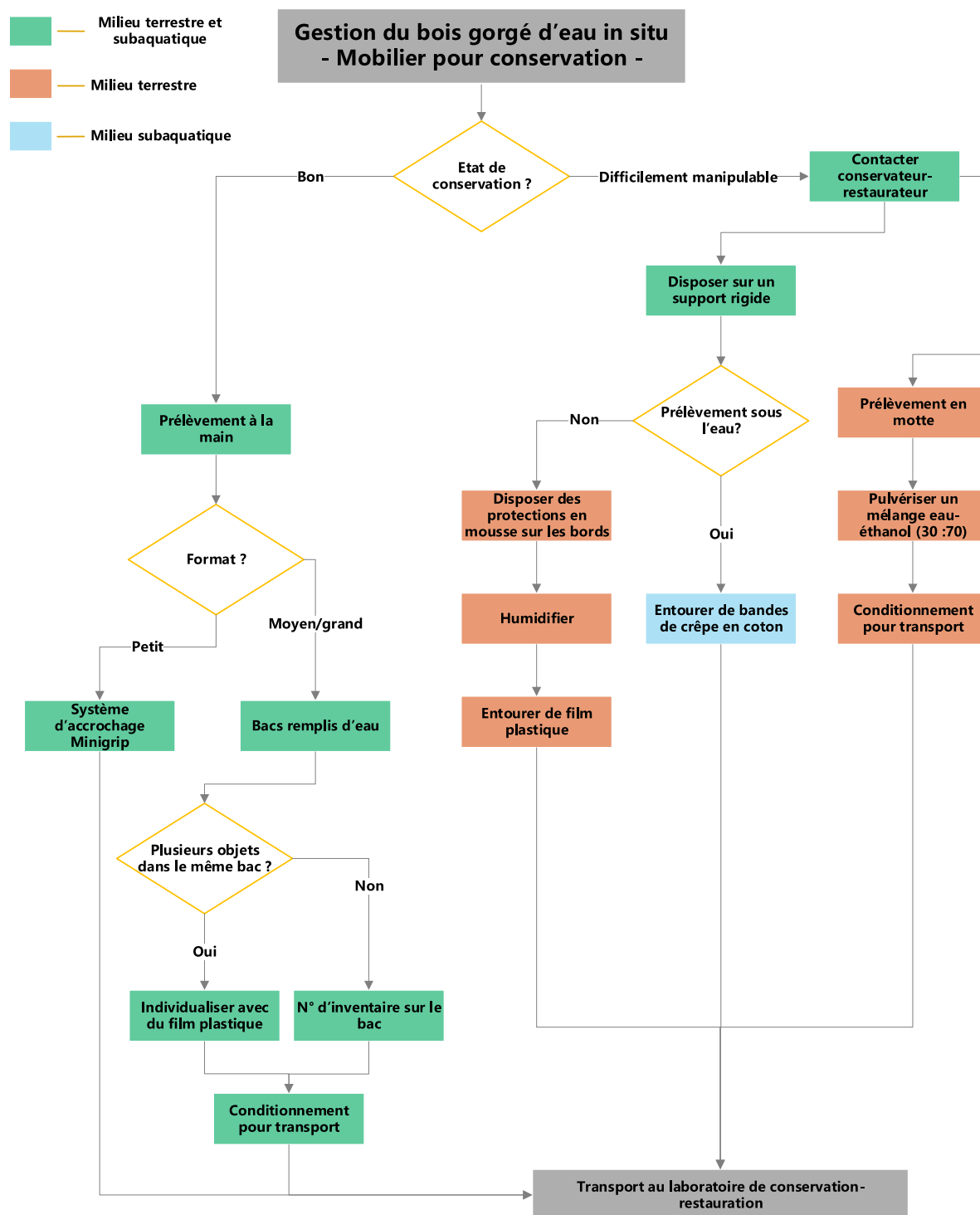


Figure 24 : Chaîne opératoire et prises de décisions in situ spécifique au mobilier pour conservation

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

## 8 Conclusion

Les résultats obtenus durant ce travail de mémoire ont permis de répondre au mandat formulé par l'institution. En effet, grâce aux recherches, un protocole de conservation ainsi qu'une fiche synthétique ont pu être développés selon les normes du SAEF et une partie des connaissances sur la conservation des bois gorgés d'eau a pu être réunie et présentée.

Le protocole permet la proposition d'une chaîne opératoire pour les bois gorgés d'eau depuis le chantier de fouille jusqu'aux réserves ainsi que des recommandations pour chaque étape du processus. Même si la gestion du mobilier en bois gorgé d'eau doit être adaptée au cas par cas, ce travail de recherche et de synthèse donne à l'institution une ligne directrice pour la gestion de ce mobilier particulier et favorise ainsi la continuité du système.

Grâce aux entretiens avec le personnel, j'ai pu avoir accès à une grande quantité d'informations et avoir le point de vue de divers spécialistes qui collaborent au sein de l'institution. Pour garantir la fluidité de la chaîne archéologique il est nécessaire de définir l'objectif de conservation in situ, mais aussi d'établir une communication permanente et qualitative entre les archéologues, les conservateurs-restaurateurs et autres collaborateurs intervenant durant le chemin de l'objet. Une bonne pluridisciplinarité augmente la charge de travail mais assure des résultats de qualité.

Cette étude pourrait être poursuivie à l'avenir en réfléchissant aux différents traitements de stabilisation et de restauration des bois gorgés d'eau. Ceux-ci n'ont pas été exposés dans ce travail, mais font partie intégrante du processus de conservation. Les objets composites pourraient également faire l'objet d'une étude approfondie, car même si leur trouvaille est rare, il s'agit de cas complexes et particuliers dans leur prise en charge.

Ce travail de mémoire a pour moi été une expérience très enrichissante car j'ai fait des rencontres exceptionnelles avec des professionnels bienveillants et extrêmement compétents. De plus, j'ai pu approfondir un sujet qui me tenait à cœur et prendre part à la préservation du patrimoine archéologique.

## Bibliographie

### Ouvrages et articles

Anctil, François. *Hydrologie : cheminements de l'eau*. Presses internationales polytechnique, Montréal, 2007.

ARC-Nucléart. *Rapport d'activité 2017-2018*. ARC-Nucléart, Grenoble, 2019.

Berducou, Marie-Claude. *La conservation en archéologie : méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*. Masson, Paris, 1990.

Billaud, Yves et Marguet, André. « Inventaire et diagnostic des sites immergés des lacs subalpins ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.99-109. Archéologie et érosion 2.

Blumer, Reto *et al.* « 7 merveilleux projets fribourgeois ». In Archéologie suisse. *Bulletin d'Archéologie Suisse*, vol. 37, no. 2, 2014, p.8-39.

Blumer, Reto *et al.* *Unesc...eau : un label mondial pour cinq palafittes fribourgeoises*. Service archéologique, Fribourg, 2012.

Caillat, Loïc *et al.* « Régénération continue des bains de PEG utilisés pour la consolidation des bois archéologiques gorgés d'eau ». *Techne : Research in Philosophy and Technology*, no. 42, 2015, p.115-120.

Caple, Chris et Dungworth, David. *Waterlogged anoxic archaeological burial environment*. Historic Buildings and Monuments Commission for England, Swindon, 1998. Ancient Monument Laboratory, no. 22.

Chamberlin, Hanna Steyne. *Ceagrass, Sand and Marine Habitats: A sustainable future for the William Salthouse wreck*. Heritage Victoria, Melbourne, 2010.

Chaumat, Gilles *et al.* *Conservation-restauration du bois archéologique gorgé d'eau*. Techniques de l'Ingénieur, no. N4250 V1, 2017.

Chaumat, Gilles *et al.* « Les techniques actuelles de conservation mises en œuvre par ARC-Nucléart ». In Bernard-Maugiron, Henri (dir.). *Sauvé des eaux : le patrimoine archéologique en bois : histoires de fouilles et de restauration*. ARC-Nucléart, Grenoble, 2007, p.169-178.

Chaumat, Gilles. *Utilisation du procédé PEG/Lyophilisation pour traiter les bois archéologiques : Exposé du 24 Janvier 2019*. Atelier régional de conservation Nucléart, Grenoble, 2019.

Coles, John M. *Waterlogged wood: Guidelines on the recording, sampling, conservation and curation of structural wood : proceedings of a conference sponsored by WARP and English Heritage on 15 January 1990*. English Heritage, Londres, 1990. WARP occasional paper, no.3.

- Constandache, Monica. « Archéologie et érosion : une table ronde pour la sauvegarde des sites lacustres ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.7. Archéologie et érosion 2.
- Corboud, Pierre et Pugin, Christiane. « Les sites préhistoriques littoraux des lacs de Neuchâtel, de Morat et du Léman : état de conservation actuel, évolution probable et politique de gestion ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.47-55. Archéologie et érosion 2.
- Direction Régionale des Affaires Culturelles de Lorraine. *Protocole pour la conservation, le conditionnement, l'inventaire et la remise du mobilier archéologique issu des opérations préventives*. Ministère de la culture, non-daté.
- Dorthe, David. *Approvisionnement en eau potable*. Support de cours Powerpoint, Fribourg, 2019, *non publié*.
- DRASSM. *Guide de conservation*. Ministère de la culture, Marseille, 2011.
- DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart. *Guide de conservation préventive du mobilier archéologique découvert en milieu sous-marin*. DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, *non publié*.
- Duchêne, Jacques. « La conservation des bois archéologiques humides ». In Bernard-Maugiron, Henri (dir.). *Sauvé des eaux : le patrimoine archéologique en bois : histoires de fouilles et de restauration*. ARC-Nucléart, Grenoble, 2007, p.23-33.
- E. J. S. Werz, Bruno, et Seemann, Ute A. « Organic Materials from Wet Archaeological Sites: The Conservation of Waterlogged Wood ». *The South African Archaeological Bulletin*, vol. 48, no. 157, 1993, p. 37-41.
- Evéha. *Le bois (et le cuir) gorgé d'eau douce : Traitement et conservation : Procédure : du terrain à la base*. Protocole et recommandations. 2015, *non publié*.
- Fédération nationale du bois. *Le retrait du bois*. FNB, Paris, 2018.
- Flieder, Françoise et Capderou, Christine. *Sauvegarde des collections du Patrimoine : la lutte contre les détériorations biologiques*. CNRS éditions, Paris, 1999.
- Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF). *Guide de conservation pour le mobilier sensible : sur le terrain*. Guide pour le personnel intervenant. 2016, *non publié*.
- Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF). *Guide de prélèvement du mobilier sur le terrain*. Guide pour le personnel intervenant. 2019, *non publié*.
- Grattan, David W. « A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood ». *Studies in Conservation*, vol. 27, no. 3, 1982, p. 124-136.

- Guyon, Marc. « Méthodologie d'une fouille d'épaves en milieu terrestre ». In *Archaeonautica. Les épaves de Saint-Georges : Lyon : Ier-XVIIIe siècles*. Archaeonautica, 2010, vol. 16, p. 25-33.
- Hamilton, Donny L. *Methods for Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*. Center for Maritime Archaeology and Conservation, College Station, 1999.
- Heumüller, Marion. *Erosion and Archaeological Heritage Protection in Lake Constance and Lake Zurich: The Interreg IV Project 'Erosion und Denkmalschutz am Bodensee und Zürichsee'*. Conservation and Management of Archaeological Sites, Stuttgart, 2012.
- Hochuli, Stefan et. Schaeren, Gishan F. « Suivi du niveau de la nappe phréatique dans les palafittes du canton de Zoug ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.57-61. Archéologie et érosion 2.
- Horevoets, Michaël. « Les apports des sites fluviaux et lacustres ». In Horevoets, Michäel (dir.). *Archéologie des lacs et des rivières : histoire, techniques et apports en France, France et Suisse*. CEDARC, Treignes, 2017, p.208-210. Guides archéologiques du « Malgré-Tout ».
- Jasinski, Marc. « L'archéologie subaquatique : mythe ou réalité ? ». In Horevoets, Michäel (dir.). *Archéologie des lacs et des rivières : histoire, techniques et apports en France, France et Suisse*. CEDARC, Treignes, 2017, p.7-9. Guides archéologiques du « Malgré-Tout ».
- Lemoine, Gwenaëlle et al. « Les polyéthylènes glycols en conservation des matériaux organiques archéologiques ». In Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire. *Biographie de l'objet : actes des Journée des restaurateurs en archéologie organisées par le laboratoire Materia Viva Toulouse*. ARAAFU, Paris, 2019. Conservation-restauration des biens culturels, Cahier technique, no. 24.
- Maarleveld, Thijs J. et al. *Manuel pratique pour les interventions sur le patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2013.
- Manders, Martijn René. *Guideline for protection of submerged wooden cultural heritage, including cost-benefit analysis*. WreckProtect, 2011.
- Manders, Martijn René. « La protection in situ d'un navire marchand du VIIe siècle aux Pays-Bas ». In Grenier, Robert et al. *Underwater cultural heritage at risk: Managing cultural and human impacts*. Heritage at Risk, 2006, p.70-73.
- Manders, Martijn René. « Préserver in situ : l'option prioritaire ». In UNESCO. *Le patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2008, p.34-44. Museum international, no. 240.
- Mauvilly, Michel et al. « L'archéologie cantonale fribourgeoise au rythme des saisons : l'exemple du secteur Pré- et Protohistoire ». In Archéologie suisse. *Bulletin d'Archéologie Suisse*, vol. 43, no. 1, 2020, p.24-32.
- Mauvilly, Michel et Spielmann, Julien. « Opération de protection sur la station lacustre de Font/Sous l'Epenex ». *Cahiers d'archéologie fribourgeoise*, no. 15, 2013, p.110-113.

- Mesic, Jasen. « Un patrimoine ressource pour le développement durable : le cas de la Croatie ». In UNESCO. *Le patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2008, p.97-106. Museum international, no. 240.
- Mezouar, Ali. *Bases de Biologie I*. Cours BN1.2, Neuchâtel, 2018-2019, non publié.
- Michel, Claude (dir.), Conservation et restauration de deux embarcations gallo-romaines mises au jour à Yverdon-les-Bains (canton de Vaud, Suisse). Document du musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne, Lausanne, 1999.
- Mills, John S. *The organic chemistry of museum objects*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1994. Butterworth-Heinemann series in conservation and museology
- Mühletethaler, Bruno. *Conservation of waterlogged wood and wet leather*. Eyroles, Paris, 1973.
- Nutley, David. « Des sites culturels submergés : l'Ouverture d'une capsule à remonter le temps ». In UNESCO. *Le patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2008, p.34-44. Museum international, no. 240.
- Office fédéral de la santé publique (OFSP). *Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable*. Confédération suisse, Berne, 2010.
- Pétréquin, Pierre. « La protection du lac de Chalain (Fontenu, Jura, France) : dix ans après (1995-2004) ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.89-97. Archéologie et érosion 2.
- Pillier, Lise-marie. « Des archéologues fouillent des vestiges sur le site de la future halle de Grisoni-augg à Saint-Aubin : Un bâtiment romain insolite trouvé ». *La liberté*. La liberté, 2019, p.15.
- Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhéna. *Préconisations pour le traitement du mobilier*. PAIR-Archéologie, Sélestat, non daté.
- Pomey, Patrice. « Les fouilles subaquatiques, sous-marines et en milieu humide ». In Bernard-Maugiron, Henri (dir.). *Sauvé des eaux : le patrimoine archéologique en bois : histoires de fouilles et de restauration*. ARC-Nucléart, Grenoble, 2007, p.15-21.
- Proust, Clotilde. « La conservation préventive des métaux *in situ*, dialogue entre l'archéologue du terrain et le spécialiste en conservation-restauration. In Clerbois, Sébastien. *La conservation-restauration des métaux archéologiques : des premiers soins à la conservation durable*. Institut du patrimoine wallon, Namur, 2015, p.37-40.
- Ramseyer, Denis. « Protection d'un site archéologique sur la presqu'île de Greng, lac de Morat ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.38-45. Archéologie et érosion 2.

Reboul, Lila. *Conservation préventive en milieu isolé : les fouilles sous-marines des épaves de la Natière à Saint-Malo*. DRASSM, Marseille, 2008.

Reboul, Lila. *From excavation to lab : the on-site conservation of The Natière shipwrecks artifacts*. Conference on Historical and Underwater archaeology, Toronto, 2009.

Regnault, Audrey. *Étude des méthodes de conservation du mobilier archéologique en alliage ferreux : du chantier de fouille aux réserves*. Travail de mémoire, Haute-école Arc, Neuchâtel, 2019.

Richards, Vicki. *In Situ Preservation – Application of a Process-Based Approach to the Management of Underwater Cultural Heritage*. The Museum of Underwater Archeology, 2011.

Schmidt-Ott, Katharina et André, Cédric. « L'utilisation de la méthode alcool-éther-résine au Musée national suisse d'hier à aujourd'hui ». In Horevoets, Michäel (dir.). *Archéologie des lacs et des rivières : histoire, techniques et apports en France, France et Suisse*. CEDARC, Treignes, 2017, p.180-183. Guides archéologiques du « Malgré-Tout ».

Suter, Peter J. *Palafittes : candidature au Patrimoine mondial de l'UNESCO « Sites et palafittes préhistoriques autour des Alpes »*. Palafittes, Bern, 2009.

Trouy, Marie-Christine. *Anatomie du bois : formation, fonctions et identification*. Quae, Versailles, 2015. Synthèses.

Trouy, Marie-Christine et Tribulot, Pascal. *Matériau bois : Structure et caractéristiques*. Techniques de l'ingénieur, no. C926, 2019.

UNESCO. *La convention de l'UNESCO sur la protection du patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2007.

UNESCO. *La sauvegarde du patrimoine subaquatique*. UNESCO, Paris, 1984. Protection du patrimoine culturel : cahiers techniques, musées et monuments, no.4.

Van Heeringen, Robert et Theunissen, Liesbeth. « La nappe phréatique et le patrimoine archéologique en milieu humide aux Pays-Bas ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.117-125. Archéologie et érosion 2.

## Sites internet

Affouillement [En ligne]. L'internaute [consulté le 08.08.20]  
<https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/affouillement/>

Anatomie et structure du bois [En ligne]. Wikibois [consulté le 30.07.20].  
[http://wikibois.com/doku.php?id=wikibois:1\\_les\\_materiaux\\_bois:nature\\_et\\_structure\\_du\\_bois](http://wikibois.com/doku.php?id=wikibois:1_les_materiaux_bois:nature_et_structure_du_bois)

Angiosperme [En ligne]. Futura science [consulté le 08.08.20]. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-angiosperme-1382/>



Archéologie (Méthodes et techniques) : la prospection archéologique [En ligne]. Universalis [consulté le 08.08.20]. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/archeologie-methodes-et-techniques-la-prospection-archeologique/>

Artefact [En ligne]. L'internaute [consulté le 08.08.20]. <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/artefact-1/>

Biodégradation [En ligne]. Actu environnement [consulté le 08.08.20]. [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/biodegradation.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/biodegradation.php4)

Bois [En ligne]. Wikipédia [consulté le 30.07.20]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois#%C3%89tude\\_macroscopique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois#%C3%89tude_macroscopique)

Bois gorgé d'eau [En ligne]. Wikipédia [consulté le 29.07.20]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois\\_gorg%C3%A9\\_d'eau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois_gorg%C3%A9_d'eau)

Cellulose [En ligne]. Wikipédia [consulté le 31.07.20]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellulose#:~:text=La%20cellulose%20est%20un%20glucide,une%20forte%20teneur%20en%20lignine\).](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellulose#:~:text=La%20cellulose%20est%20un%20glucide,une%20forte%20teneur%20en%20lignine).)

Conservation-restauration Objets archéologiques [En ligne]. Musée national suisse [consulté le 17.08.20]. <https://www.sammlungszentrum.ch/fr/services/conservation>

Datation par le carbone 14 [En ligne]. Wikipédia [consulté le 15.08.20]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Datation\\_par\\_le\\_carbone\\_14](https://fr.wikipedia.org/wiki/Datation_par_le_carbone_14)

Enzyme digestive [En ligne]. Futura science [consulté le 08.08.20]. <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-enzyme-digestive-8928/>

Gymnosperme [En ligne]. Futura science [consulté le 08.08.20]. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-gymnosperme-5397/>

Hémicellulose [En ligne]. Wikipédia [consulté le 31.07.20]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9micellulose#:~:text=L'h%C3%A9micellulose%20est%20un%20biopolym%C3%A8re,avec%20d'autres%20compos%C3%A9s%20matriciels.>

Historique du Service archéologique [En ligne]. État de Fribourg [consulté le 27.07.20]. <https://www.fr.ch/culture-et-tourisme/patrimoine/historique-du-service-archeologique>

Hydrolyse [En ligne]. Futura science [consulté le 08.08.20]. <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/molecule-hydrolyse-17292/>

Hygroscopie et anisotropie [En ligne]. Wikibois [consulté le 30.07.20]. [http://wikibois.com/doku.php?id=wikibois:1\\_les\\_materiaux\\_bois:hygroscopie\\_et\\_anisotropie](http://wikibois.com/doku.php?id=wikibois:1_les_materiaux_bois:hygroscopie_et_anisotropie)

Hygroscopique [En ligne]. Larousse [consulté le 08.08.20]. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/hygroscopique/40941>

La Suisse ratifie la Convention sur la protection du patrimoine culturel subaquatique de l'UNESCO [En ligne]. UNESCO [consulté le 20.07.20]. <https://fr.unesco.org/news/suisse-ratifie-convention-protection-du-patrimoine-culturel-subaquatique-lunesco>

Les nappes phréatiques : Comment se forment-elles et où les trouve-t-on ? [En ligne]. Le centre d'information sur l'eau [consulté le 08.08.20]. <https://www.cieau.com/connaitre-leau/leau-dans-la-nature/les-nappes-phreatiques-comment-se-forment-elles-et-ou-les-trouve-t-on/>

Les particularités de la cellule végétale [En ligne]. Biologie Vegetale [consulté le 01.08.20]. <https://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/biologie-physiologie-vegetale/chap1b/Chapitre-3/Sous-section-3-2-1.html#:~:text=Lorsqu'on%20soumet%20une%20mol%C3%A9cule,hydrolyse%20compl%C3%A8te%20du%20Glucose%22.&text=La%20liaison%20entre%20ces%20deux,4%20de%20chacune%20d'elles.>

Menaces [En ligne]. UNESCO [consulté le 20.07.20]. <http://www.unesco.org/new/fr/culture/themes/underwater-cultural-heritage/about-the-heritage/protection/threats/>

Missions du Service archéologique [En ligne]. État de Fribourg [consulté le 27.07.20]. <https://www.fr.ch/dics/saef/missions-du-service-archeologique>

Palafittique [En ligne]. Universalis [consulté le 08.08.20]. <https://www.universalis.fr/dictionnaire/palafittique/>

Palustre [En ligne]. Larousse [consulté le 08.08.20]. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/palustre/57517>

Pariétal [En ligne]. Larousse [consulté le 08.08.20]. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pari%C3%A9tal/58203?q=pari%C3%A9tal#57859>

Planctonique [En ligne]. L'internaute [consulté le 08.08.20]. <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/planctonique/>

Polypropylène [En ligne]. La fabrique à filets [consulté le 20.07.20]. <https://www.fabrique-a-filets.com/page/24-polypropylene-pp>

Progradation [En ligne]. Wikipédia [consulté le 08.08.20]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Progradation>

Protection des sites [En ligne]. UNESCO [consulté le 20.07.20]. <http://www.unesco.org/new/fr/culture/themes/underwater-cultural-heritage/about-the-heritage/protection/site-protection/>

Protection du seuil contre l'érosion SYTEC Terrafix B [En ligne]. Sytec geoproduct [consulté le 20.07.2020]. <https://www.sytec.ch/fr/produits/protection-contre-l-erosion/sytec-terrafix-b>

Protection in situ [En ligne]. UNESCO [consulté le 20.07.20]. <http://www.unesco.org/new/fr/culture/themes/underwater-cultural-heritage/about-the-heritage/protection/in-situ-protection/>

Retrait du bois [En ligne]. Wikipédia [consulté le 08.08.20]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Retrait\\_du\\_bois#:~:text=On%20peut%20consid%C3%A9rer%20que%20l,libre%20qui%20part%20d'abord.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Retrait_du_bois#:~:text=On%20peut%20consid%C3%A9rer%20que%20l,libre%20qui%20part%20d'abord.)

T.116 Sites archéologiques [En ligne]. Plan directeur cantonal – État de Fribourg [consulté le 13.07.2020]. <http://geo.fr.ch/PDCantC/?themestoexpand=T116>

Turbidité [En ligne]. Wikipédia [consulté le 08.08.20]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbidit%C3%A9>

Uligineux [En ligne]. Wikipédia [consulté le 08.08.20].  
<https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/uligineux/>

## Bibliographie non référencée

### Ouvrages et articles

Bader, Martin. *Emballage et transport des matériaux organiques en provenance de sites de haute altitude : mesures de conditionnement et sécurisation des indices archéologiques*. Travail de mémoire, Haute-école Arc, Neuchâtel, 2008.

Blanchette, Robert A., et al. « Assessment of Deterioration in Archaeological Wood from Ancient Egypt ». *Journal of the American Institute for Conservation*, vol. 33, no. 1, 1994, p. 55-70.

Cohen, Orna. « Conservation of the Ancient Boat from the Sea of Galilee ». *Atiqot*, vol. 50, 2005, p. 219-232.

De Witte, E., et al. « The Consolidation of the Waterlogged Wood from the Gallo-Roman Boats of Pommeroeul ». *Studies in Conservation*, vol. 29, no. 2, 1984, p. 77-83.

Deyber-Persignat, Dominique. *Le dépôt archéologique : conservation et gestion pour un projet scientifique et culture*. Service d'archéologie municipale, Bourges, 2000.

Grattan, David W. et al. Proceedings of the ICOM waterlogged wood working group conference. The international council of museums, Ottawa, 1981.

Hillman, David, et Mary-Lou E. Florian. « A Simple Conservation Treatment for Wet Archaeological Wood ». *Studies in Conservation*, vol. 30, no. 1, 1985, p. 39-41.

Hoffmann, Per. Proceedings of the 5<sup>th</sup> ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. ICOM, Bremerhaven, 1994.

Hoffmann, Per. Proceedings of the 6<sup>th</sup> ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. ICOM, Bremerhaven, 1997.

Lilja Jensen, Eva et al. « From a waterlogged site to the archaeologist's desk — new packing methods with a minimum of handling ». *Studies in Conservation*, vol. 41, no. 1, 1996, p. 89-93.

Moncrieff, A. « Review of Recent Literature on Wood (January 1960-April 1968) ». *Studies in Conservation*, vol. 13, no. 4, 1968, p. 186-212.

Montluçon, Jacques et Deyber, Dominique. *Les objets du Titanic : Mémoire des abîmes*. ADMITECH, Paris, 1989.

National Research Institute of Cultural Heritage. *Conservation of wooden objects*. National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 2012.

Parrent, James M. « The Conservation of Waterlogged Wood Using Sucrose ». *Studies in Conservation*, vol. 30, no. 2, 1985, p. 63-72.

Proust, Clotilde. *Les ateliers du Musée des Antiquités nationales : Aux origines de la restauration en archéologie*. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2017.

Selwyn, Lyndsie, et al. « Metal Corrosion Rates in Aqueous Treatments for Waterlogged Wood-Metal Composites ». *Studies in Conservation*, vol. 38, no. 3, 1993, p. 180-197.

Skeates, Robin. *Museums and archaeology*. Routledge, Londres, 2017. Leicester readers in museum studies.

Sylvia Rakotonirainy, Malalanirina et al. « Effective biocide to prevent microbiological contamination during PEG impregnation of wet archaeological iron-wood artefacts ». *Journal of Cultural Heritage*, no. 8, 2007, p.160-169.

Szczepanowska, Hanna M. *Conservation of cultural heritage: key principles and approaches*. Routledge, Londres, 2013.

Unger, Achim. Et al. *Conservation of Wood Artifacts*. Springer Verlag, Berlin, 2001.

## Glossaire

**Affouillement** : « Creusement de la berge et du lit d'une rivière sous l'effet du courant et des remous »<sup>192</sup>.

**Angiospermes** : Qualifiés également de bois dur, les arbres angiospermes sont des « végétaux dont les organes reproducteurs sont condensés en une fleur et dont les graines fécondées sont enfermées dans un fruit »<sup>193</sup>. Ils sont caractérisés par leurs vaisseaux (pores) qui font d'eux des bois dit « poreux »<sup>194</sup>.

---

<sup>192</sup> Affouillement [En ligne].

<sup>193</sup> Angiosperme [En ligne].

<sup>194</sup> Hamilton, 1999, p.22.

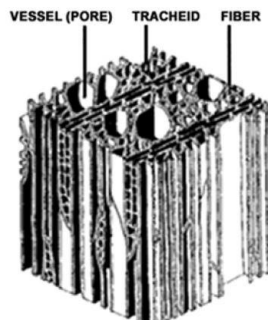


Figure 25 : Structure microscopique d'un arbre angiosperme

© Hamilton, 1999

**Artefact** : « *Objet façonné par l'homme, découvert lors d'une fouille archéologique* »<sup>195</sup>.

**Biodégradation** : « *Désigne le processus de dégradation moléculaire de substances organiques par l'action de microorganismes aérobies ou anaérobies* »<sup>196</sup>.

**Cambium** : « *Anneau de cellules génératrices qui se divisent continuellement, ce qui accroît le diamètre de la tige* »<sup>197</sup>.

**Chaîne archéologique** : Chaîne opératoire contenant les étapes de conservation de la fouille jusqu'aux réserves<sup>198</sup>.

**Datation par le carbone 14** : « *Méthode de datation radiométrique fondée sur la mesure de l'activité radiologique du carbone 14 (<sup>14</sup>C) contenu dans la matière organique dont on souhaite connaître l'âge absolu, c'est-à-dire le temps écoulé depuis la mort de l'organisme (animal ou végétal) qui le constitue* »<sup>199</sup>.

**Eau libre** : « *On peut considérer que l'eau dans le bois est de deux « types » : l'eau « libre », qui se situe dans les vides du bois (lumière des fibres, vaisseaux, trachéides), et l'eau « liée » qui est imprégnée dans la cellulose des fibres. Quand le bois sèche, c'est essentiellement l'eau libre qui part d'abord* »<sup>200</sup>.

**Écofact** : « *Prélèvements de matériaux naturels et de nature biologique recueillis lors de l'opération et relevant de la documentation scientifique. Les écofacts désignent les matériaux issus du règne animal,*

<sup>195</sup> Artefact [En ligne].

<sup>196</sup> Biodégradation [En ligne].

<sup>197</sup> Mezouar, 2018-2019, p.52.

<sup>198</sup> Proust, 2015, p.40.

<sup>199</sup> Datation par le carbone 14 [En ligne].

<sup>200</sup> Retrait du bois [En ligne].

*végétal ou minéral prélevés par l'homme dans l'environnement et qui n'ont pas été transformés par lui en objets* »<sup>201</sup>.

**Enzyme digestive** : « *Elles ont pour rôle de rendre des molécules complexes en molécules simples, facilement assimilables par l'organisme* »<sup>202</sup>.

**Fouilles subaquatiques** : Fouilles archéologiques en milieu aquatique, mais réalisées en eaux douces et fermées comme les lacs et rivières<sup>203</sup>.

**Gymnospermes** : « *La caractéristique des plantes gymnospermes est que leur ovule est à nu (non enclos dans un ovaire à la différence des angiospermes) et reçoit directement le pollen. Il est porté par une feuille fertile ou des écailles plus ou moins ouvertes.* » Tous les conifères sont des arbres gymnospermes, aussi nommés bois tendre<sup>204</sup>. Ils sont considérés « non poreux », car ils ne possèdent pas de vaisseaux (pores)<sup>205</sup>.

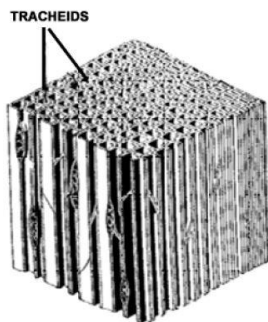


Figure 26 : Structure microscopique d'un arbre gymnosperme

© Hamilton, 1999

**Hydrolyse** : « *Toute réaction chimique au cours de laquelle il y a rupture de liaison d'une molécule par l'eau* »<sup>206</sup>.

**Hygroscopique** : « *Se dit d'un corps qui a des affinités avec l'eau et favorise la condensation* »<sup>207</sup>.

<sup>201</sup> Direction Régionale des Affaires Culturelles de Lorraine, non daté, p.2.

<sup>202</sup> Enzyme digestive [En ligne].

<sup>203</sup> Pomey, 2007, p.17.

<sup>204</sup> Gymnosperme [En ligne].

<sup>205</sup> Hamilton, 1999, p.22.

<sup>206</sup> Hydrolyse [En ligne].

<sup>207</sup> Hygroscopique [En ligne].

**Méthode alcool-éther-résine :** Méthode de stabilisation utilisée au laboratoire du Musée national suisse, notamment pour la conservation des objets composites et des prélèvements en motte<sup>208</sup>. Elle consiste en la substitution de l'eau contenue dans le bois par de l'éther diéthylique avant d'imprégner le bois par une résine et d'ensuite le faire sécher dans une enceinte sous-vide. L'éther n'étant pas miscible dans l'eau il faut d'abord déshydrater le bois par un alcool (éthanol) avant de pouvoir échanger l'eau par de l'éther<sup>209, 210, 211</sup>.

**Nappe phréatique :** *« Les nappes phréatiques sont des réservoirs d'eaux souterraines stockées à faible profondeur dans des roches poreuses et perméables qui composent les zones aquifères. L'eau des nappes provient des précipitations qui tombent dans le bassin versant drainé par un cours d'eau et ses affluents. Une partie de ces eaux de pluie s'infiltre à l'intérieur du sol à travers les pores et les fissures des roches. Ce phénomène d'infiltration se déroule dans la zone non saturée de l'aquifère, appelée zone vadose. Puis par effet de gravité, l'eau s'écoule plus en profondeur dans les espaces vides de l'aquifère pour former une nappe, c'est-à-dire zone saturée en eau »*<sup>212</sup>.

**Patrimoine culturel subaquatique :** *« On entend par « patrimoine culturel subaquatique » toutes les traces d'existence humaine présentant un caractère culturel, historique ou archéologique qui sont immergées, partiellement ou totalement, périodiquement ou en permanence, depuis 100 ans au moins... »*<sup>213</sup>.

**Palafittique :** *« Construction lacustre du néolithique et de l'âge du bronze »*<sup>214</sup>.

**Palustre :** *« Qui se rapporte aux marais »*<sup>215</sup>.

**Pariétal :** *« Se dit de différents organes qui sont en rapport avec la paroi d'une cavité »*<sup>216</sup>.

**PEG à saturation-séchage contrôlé :** Méthode de consolidation par imprégnation PEG à 80% (brumisation ou immersion). Le séchage se fait ensuite en atmosphère contrôlée<sup>217</sup>. Pour ce faire il faut : *« retirer très lentement l'eau du bois en le maintenant à une humidité relative de 100% jusqu'à*

---

<sup>208</sup> Conservation-restauration Objets archéologiques [En ligne].

<sup>209</sup> National Research Institute of Cultural Heritage, 2012, p.29.

<sup>210</sup> Entretien le 30.06.20 avec Mme Gaëlle Liengme, conservatrice-restauratrice au Musée national suisse.

<sup>211</sup> Schmidt-Ott et André, 2017, p.182.

<sup>212</sup> Les nappes phréatiques : Comment se forment-elles et où les trouve-t-on ? [En ligne].

<sup>213</sup> UNESCO, 2007, p.19.

<sup>214</sup> Palafittique [En ligne].

<sup>215</sup> Palustre [En ligne].

<sup>216</sup> Pariétal [En ligne].

<sup>217</sup> ARC-Nucléart, 2019, p.49.

*ce qu'il atteigne un degré d'humidité en équilibre avec l'environnement. La durée de cette opération dépend du type de bois, des dimensions de la pièce et de son degré de détérioration, mais dans certains cas elle peut être de plusieurs années. Une fois l'équilibre atteint, on peut abaisser lentement l'humidité relative à environ 65 %, taux auquel elle devra ensuite être maintenue. Il faut veiller à ce que la diminution de l'humidité relative soit progressive afin de préserver l'équilibre et d'éviter toute détérioration, notamment les craquelures de surface et l'éclatement du bois »<sup>218</sup>.*

**PEG-lyophilisation** : Consolidation du bois gorgé d'eau par imprégnation de PEG en immersion. Les vestiges sont ensuite congelés puis séchés par lyophilisation. La lyophilisation est un procédé qui combine le froid et le vide et qui permet d'extraire l'eau congelée par sublimation, c'est-à-dire de passer de l'état solide à l'état gazeux sans repasser par la phase liquide<sup>219, 220</sup>.

**Planctoniques** : « Relatif au plancton, c'est-à-dire l'ensemble des êtres microscopiques ou de petite taille en suspension dans la mer ou l'eau douce »<sup>221</sup>.

**Polyéthylène-glycol (PEG)** : « Les polyéthylènes-glycols sont des polymères d'oxyde d'éthylène qui existent avec des poids moléculaires différents. Les PEG de faible poids moléculaire sont liquides et à mesure que le poids moléculaire augmente, ils deviennent plus épais. Une augmentation du poids moléculaire entraîne également une augmentation des propriétés hygroscopiques du PEG »<sup>222</sup>.

**Directions longitudinale, radiale, tangentielle** : Le bois étant un matériau hétérogène, on distingue différentes directions dans sa structure (longitudinale ou axiale, radiale et tangentielle). Les propriétés physiques et mécaniques du bois vont varier en fonction ces directions<sup>223</sup>.

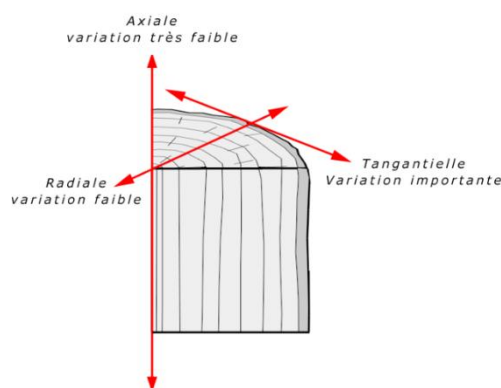


Figure 27 : Directions du bois et leurs variations spécifiques

© Retrait du bois [En ligne]

<sup>218</sup> UNESCO, 1984, p.120.

<sup>219</sup> ARC-Nucléart, 2019, p.49.

<sup>220</sup> Flieder et Capderou, 1999, p.193.

<sup>221</sup> Planctonique [En ligne].

<sup>222</sup> UNESCO, 1984, p. 119.

<sup>223</sup> Fédération nationale du bois, 2018, p.1.



**Point de saturation des fibres :** « En début de séchage, l'eau contenue dans les vides cellulaires, appelée eau libre, est évacuée. Cette phase de séchage se fait sans variation dimensionnelle du bois. Lorsque toute l'eau libre a disparu et que l'eau liée demeure intégralement, on atteint le point de saturation des fibres. Pour les bois européens courants, cela correspond à un taux d'humidité voisin de 30 %. En dessous du point de saturation des fibres et jusqu'à l'état anhydre (0 % d'humidité), l'évacuation de l'eau contenue dans les parois cellulaires, appelée eau liée, provoque un tassement du bois et une diminution de volume appelée retrait. En cas de reprise d'humidité, et jusqu'au point de saturation des fibres, le phénomène s'inverse et le bois gonfle »<sup>224</sup>.

**Progradation :** « En géologie sédimentaire et en géomorphologie, le terme de progradation fait référence à la croissance d'un delta de rivière plus loin dans la mer au fil du temps »<sup>225</sup>.

**Prospection :** « Méthode globale d'appréhension de l'ensemble des traces des aménagements apportés par les sociétés humaines à leur environnement physique et vivant. Elle constitue une démarche en amont de la fouille, puisqu'elle permet de répondre à la question : « où est-il pertinent de fouiller » ? Les outils de la prospection sont variés et complémentaires : observations, études des documents anciens, mesures sur le terrain »<sup>226</sup>.

**Turbidité :** « La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent »<sup>227</sup>.

**Uligineux :** Terme utilisé pour qualifier un sol humide<sup>228</sup>.

## Liste des figures

Figure 1 : Equipe de scaphandriers au début du 20 <sup>e</sup> siècle au bord du lac de Morat.....	11
Figure 2 : Equipe de fouilles subaquatiques du SAEF en 2011 .....	11
Figure 3 : Structure chimique de la cellulose .....	12
Figure 4 : Défauts de retrait et de gonflement en fonction du sens de débitage .....	13
Figure 5 : Fragmentation de la cellulose par hydrolyse jusqu'à obtenir une molécule de glucose....	14
Figure 6 : Variations dimensionnelles du bois en fonction de l'humidité.....	15
Figure 7 : Eléments en bois dont la structure s'est effondrée suite à la dessiccation des cellules gorgées d'eau .....	15
Figure 8 : Projection de l'érosion d'un site littoral contenant des pilotis .....	16

<sup>224</sup> Fédération nationale du bois, 2018, p.1.

<sup>225</sup> Progradation [En ligne].

<sup>226</sup> Archéologie (Méthodes et techniques) : la prospection archéologique [En ligne].

<sup>227</sup> Turbidité [En ligne].

<sup>228</sup> Uligineux [En ligne].

Figure 9 : Microstructure d'un bois archéologique avant le séchage – vue au MEB.....	17
Figure 10 : Microstructure d'un bois archéologique après séchage et effondrement cellulaire – vue au MEB .....	17
Figure 11 : Accumulation du sable sur une épave six semaines après l'application d'un herbier marin artificiel (seagrass) .....	21
Figure 12 : Mise en place d'un géotextile SYTEC Terrafix B par le Service archéologique du canton de Berne .....	22
Figure 13 : Plaque en polypropylène cannelé, protégée par des bords en mousse, accueillant un objet en bois .....	25
Figure 14 : Plaque en polypropylène cannelé emballée dans du film plastique .....	25
Figure 15 : Prélèvement subaquatique à l'aide de bandes de crêpe en coton Velpeau .....	26
Figure 16 : Conditionnement pour les sachets Minigrip™ .....	27
Figure 17 : Sachets Minigrip™ percés suspendus au tube en aluminium .....	27
Figure 18 : Schéma d'une entaille dans la mousse PE pour accueillir un tube en aluminium .....	28
Figure 19 : Bain dont l'eau est traitée avec un système d'oxygénation et de rayons UV .....	33
Figure 20 : Bain qui n'a pas encore été mis sous traitement de l'eau .....	33
Figure 21 : Distinction du type d'inventaire au SAEF actuellement .....	36
Figure 22 : Proposition d'ajout de types d'inventaire dans le fichier d'inventaire Excel.....	38
Figure 23 : Formalisation et modification de la chaîne archéologique des bois gorgés d'eau au SAEF ..	42
Figure 24 : Chaîne opératoire et prises de décisions in situ spécifique au mobilier pour conservation ..	43
Figure 25 : Structure microscopique d'un arbre angiosperme .....	54
Figure 26 : Structure microscopique d'un arbre gymnosperme .....	55
Figure 27 : Directions du bois et leurs variations spécifiques .....	57
Figure 28 : Service archéologique de l'État de Fribourg .....	61
Figure 29 : Formation géologique et position de la nappe phréatique .....	61
Figure 30 : Dégagement d'un puits en bois découvert en milieu terrestre à Saint-Aubin (FR), 2019 ...	62
Figure 31 : Comparaison de conservation des objets en milieu sec et humide .....	62
Figure 32 : Schéma du filet en polypropylène protégeant une épave .....	63
Figure 33 : Local dédié au traitement des bois gorgé d'eau (bains d'imprégnation au PEG) .....	63

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Coûts pour des installations pour le traitement de l'eau au Musée national suisse.....	34
Tableau 2 : Entretien effectués .....	65
Tableau 3 : Liste des fournisseurs pour les produits nécessaires au processus de conservation des bois gorgés d'eau .....	69

## Liste des documents

Protocole de conservation pour le SAEF : p. 70-100

Fiche pratique pour les archéologues : p. 101

## Listes des abréviations

**AAFR** : Amt für Archäologie des Kantons Freiburg (Service archéologique de l'État de Fribourg)

**ARC-Nucléart** : Atelier de Recherche et de Conservation Nucléart

**ASB** : Service archéologique du canton de Berne

**COV** : Composés organiques volatils

**DRASSM** : Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines

**GAF** : Gestionnaires des Archives de Fouilles

**LCR** : Laboratoire de conservation-restauration

**MCAHL** : Musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne

**PE** : Polyéthylène

**PEG** : Polyéthylène-glycol

**SAEF** : Service archéologique de l'État de Fribourg

**UNESCO** : United Nations Educational, Scientific and Cultural organization (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture)

## Annexes

### A. Figures



Figure 28 : Service archéologique de l'État de Fribourg

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

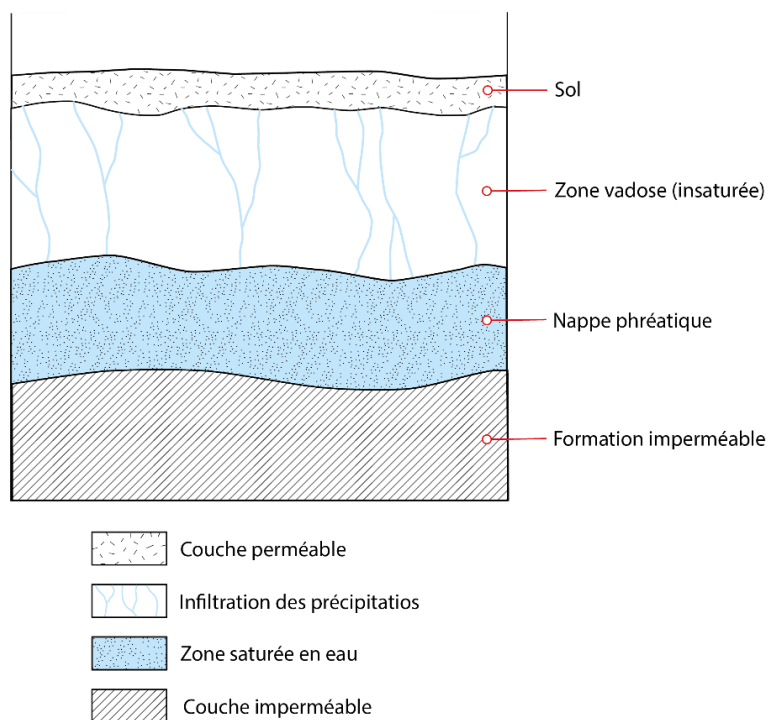


Figure 29 : Formation géologique et position de la nappe phréatique

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020, inspiré de Ancitil, 2007.



Figure 30 : Dégagement d'un puits en bois découvert en milieu terrestre à Saint-Aubin (FR), 2019

© SAEF

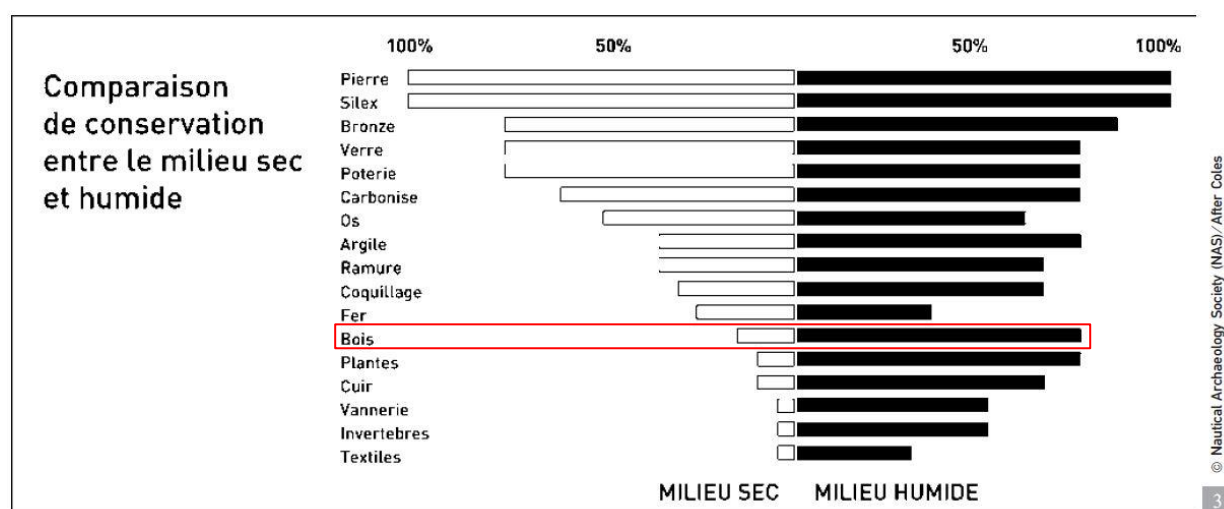


Figure 31 : Comparaison de conservation des objets en milieu sec et humide

© Nutley, 2008

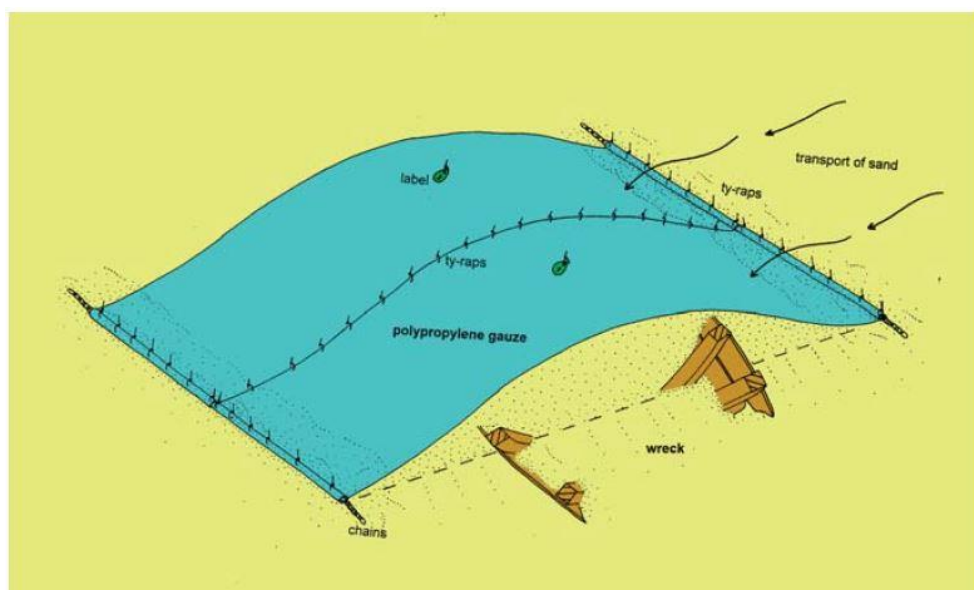


Figure 32 : Schéma du filet en polypropylène protégeant une épave

© M. Manders – Coles, 1990



Figure 33 : Local dédié au traitement des bois gorgé d'eau (bains d'impregnation au PEG)

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF



## B. Tableaux

Entretiens et visites			
NOM, prénom	Institution	Fonction	Date de l'entretien
Service archéologique de l'État de Fribourg (SAEF)			
FORSTER, Emmanuelle	SAEF	Conservatrice-restauratrice, responsable du laboratoire organique	Échanges continus
KRAMER, Léonard	SAEF	Assistant scientifique, secteur Pré-Protohistoire, gestion des fouilles subaquatiques	12.05.20
MONNIER, JACQUES	SAEF	Chef de secteur, secteur Gallo-romain et Antiquité tardive	20.05.20
PAYOT, Christelle	SAEF	Collaboratrice technique, gestion de l'arrivage du mobilier archéologique	07.05.20
PRADERVAND, Aude-Line	SAEF	Assistante scientifique, secteur Moyen-Âge et Archéologie urbaine	13.05.20
SONNENWYL, Ingrid	SAEF	Collaboratrice technique, responsable des collections archéologiques et gestion de la conservation préventive.	06.05.20
TETTAMANTI, Rocco	SAEF	Chef de secteur, support technique (collections, documentation et valorisation)	07.04.20 07.07.20 20.08.20
VIGNEAU, Henri	SAEF	Technicien de fouille, secteur Archéologie du territoire	11.05.20
Autres consultants suisses			
AMOROSO, Hugo	Site et Musée romains d'Avenches	Archéologue	23.07.20 (visite)
CUENDET, David	Musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne (MCAHL)	Conservateur-restaurateur, responsable du laboratoire	26.03.20 06.07.20 (visite)
KRIEG, Myriam	Site et Musée romains d'Avenches	Conservatrice-restauratrice	23.07.20 (visite)

LEUENBERGER, Linda	Service archéologique du canton de Thurgovie	Conservatrice-restauratrice	29.05.20 14.07.20 (visite)
LIENGME, Gaëlle	Musée national suisse	Conservatrice-restauratrice	13.05.20 30.06.20 (visite)
MOLL-DAU, Friederike	Service archéologique du canton de Berne (ASB)	Conservatrice-restauratrice	18.05.20 10.07.20 (visite)
PEDERSEN, Line	Site et Musée romains d'Avenches	Conservatrice-restauratrice	23.07.20 (visite)
DORTHE, David	Haute-école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg	Ingénieur diplômé EPFL, enseignant chargé de cours en hydraulique urbaine	02.07.20
Consultants étrangers			
CAILLAT, Loïc (France)	Atelier de Recherche et de Conservation Nucléart (ARC-Nucléart)	Assistant-ingénieur-biologiste	23.06.20
CHAUMAT, Gilles (France)	ARC-Nucléart	Ingénieur, adjoint scientifique et technique	11.06.20
GRALL, Marie (France)	Bureau d'étude archéologique - Éveha	Gestionnaire des archives de fouille	12.06.20
LEMOINE, Gwenaëlle (France)	Laboratoire L'Arc Antique	Conservatrice-restauratrice, responsable du secteur organique	14.04.20
MEUNIER, Laure (France)	ARC-Nucléart	Conservatrice-restauratrice	11.06.20
REBOUL, Lila (France)	Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM)	Chargée de mission pour la conservation préventive et la gestion du mobilier	12.05.20

Tableau 2 : Entretiens effectués



Liste des produits et fournisseurs				
Étape de la chaîne opératoire	Désignation	N° de référence	Fournisseur	Fonction
Préservation in situ	<b>Filet en polypropylène</b>	<i>Geoter® Net</i>	Texinov®	Permet de capter le sable à la surface de l'objet et de recréer un environnement anaérobie
	<b>Géotextile (PP)</b>	<i>Bidim® : BID15503</i>	NAMUR	Protège contre l'affouillement et de l'érosion
	<b>Natte de sable</b>	<i>SYTEC TerraFix B TerraFixB501 20190801</i>	SYTEC geoproduct	
Prélèvement	<b>Plaques en polypropylène cannelé</b>	<i>VMP0111</i>	VPC Display	Sert de support pour les objets fragiles
	<b>Supports rigides</b>	<i>1303812</i>	Jumbo	Sert de support pour les mottes ou les objets lourds
	<b>Protection de bords en mousse PE</b>	<i>8-42922</i>	Gerstaecker	S'insère sur les plaques en polypropylène afin de pouvoir les emballer
	<b>Bandes de crêpe en coton Velpeau</b>	<i>32400</i>	LOHMANN RAUSCHER	Facilite l'emballage des vestiges subaquatiques
	<b>Film plastique</b>	<i>9615.0000.0000</i>	Plastic-Haus	Permet de réaliser des emballages étanches
	<b>Bâche</b>	<i>9812.0000.0000.B</i>		

Prélèvement	<b>Bande plâtrée</b>	<i>Safix® 332742</i>	IVF HARTMANN AG	Utilisée pour les prélèvements en motte
	<b>Pulvérisateur</b>	<i>1913.0000.0000</i>	Plastic-Haus	Permet d'humidifier ou de maintenir les objets humides
	<b>Draps en coton</b>	<i>2586177 / AGS464</i>	La Redoute	
	Géotextile (PP)	<i>Bidim® : BID15503</i>	Prodo SA	
	<b>Étiquettes en plastique</b>	-	Cellwar GmbH	Étiquettes en plastique résistantes à l'eau, permet d'identifier l'objet par son N° d'inventaire
Emballage, stockage et transport	<b>Bacs gerbables</b>	<i>H : 170 mm = 8074.0000.0000</i>	Plastic-Haus	Permet de contenir les éléments en eau après le prélèvement
	<b>Boîte hermétique</b>	<i>7123.0000.0000</i>		
	<b>Sachets Minigrip™</b>	125 mm x 100 mm : <i>3434.0000.0000</i>		
	<b>Tubes en aluminium</b>	<i>6069573</i>	Hornbach	Utilisé pour fabriquer le système d'accrochage des sachets Minigrip™
	<b>Mousse ETHAFOAM PE</b>	<i>9566.0000.0000</i>	Plastic-Haus	
	<b>Pistolet à colle chaude</b>	<i>949257</i>	Hornbach	

Emballage, stockage et transport	Film plastique	9615.0000.0000	Plastic-Haus	Permet de réaliser des emballages étanches
	Bande de crêpe en coton Velpeau	32400	LOHMANN RAUSCHER	Conserve les objets humides et gorgés
	Pulvérisateur	1913.0000.0000	Plastic-Haus	
	Draps en coton	2586177 / AGS464	La Redoute	
	Couverture de survie	NX3256-917	PEARL	Diminue l'impact de la chaleur
	Papier d'aluminium	704510800000	Migros	
	Glacière	1305898	Jumbo	
	Papier bulle	Réf : 9760.0000.0000	Plastic-Haus	Matériel de calage
	Mousse ETHAFOAM PE	9566.0000.0000		
Stockage provisoire au laboratoire	Bacs gerbables	H : 170 mm = 8074.0000.0000	Plastic-Haus	Utilisé pour les stockages en eau ou les bains de lessivage
	Boîtes hermétique	7123.0000.0000		
	Sachets Minigrip™	125 mm x 100 mm : 3434.0000.0000		
Nettoyage	Réacteur UV	8895910	Hornbach	Systèmes de stabilisation de l'eau pour les bains de lessivage
	Pompe à eau	G2841559	Qualipet	
	Pompe à air	12150 203679		

	<b>Tuyaux</b>	<i>G9685756</i>		
	<b>Diffuseur d'air</b>	<i>203603</i>		
	<b>Déminéralisateur</b>	<i>16.1160.00</i>	HUBERLAB	
	<b>Aérographe</b>	-	STRAHM	
Mise en réserve	<b>Carton non-acide</b>	-	Département des institutions et de la sécurité SPEN	Utilisé pour le conditionnement définitif des objets en bois
	Mousse ETHAFOAM PE	<i>9566.0000.0000</i>	Plastic-Haus	

Tableau 3 : Liste des fournisseurs pour les produits nécessaires au processus de conservation des bois gorgés d'eau

## C. Protocole de conservation pour le SAEF



ETAT DE FRIBOURG  
STAAT FREIBURG

Service archéologique de l'Etat de Fribourg  
Planche-Supérieure 13, 1700 Fribourg

Service archéologique de l'Etat de Fribourg SAEF  
Amt für Archäologie des Kantons Freiburg AAFR

Planche-Supérieure 13, 1700 Fribourg  
Obere Matte 13, 1700 Freiburg

T +41 26 305 82 00, F +41 26 305 82 01  
saef@fr.ch, www.fr.ch/saef

Réf. : EF

Version : 31.08.20

*Fribourg, le 31 août 2020*

### Protocole de conservation pour les bois gorgés d'eau

#### Table des matières

<b>1. Intérêt archéologique des bois gorgés d'eau .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Nécessité d'une prise en charge spécifique .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Principes de base à respecter.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Gestion du mobilier in-situ.....</b>	<b>3</b>
4.1. Préparation à la fouille .....	3
4.2. Distinction du type de mobilier .....	4
4.3. Préservation <i>in situ</i> .....	4
4.4. Prélèvement .....	5
4.5. Stockage provisoire sur site.....	7
4.6. Conditionnement pour transport.....	9
<b>5. Gestion du mobilier au SAEF .....</b>	<b>10</b>
5.1. Stockage temporaire.....	10
5.1.1. Arrivage.....	10
5.1.2. Laboratoire de conservation-restauration .....	10
5.2. Traitements de conservation-restauration .....	11
5.2.1 Tri par type d'inventaire .....	11
5.2.2 Nettoyage avant traitement .....	11
5.2.3 Bains de lessivage .....	12
5.2.4 Nettoyage après séchage.....	13
5.3. Stockage définitif .....	13
5.3.1 Conditionnement .....	13
5.3.2 Conservation préventive.....	14
<b>6. Matériel nécessaire.....</b>	<b>14</b>
<b>7. Logigramme récapitulatif .....</b>	<b>16</b>
<b>8. Bibliographie.....</b>	<b>18</b>
<b>9. Annexes.....</b>	<b>21</b>

## 1. Intérêt archéologique des bois gorgés d'eau

Les artefacts et écofacts formés de ce matériau présentent un intérêt archéologique considérable. En effet, ces témoins matériels, ainsi que leur contexte de fouille, sont des sources d'informations essentielles à la compréhension du fonctionnement des sociétés passées et représentent des outils indispensables pour les recherches scientifiques et historiques. Le bois pouvant faire l'objet de datations carbone-14 ou par dendrochronologie, il contient des données archéologiques exceptionnelles et nous renseigne sur la nature d'un site.

## 2. Nécessité d'une prise en charge spécifique

Si des mesures ne sont pas prises suite au traumatisme de la mise au jour, le bois gorgé d'eau est sujet à des processus de dégradation qui peuvent avoir des conséquences dramatiques et voir même provoquer **la destruction complète** des objets :

- Le **séchage** des bois gorgés d'eau provoque le collapse des cellules, des déformations, des ruptures ainsi que des pertes de volume irréversibles et dévastatrices<sup>1</sup>.
- **Les microorganismes, les bactéries et les levures** se développent rapidement sur les objets humides et vont induire des dégradations physico-chimiques.
- Les **sels minéraux** dissous qui se trouvaient dans le milieu d'enfouissement et qui ont été absorbés par le bois peuvent nuire au bon traitement des objets et provoquer des efflorescences à la surface des objets, des concrétions cristallines, des gonflements ou une acidification du matériau.

Par conséquent, il est essentiel de sensibiliser les différents intervenants aux risques encourus ainsi qu'aux dégradations probables et de mettre en place une méthodologie qui permette de conserver les vestiges en bois gorgés d'eau dans leur intégrité.

Les vestiges en bois gorgé d'eau doivent être rapidement pris en charge et doivent faire l'objet d'un suivi régulier afin d'éviter la détérioration et la perte d'informations archéologiques importantes.

---

<sup>1</sup> Cf. Annexes, Figure 8, p.21.

### 3. Principes de base à respecter

- 1) Il est primordial que le bois reste constamment gorgé d'eau et que la mise au jour soit progressive afin de ne pas accentuer le traumatisme de fouille (principalement en milieu subaquatique). Les cellules composant le bois doivent impérativement rester en **état de saturation** d'eau durant tout le processus de conservation de sorte à éviter le collapse et la dénaturation structurelle du bois.
- 2) Il faut éviter d'exposer les objets au soleil ou à quelconque autre source de lumière. Dans le meilleur des cas, il est idéal de déposer les objets dans un endroit **frais et sombre**.
- 3) Une fois le prélèvement, la documentation et l'emballage effectués, il faut transmettre les objets le plus rapidement possible au laboratoire pour les traitements et **prévenir les conservateurs-restaurateurs**.
- 4) Le stockage des bois gorgés d'eau ainsi que leur traitement nécessite **un suivi et un espace** considérable qui doivent être anticipés.

### 4. Gestion du mobilier *in situ*

#### 4.1. Préparation à la fouille

Il est essentiel d'être au courant des projets de fouilles en cours et ceux qui sont planifiés afin de se préparer à une éventuelle découverte de vestiges en bois gorgé d'eau. Si des fouilles ont lieu en milieu subaquatique ou en milieu terrestre-humide, il faut être prêt à pouvoir intervenir et préparer le matériel nécessaire.

En prévention d'une fouille, du matériel peut être préparé en amont pour faciliter la gestion du mobilier en bois gorgé d'eau *in situ* par les archéologues (Cf. 4.4 et 4.5).

Un kit comprenant **le matériel indispensable** pour la conservation des bois gorgés d'eau sur site permet notamment d'anticiper les ressources nécessaires<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Cf. Annexes, Tableau 2, p.29.

#### 4.2. Distinction du type de mobilier

Il est important que les archéologues définissent sur site l'objectif de conservation des vestiges en bois, c'est-à-dire la finalité de l'objet (analyse, conservation, exposition...). Cette détermination conditionnera la suite des interventions. **La chaîne opératoire sera différente** pour les différents types d'inventaire. Si la distinction n'a pas été faite, il faut contacter le responsable de fouille afin de connaître l'objectif de conservation. Les différents termes sont définis dans les annexes<sup>3</sup>.

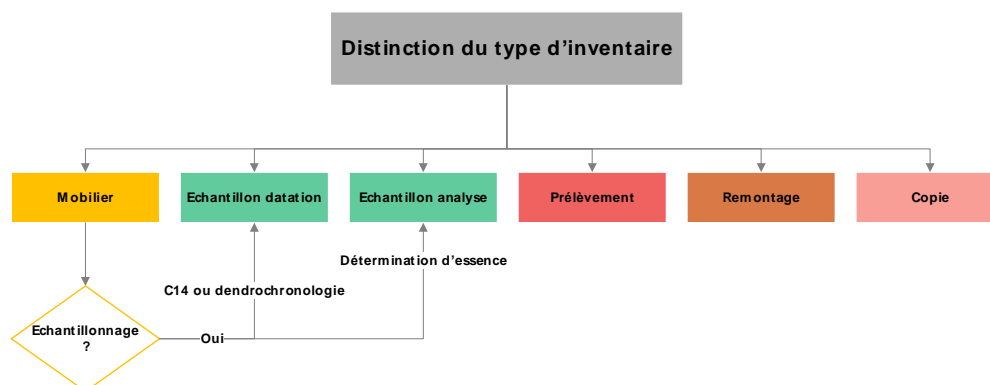


Figure 1 : Types d'inventaire

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

La préservation *in situ* consiste en la protection ou valorisation des vestiges à l'emplacement de leur découverte. Cette méthode s'applique principalement aux sites archéologiques subaquatiques lorsque l'entièreté du mobilier ne peut pas être prélevée et prise en charge.

Pour ce faire, différentes méthodes peuvent être employées pour lutter contre l'érosion, les insectes xylophages et les bactéries aérobies *in situ* :

- La protection du site par l'application d'un **géotextile** (Bidim®) lestée par des galets ou des sacs de sable ou par la dépose d'une **natte de sable** (SYTEC Terrafix B 501).
- L'installation d'un **filet en polypropylène** flottant au-dessus des vestiges afin de capter le sable en mouvement et d'ainsi recréer un milieu anaérobie.
- La pose de **galets** pour recouvrir le site permet de protéger les couches archéologiques du site, mais peut endommager les objets en surface.

<sup>3</sup> Cf. Annexes, Tableau 3, p.30.



**Note 1 : Préservation *in situ***

**La préservation *in situ*** peut être considérée comme une option prioritaire si la stratégie de préservation ne présente pas de dangers trop importants et que le site peut être stabilisé, contrôlé et protégé.

**L'installation** d'une protection *in situ* doit pouvoir être réversible en cas de fouilles dans le futur et ne doit pas causer de dommages supplémentaires au site.

**4.4. Prélèvement**

Les méthodes de prélèvement doivent être sélectionnées au cas par cas et adaptées en fonction du **format de l'objet**, de sa **fragilité**, de ses **matériaux constitutifs** et de son **milieu d'enfouissement**. Mais dans toutes les situations, il est indispensable que les archéologues procèdent à une documentation des objets (contexte stratigraphique, dimensions, poids, objectif de prélèvement, état de conservation, photographies, schémas).

Les traitements de conservation pouvant être source d'une perte de volume et d'une modification de l'aspect de l'objet, la documentation sur site est très importante.

Dans le cas d'une intervention complexe, il faut que le conservateur-restaurateur se rende sur site pour superviser ou réaliser le prélèvement.

Pour les objets qui sont en **bon état**, ils peuvent majoritairement être prélevés précautionneusement avec les mains et déposés dans un sachet Minigrip<sup>TM</sup> selon le système de conditionnement décrit au point 4.5.

Pour les objets **fragiles et instables structurellement**, deux exemples de prélèvements possibles sont décrits ci-dessous :

- Le prélèvement sur support rigide en milieu terrestre :
  - Déposer soigneusement l'objet sur une plaque en polypropylène cannelé.
  - Disposer des protections en mousse PE sur les bords (longueur) de la plaque.
  - Humidifier l'objet à l'aide d'un pulvérisateur.

- Emballer le tout avec du film plastique de type cellophane afin de créer un emballage étanche.

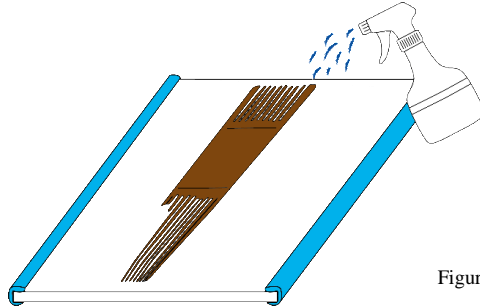


Figure 3 : Plaque en polypropylène cannelé, protégée par des bords en mousse

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020  
inspiré de GAF, 2019

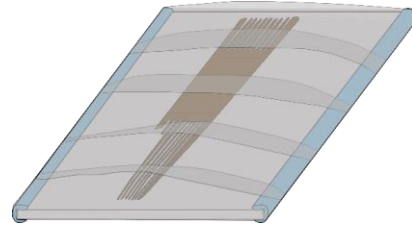


Figure 2 : Plaque en polypropylène cannelé emballée dans du film plastique

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020  
inspiré de GAF, 2019

- Le prélèvement sur support rigide en milieu subaquatique :
  - Déposer soigneusement l'objet sur un support rigide (bois, métal inerte).
  - Entourer de bandes de crêpe en coton Velpeau<sup>4</sup>.
  - Sortir de l'eau délicatement.
  - Réhumidifier si nécessaire.
- Le prélèvement en motte :
  - Dégager soigneusement le sédiment autour de l'objet et sur l'objet grâce à une ouate en coton humide. Creuser une tranchée à l'aide de spatules autour de celui-ci afin de créer une motte. Laisser minimum 5 cm de marge sur les côtés pour éviter que la motte s'effondre et ne pas réaliser des tranchées trop profondes sinon le prélèvement sera trop lourd.
  - Ensermer la motte dans plusieurs couches de film plastique (cellophane) en partant depuis la base.
  - A. Si la motte présente une bonne cohésion, détacher au moyen de truelles et glisser un support rigide dessous. Si le support est en bois, utiliser une interface en plastique (cellophane).
  - B. Si la motte est fragile, appliquer 2 à 3 couches maximum de bandes plâtrées humidifiées sur la surface afin de créer une coque rigide. En variant la direction des

<sup>4</sup> Cf. Annexes, Figure 9, p.21.

bandes de 90°C sur les différentes couches, cela permet d'avoir un meilleur maintien.  
 Détacher puis glisser la motte sur un support rigide.

#### Note 2 : Prélèvement

Dans le cas de figure où le **prélèvement devait durer plusieurs heures ou plusieurs jours** :

- Humidifier régulièrement les vestiges exposés à l'air libre afin d'éviter que le processus de séchage ne débute. Il est possible de vaporiser de l'eau grâce à un pulvérisateur ou de déposer un textile humide sur les objets (draps en coton ou géotextile Bidim®).
- Recouvrir les objets d'une bâche plastique polyéthylène pour éviter l'évaporation.

#### 4.5. Stockage provisoire sur site


Les buts de l'emballage et du stockage sont non seulement de protéger et préserver l'objet de la dégradation, mais aussi de faciliter les interventions et limiter les manipulations.

- Pour les objets en **bon état** dont le format entre dans un sachet Minigrip™ :
  - Employer un bac gerbable munit d'un système d'accrochage pour les sachets Minigrip™ contenant les objets et leurs N°inventaire (Cf. Figures 4-5). Celui-ci peut se préparer au préalable de la fouille et nécessite le matériel suivant :

- Bac gerbable	- Tubes en aluminium	- Perforatrice
- Sachet Minigrip™	- Colle chaude	- Règle
- Mousse Ethafoam™	- Scalpel, cutter	

Ce système a été mis au point par le Service archéologique de Zurich et peut-être réaliser dans divers formats, en fonction du besoin. Pour les petits objets, les étapes de réalisation se trouvent en annexes<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Cf. Annexes, Tableau 4, p.31.

 Service archéologique de l'Etat de Fribourg SAEF  
 Page 8 de 31

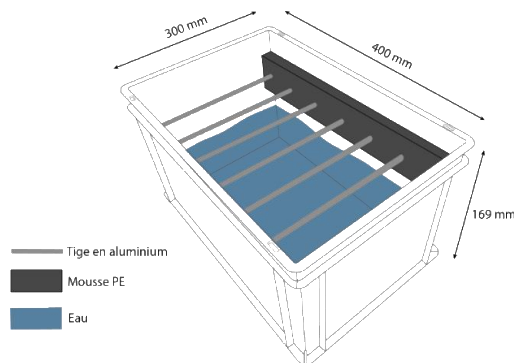


Figure 4 : Conditionnement pour les sachets Minigrip™  
 © HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

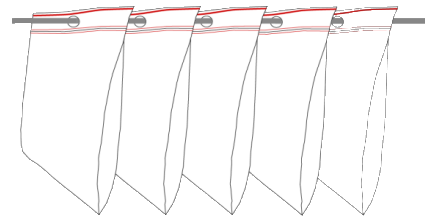


Figure 5 : Sachets Minigrip™ percés  
 suspendus au tube en aluminium  
 © HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

- Si les objets n'entrent pas dans les différents formats de sachets Minigrip™ :
  - Disposer dans des boîtes hermétiques (Tupperware®), des bacs gerbables ou des bassins **remplis d'eau**. Dans le cas où plusieurs objets de ce type sont prélevés et stockés dans le même bac, les objets peuvent être **individualisés** en les entourant de film plastique (pas en excès sinon l'étanchéité empêche l'eau du bassin d'échanger avec le bois) et en plaçant l'étiquette contenant le N° d'inventaire entre deux couches de cellophane.
  - Fermer le contenant au moyen de son couvercle et mettre dans un endroit frais.
- Pour les objets **fragiles et difficilement manipulables** :
  - Disposer à l'abri de la lumière et dans un endroit frais. Si les conditions de fouilles ne le permettent pas, **une couverture de survie** (côté argenté vers l'extérieur), **du papier d'aluminium** ou une **glacière** diminueront l'impact de la chaleur en attendant de pouvoir emporter les objets au laboratoire.
  - Vérifier régulièrement que le taux d'humidité est toujours suffisant et que des moisissures ne se développent pas. Un **mélange eau-éthanol (30 : 70)** peut être pulvérisé sur les objets de façon préventive, notamment dans le cas d'objets prélevés en motte.

### **Note 3 : Stockage provisoire**

Concernant **les bassins et les bacs** remplis d'eau :

- Changer l'eau régulièrement pour éviter les développements de microorganismes et évacuer les minéraux ainsi que la flore.
- Vérifier que le niveau d'eau ne baisse pas, rajouter de l'eau si nécessaire.
- Suivre l'état sanitaire des bacs.

Concernant **les emballages et conditionnements** :

- S'assurer l'emballage soit intact et étanche.
- Vérifier que le conditionnement soit saturé en humidité, réhumidifier si nécessaire.
- Contrôler l'état de conservation des objets et surveiller les développements fongiques.

**Rappel** : Les vestiges doivent être rapatriés le plus rapidement possible de la fouille et amenés dans un laboratoire de conservation-restauration afin d'être traités.

**Rappel** : Conserver les objets dans un endroit frais (entre 5°C et 18°C idéalement) et à l'abri de la lumière.

## **4.6. Conditionnement pour transport**

Pour le transport, il est important de caler les objets dans leurs caisses à l'aide de mousses Ethafoam™ ou de papier bulle et de vérifier que tous les emballages soient étanches et que les bacs soient fermés. Un fond d'eau peut être versé dans les caisses si besoin.

### **Note 4 : Transport**

Pour les objets **contenus en eau** :

- Vider un peu d'eau du contenant.
- Si besoin, recouvrir les objets d'un drap en coton blanc humide pour éviter l'évaporation et pour bien les caler.

**Important** : les draps humides sont des **solutions provisoires** pour éviter le séchage, mais il ne faut pas les laisser sur les objets trop longtemps (risque de développement de moisissures).

## 5. Gestion du mobilier au SAEF

### 5.1. Stockage temporaire

#### 5.1.1. Arrivage

Lorsque les objets en bois gorgé d'eau sont rapatriés au laboratoire, ils doivent être **directement** déposés au frais dans la chambre froide A21<sup>6</sup> (8°C) et les archéologues doivent prévenir de l'arrivée de nouveaux matériaux organiques et transmettre l'inventaire Excel. Dans le local A21, les objets doivent être rangés dans la zone « Arrivage »<sup>7</sup>. Lors de l'importation de l'inventaire Excel sur la base de données SIAF, les objets se voient attribuer un **code de mobilier** ainsi qu'une localisation à l'aide d'un **QR code**. L'arrivage peut se faire dans un second temps si les objets doivent être pris en charge rapidement.

#### 5.1.2. Laboratoire de conservation-restauration

Une fois que l'arrivage est effectué, les objets sont déposés dans le LCR organique :

- Déposer les échantillons pour datation au carbone-14 sur l'étagère « Séchage pour C14 »<sup>8</sup>.
- Déposer les objets secs sur l'étagère « Suite à donner »<sup>9</sup>.
- Déposer les objets humides et gorgés **dans le frigo** en C11<sup>10</sup>. Si le format est trop grand, stocker en A21 et prévenir le conservateur-restaurateur.

**Important :** Mettre à jour les déplacements d'objets et leur localisation dans la base de données.

Ensuite, les tâches du conservateur-restaurateur sont les suivantes :

- Vérifier l'état de l'emballage et le refaire si nécessaire.
- Pour les objets contenus en eau, remplacer par de l'eau déminéralisée.
- Remplacer les emballages en bandes de crêpe par du film plastique.
- Réaliser un constat d'état et documenter l'état de dégradation des objets.
- Attribuer une tâche sur SIAF. En attente de traitement, le mobilier reste au frais en C11 ou en A21.

**Important :** Le stockage provisoire doit faire l'objet d'un suivi régulier et d'un entretien selon la « Note 3 : Stockage provisoire » à la page 9.

---

<sup>6</sup> Cf. Annexes, Figure 10, p.22.

<sup>7</sup> Cf. Annexes, Figures 11-12, p.22-23.

<sup>8</sup> Cf. Annexes, Figure 13, p.23.

<sup>9</sup> Cf. Annexes, Figure 14, p.24.

<sup>10</sup> Cf. Annexes, Figure 15, p.24.

## 5.2. Traitements de conservation-restauration

**Important** : Concernant les interventions de stabilisation par imprégnation au PEG et séchage, se référer au protocole de traitement réalisé par Mme Emmanuelle Forster.

### 5.2.1. Tri par type d'inventaire

- Les objets pour **conservation à dater** :
  - Procéder à un échantillonnage sur un objet, remettre l'objet en C11 ou A21 en attente de traitement.
  - A. Si l'échantillon est pour datation au carbone-14, mettre à sécher sur l'étagère au laboratoire C02 et puis mettre au dépôt pour échantillon.
  - B. Si l'échantillon est pour détermination d'essence ou un autre examen, l'échantillon est mis au frais en A21<sup>11</sup>.
- Les objets pour **conservation** :
  - Laisser au frais en attente de traitement en C11 ou A21.
- Les échantillons **carbone-14** :
  - Mettre à sécher au LCR.
  - Stocker dans le dépôt des échantillons <sup>14</sup>C.
- Les échantillons pour la **dendrochronologie** :
  - Mettre sous vide.
  - Stocker dans le dépôt des échantillons pour dendrochronologie<sup>12</sup>.

### 5.2.2. Nettoyage avant traitement

Suite à l'extraction d'un vestige de son milieu d'enfouissement, il est fréquent que du sédiment recouvre encore en partie l'objet. Les objets peuvent donc être nettoyés au LCR sous la supervision d'un conservateur-restaurateur.

Un nettoyage mécanique permet donc **de révéler l'objet**, mais aussi de **réduire les risques de prolifération bactérienne** dont la terre est souvent le substrat. Cependant, avant de réaliser un

---

<sup>11</sup> Cf. Annexes, Figure 12, p.23.

<sup>12</sup> Cf. Annexes, Figures 16-17, p.25.

dégagement et un nettoyage, il faut veiller à ce que le sédiment n'assure pas la cohésion et la stabilité de l'objet si celui-ci est fragile.

Les nettoyages mécaniques peuvent se faire avec les techniques suivantes :

- Nettoyer sous eau courante avec : main, éponge, pinceau et brosse douce, outils en bois ou en plastique.
- Nettoyer au moyen d'un aérographe pulvérisant de l'eau ou d'un karcher à vapeur d'eau (pour les objets grands formats). Adapter le débit d'eau éjectée en fonction de la fragilité de l'objet<sup>13</sup>.

#### **Note 5 : Nettoyage**

Le bois gorgé d'eau ayant une faible résistance mécanique, il faut être très **délicat** afin d'éviter l'abrasion ou la déformation des vestiges. Il faut essayer de limiter la manipulation au maximum et ne pas employer des outils trop solides.

- Retirer au plus vite les restes de sédiment pour éviter les développements de microorganismes et de bactéries. **À condition que le sédiment n'ait pas une fonction de maintien pour l'objet !**
- Si le nettoyage s'effectue hors de l'eau, veiller à ce l'objet reste constamment humide.
- Si le nettoyage dure plusieurs jours, humidifier les objets et stocker dans un frigo entre les interventions.

#### **5.2.3. Bains de lessivage**

Les bains de lessivage permettent d'évacuer au maximum les sulfures/oxydes de fer et la flore accumulés en milieu d'enfouissement et d'ainsi de réduire le développement de microorganismes et d'éviter des complications comme les efflorescences calcaires.

#### **Note 6 : Bains de lessivage**

- Stocker les objets dans de l'eau déminéralisée et la changer régulièrement.
- Une eau trouble indique une **anomalie**. Si l'eau n'est plus claire, il faut la changer !
- Si des microorganismes prolifèrent, vider le bac et le désinfecter à l'éthanol avant de recommencer le traitement.

---

<sup>13</sup> Cf. Annexes, Figure 18, p.26.



#### 5.2.4. Nettoyage après séchage

Après le séchage, des résidus de PEG peuvent recouvrir la surface de l'objet<sup>14</sup>.

Ceux-ci peuvent être retirés de plusieurs manières :

- S'ils sont poudreux et superficiels : nettoyage au pinceau.
- S'ils sont incrustés : coton imbibé d'éthanol, à l'eau chaude ou à l'aide d'un pistolet à air chaud.

Si besoin, les objets peuvent ensuite bénéficier d'un collage ou d'un comblement. Le Musée national suisse utilise les produits suivants :

- Collage avec le mélange suivant : 90% Klucel G (dilué à 3% dans de l'éthanol) et 10% Paraloid B72 (dilué à 15% dans de l'acétone).
- Comblement : 30% du mélange pour le collage et 70% de charges (ex. : poudre de liège) puis retouches à l'aquarelle.

**Important :** Toujours réaliser un suivi des interventions et de leur statut sur SIAF afin d'avoir une traçabilité optimale des collections et de leurs traitements.

### 5.3. **Stockage définitif**

#### 5.3.1. Conditionnement

Suite aux traitements de stabilisation et de restauration, les objets en bois secs sont conditionnés et stockés en réserves A22<sup>15</sup>. Un travail de reconditionnement dans les réserves de la manière suivante est en cours<sup>16</sup> :

- Pour **tous** les conditionnements :
  - Utiliser de la mousse en polyéthylène Ethafoam™ pour caler les objets.
  - Si une contre-forme est réalisée pour y insérer l'objet, disposer une interface en Tyvek™.
- Pour les objets qui ont été stabilisés par un traitement de **PEG à saturation-séchage contrôlé** :
  - Conditionner dans un contenant en carton non acide.
- Pour les objets qui ont été stabilisés par un traitement **PEG-lyophilisation** :
  - Conditionner dans un contenant fermé, de préférence en plastique transparent et sinon en carton non acide.
  - Disposer une photographie sur la boîte si celle-ci n'est pas transparente.

---

<sup>14</sup> Cf. Annexes, Figure 19, p.26.

<sup>15</sup> Cf. Annexes, Figure 20, p.27.

<sup>16</sup> Cf. Annexes, Figures 21-22, p.27-28.

- Coller l'étiquette contenant le N° d'inventaire sur la boîte.
- Pour les objets au **format spécial** :
  - Réaliser un conditionnement en carton non acide sur mesure.
  - Réaliser une contre-forme en mousse PE Ethafoam™ pour accueillir l'objet.
  - Coller une photographique ainsi que l'étiquette sur le couvercle.

**Note 7 : Emballage définitif**

Les conditionnements provisoires en carton acide sont substitués par des **matériaux inertes et plus stables** pour le stockage définitif (mousse en polyéthylène, carton non acide, non-tissé de fibres de polyéthylène Tyvek™...). Les nouveaux conditionnements peuvent regrouper dans une boîte les objets d'un même site et dont la typologie est similaire afin d'optimiser l'espace disponible.

5.3.2. Conservation préventive**Note 7 : Conservation préventive**

- Maintenir une température entre **18°C et 25°C** et une humidité relative entre **50% et 55%**
- Protéger les objets de la lumière : ne pas dépasser **150 lux**.

**Important :** S'assurer que les systèmes de régulation (humidificateur et déshumidificateur) soient fonctionnels et que l'environnement est stable !

**6. Matériel nécessaire**

Étape Matériel	Préservation <i>in situ</i>	Prélèvement	Emballage et stockage	Nettoyage	Mise en réserve
Aérographe				X	
Bacs gerbables		X	X	X	
Bandes de crêpe en coton Velpeau		X	X		
Bâche plastique		X	X		
Bande plâtrée		X			

	Préservation in situ	Prélèvement	Emballage et stockage	Nettoyage	Mise en réserve
Boîtes hermétiques		X	X	X	X
Boîtes transparentes					X
Carton non acide					X
Couverture de survie			X		
Draps en coton		X	X		
Éponges				X	
Filets en polypropylène	X				
Film plastique		X	X		
Géotextile Bidim®	X	X	X		
Glacière			X		
Mousse Ethafoam™			X		X
Natte de sable	X				
Ouate en coton		X		X	
Papier aluminium			X		
Papier bulle			X		
Pinceaux				X	
Plaques en polypropylène cannelé		X			
Protections de bords en mousse PE		X			
Pulvérisateur		X	X	X	
Sachets Minigrip™		X	X		
Supports rigides		X			
Spatules, truelles, outils en bois		X		X	
Systèmes de stabilisation de l'eau			X	X	
Tubes en aluminium			X		

Tableau 1 : Récapitulatif des ressources matérielles par étape



ETAT DE FRIBOURG  
STAAT FREIBURG

Service archéologique de l'Etat de Fribourg  
Planche-Supérieure 13, 1700 Fribourg

Service archéologique de l'Etat de Fribourg SAEF  
Amt für Archäologie des Kantons Freiburg AAFR

Planche-Supérieure 13, 1700 Fribourg  
Obere Matte 13, 1700 Freiburg

T +41 26 305 82 00, F +41 26 305 82 01  
saef@fr.ch, www.fr.ch/saef

## 7. Logigramme récapitulatif

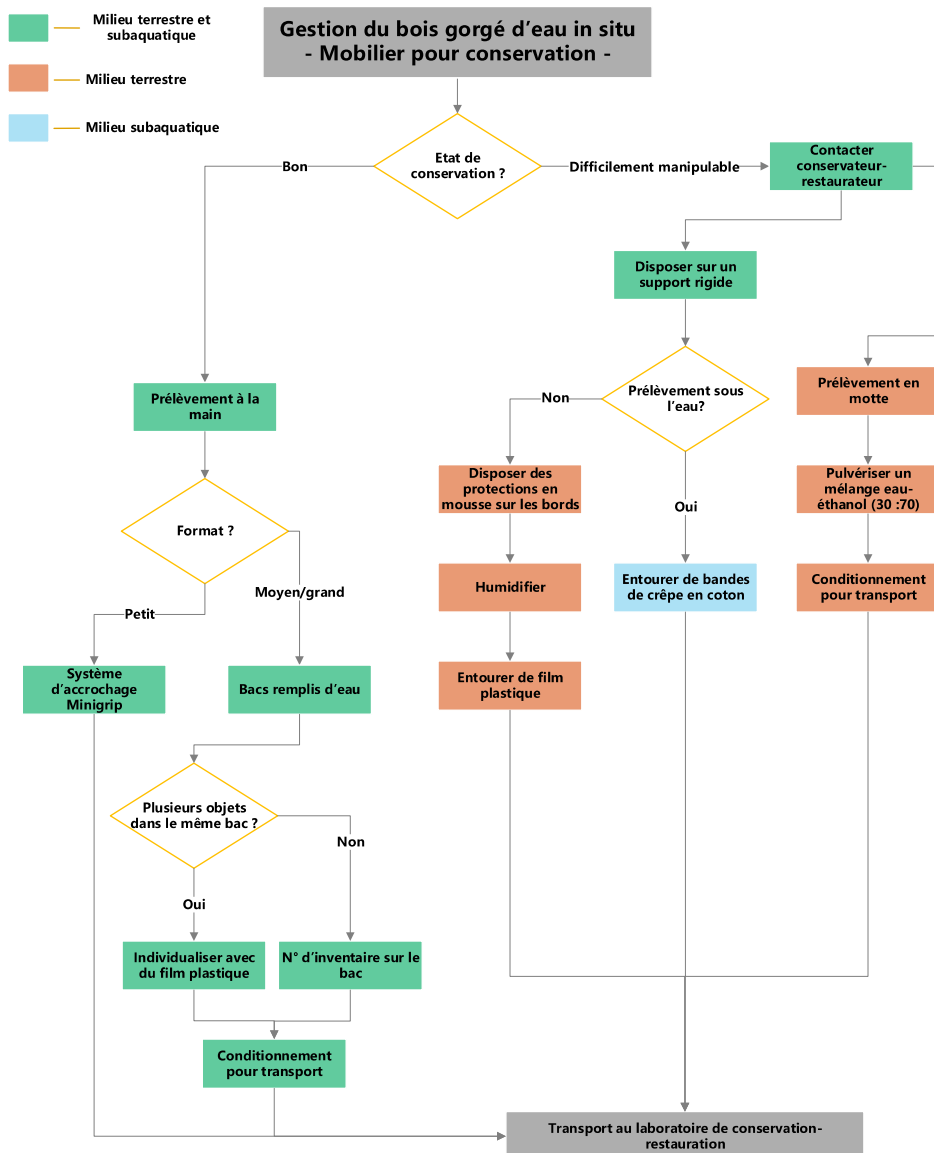


Figure 6 : Chaîne opératoire et prise de décisions in situ pour le mobilier à conserver

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

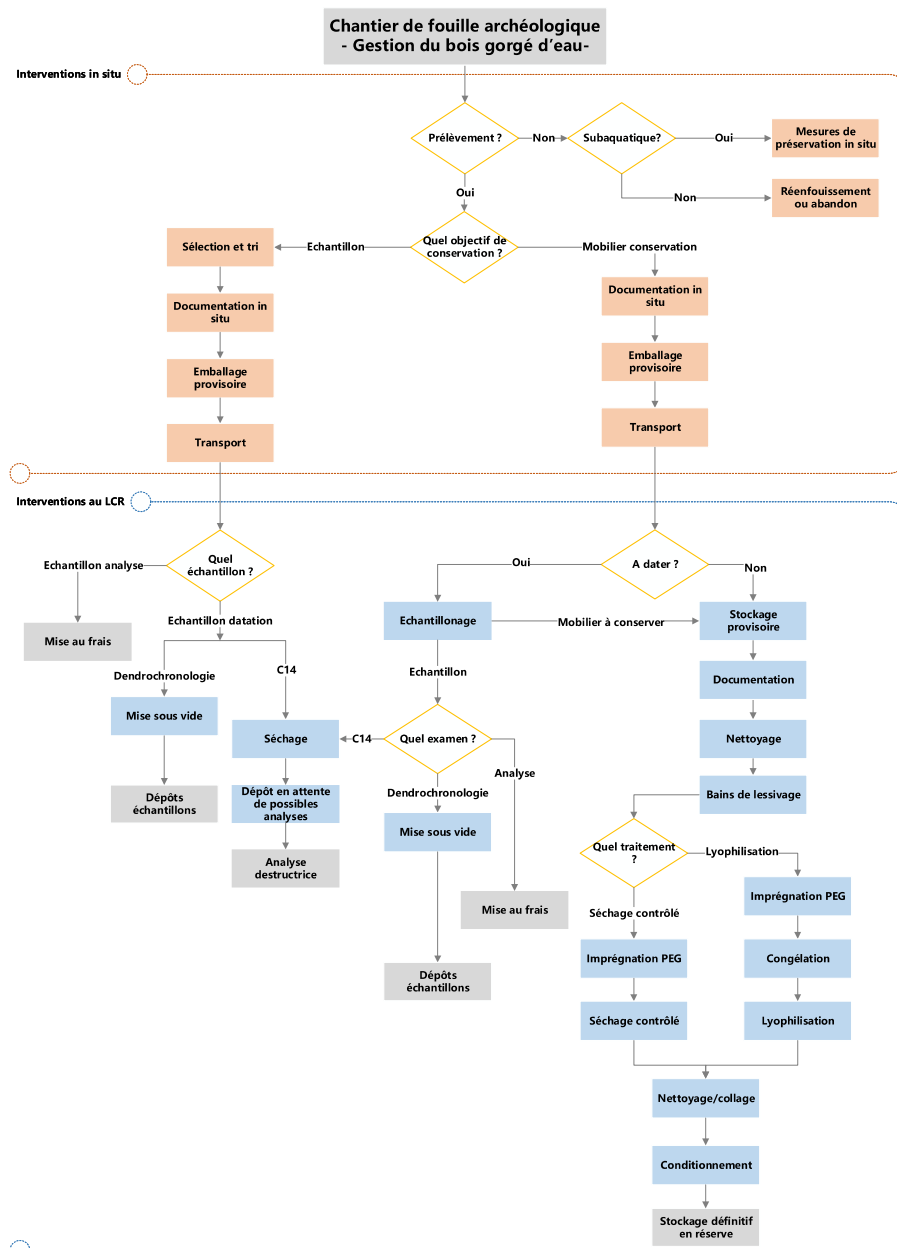


Figure 7 : Chaîne archéologique des bois gorgés d'eau au SAEF

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

## 8. Bibliographie

- Berducou, Marie-Claude. *La conservation en archéologie : méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*. Masson, Paris, 1990.
- Chaumat, Gilles *et al.* *Conservation-restauration du bois archéologique gorgé d'eau*. Techniques de l'Ingénieur, no. N4250 V1, 2017.
- Chaumat, Gilles *et al.* « Les techniques actuelles de conservation mises en œuvre par ARC-Nucléart ». In Bernard-Maugiron, Henri (dir.). *Sauvé des eaux : le patrimoine archéologique en bois : histoires de fouilles et de restauration*. ARC-Nucléart, Grenoble, 2007, p.169-178.
- Chaumat, Gilles. *Utilisation du procédé PEG/Lyophilisation pour traiter les bois archéologiques : Exposé du 24 Janvier 2019*. Atelier régional de conservation Nucléart, Grenoble, 2019.
- Coles, John M. *Waterlogged wood: Guidelines on the recording, sampling, conservation and curation of structural wood : proceedings of a conference sponsored by WARP and English Heritage on 15 January 1990*. English Heritage, Londres, 1990. WARP occasional paper, no.3.
- DRASSM. *Guide de conservation*. Ministère de la culture, Marseille, 2011.
- DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart. *Guide de conservation préventive du mobilier archéologique découvert en milieu sous-marin*. DRASSM et Laboratoire Arc-Nucléart, non daté, non publié.
- Evéha. *Le bois (et le cuir) gorgé d'eau douce : Traitement et conservation : Procédure : du terrain à la base*. Protocole et recommandations. 2015, non publié.
- Flieger, Françoise et Capderou, Christine. *Sauvegarde des collections du Patrimoine : la lutte contre les détériorations biologiques*. CNRS éditions, Paris, 1999.
- Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF). *Guide de conservation pour le mobilier sensible : sur le terrain*. Guide pour le personnel intervenant. 2016, non publié.
- Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF). *Guide de prélèvement du mobilier sur le terrain*. Guide pour le personnel intervenant. 2019, non publié.
- Grattan, David W. « A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood ». *Studies in Conservation*, vol. 27, no. 3, 1982, p. 124-136.
- Guyon, Marc. « Méthodologie d'une fouille d'épaves en milieu terrestre ». In *Archaeonautica. Les épaves de Saint-Georges : Lyon : Ier-XVIIIe siècles*. Archaeonautica, 2010, vol. 16, p. 25-33.

- Jasinski, Marc. « L'archéologie subaquatique : mythe ou réalité ? ». In Horevoets, Michäel (dir.). *Archéologie des lacs et des rivières : histoire, techniques et apports en France, France et Suisse*. CEDARC, Treignes, 2017, p.7-9. Guides archéologiques du « Malgré-Tout ».
- Lemoine, Gwenaëlle *et al.* « Les polyéthylènes glycols en conservation des matériaux organiques archéologiques ». In Association des restaurateurs d'art et d'archéologie de formation universitaire. *Biographie de l'objet : actes des Journée des restaurateurs en archéologie organisées par le laboratoire Materia Viva Toulouse*. ARAAFU, Paris, 2019. Conservation-restauration des biens culturels, Cahier technique, no. 24.
- Manders, Martjin René. *Guideline for protection of submerged wooden cultural heritage, including cost-benefit analysis*. WreckProtect, 2011.
- Manders, Martjin René. « La protection in situ d'un navire marchand du VIIe siècle aux Pays-Bas ». In Grenier, Robert *et al.* *Underwater cultural heritage at risk: Managing cultural and human impacts*. Heritage at Risk, 2006, p.70-73.
- Manders, Martjin René. « Préserver in situ : l'option prioritaire ». In UNESCO. *Le patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2008, p.34-44. Museum international, no. 240.
- Mesic, Jasen. « Un patrimoine ressource pour le développement durable : le cas de la Croatie ». In UNESCO. *Le patrimoine culturel subaquatique*. UNESCO, Paris, 2008, p.97-106. Museum international, no. 240.
- Pétrequin, Pierre. « La protection du lac de Chalain (Fontenu, Jura, France) : dix ans après (1995-2004) ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.89-97. Archéologie et érosion, 2.
- Ramseyer, Denis. « Protection d'un site archéologique sur la presqu'île de Greng, lac de Morat ». In Ramseyer, Denis. *Zones humides en péril : actes de la deuxième Rencontre Internationale Neuchâtel 23 – 25 septembre 2004*. Centre jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, 2006, p.38-45. Archéologie et érosion, 2.
- Reboul, Lila. *Conservation préventive en milieu isolé : les fouilles sous-marines des épaves de la Natière à Saint-Malo*. DRASSM, Marseille, 2008.
- Reboul, Lila. *From excavation to lab : the on-site conservation of The Natière shipwrecks artifacts*. Conference on Historical and Underwater archaeology, Toronto, 2009.

Richards, Vicki. *In Situ Preservation – Application of a Process-Based Approach to the Management of Underwater Cultural Heritage*. The Museum of Underwater Archeology, 2011

T.116 Sites archéologiques [En ligne]. Plan directeur cantonal – État de Fribourg [consulté le 13.07.2020]. <http://geo.fr.ch/PDCantC/?themestoexpand=T116>

UNESCO. *La sauvegarde du patrimoine subaquatique*. UNESCO, Paris, 1984. Protection du patrimoine culturel : cahiers techniques, musées et monuments, no.4.

#### Entretiens

- Echanges continus avec **Mme Emmanuelle Forster**, conservatrice-restauratrice au SAEF.
- Entretien téléphonique le 26.03.20 avec **M. David Cuendet**, conservateur-restaurateur au MCAHL.
- Entretien téléphonique le 14.04.20 avec **Mme Gwenaëlle Lemoine**, conservatrice-restauratrice au laboratoire L'Arc Antique.
- Entretien téléphonique le 12.05.20 avec **M. Léonard Kramer**, assistant scientifique (secteur Pré-Protohistoire), gestion des fouilles subaquatiques au SAEF.
- Entretien téléphonique 11.06.20 avec **M. Gilles Chaumat** (ingénieur, adjoint scientifique et technique) et **Mme Laure Meunier** (conservatrice-restauratrice) à ARC-Nucléart.
- Entretien le 30.06.20 avec **Mme Gaëlle Liengme**, conservatrice-restauratrice au Musée national suisse.
- Entretien le 23.06.20 avec **M. Loïc Caillat**, assistant-ingénieur-biologiste pour ARC-Nucléart.
- Entretien le 06.07.20 avec **M. David Cuendet**, conservateur-restaurateur au MCAHL.
- Entretien le 10.07.20 avec **Mme Friederike Moll-Dau**, conservatrice-restauratrice au ASB.



## 9. Annexes

### 9.1. Figures



Figure 8 : Eléments en bois dont la structure s'est effondrée suite à la dessiccation des cellules gorgées d'eau

© HE-arc, Laura Flückiger, 2020, - DABC à Lucens, MCAHL



Figure 9 : Prélèvement subaquatique à l'aide de bandes de crêpe en coton Velpeau

©T. Seguin - Reboul, 2009



Figure 10 : Chambre froide A21 au SAEF

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF

Stockage de petit mobilier en attente de traitement	
Stockage de petit mobilier en attente de traitement	
Mobilier en cours de traitement	Zone Arrivage
Mobilier lourd en attente de traitement et/ou analyse	Zone en attente de tamisage

Figure 11 : Contenu des rayons de la rangée A en A21

© Inspiré de SAEF

Échantillons/prélèvements en attente d'analyse
Échantillons/prélèvements en attente d'analyse
Échantillons/prélèvements en attente d'analyse
Stockage mobilier lourd en attente de traitement

Figure 12 : Contenu des rayons de la rangée B en A21

© Inspiré de SAEF



Figure 13 : Zone de séchage pour les échantillons  $^{14}\text{C}$  au LCR

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF


 Service archéologique de l'Etat de Fribourg SAEF  
Page 24 de 31



Figure 14 : Étagère pour les objets secs "Suite à donner"

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF

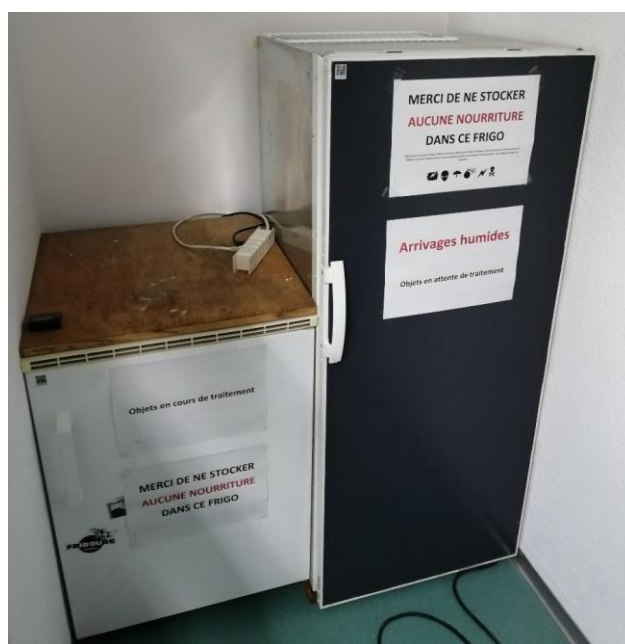


Figure 15 : Zone de stockage provisoire en C11

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF





Figure 16 : Dépôts échantillons pour dendrochronologie

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF



Figure 17 : Échantillons pour dendrochronologie mis sous vide

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF



Figure 18 : Aérographe pour le nettoyage mécanique

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF



Figure 19 : Résidus de PEG visibles à la surface de l'objet après le traitement de stabilisation

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 – Service archéologique du canton de Berne



Figure 20 : Réserve A22 pour le stockage définitif des matériaux organiques

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF



Figure 21 : Ancien conditionnement des matériaux organiques au moyen de carton acide

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF





© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020 - SAEF



## 9.2. Tableaux

Matériel indispensable pour la conservation des bois gorgés d'eau <i>in situ</i> <sup>17, 18, 19</sup>	
Prélèvement et emballage	
- Plaque en polypropylène cannelée ou polystyrène	- Bandes plâtrées
- Protection de bords en mousse PE	- Plâtre céramique
- Film plastique (PE)	- Pulvérisateur
- Bande de crêpe Velpeau (100% coton)	- Ciseaux
- Géotextile (Bidim® ou SYTEC Terrafix B)	- Cutter
- Étiquettes imperméables	- Crayon
- Truelle / Spatule	- Ouate en coton
Stockage provisoire et conditionnement	
- Minigrip™	- Matériel de calage (mousse PE, papier bulle)
- Bassines et bacs gerbables (RAKO™) avec couvercles	- Couverture de survie
- Boîtes transparentes hermétiques (Tupperware®)	- Glacière
- Draps blancs en coton	- Bâche plastique (objets grands formats)
- Rouleau d'aluminium	- Seau
Conservation-restauration <i>in situ</i>	
- Brosses et pinceaux souples	- Pulvérisateur
- Outils en bois/plastique	- Éponges
- Gants imperméables	- Kit de consolidation
- Mélange eau – éthanol (30 : 70)	- Pipettes

Tableau 2 : Kit de matériel pour la conservation-restauration des bois gorgés d'eau *in situ*

<sup>17</sup> DRASSM, p.25

<sup>18</sup> Gestionnaires des Archives de Fouilles (GAF), 2019, p.25.

<sup>19</sup> Enquête auprès d'institutions suisses et françaises.

### Terminologie des types d'inventaire

Les termes utilisés pour les types d'inventaire sont les suivants :

- **Prélèvement** : Malgré que ce terme soit employé pour définir l'extraction d'un objet de son milieu, dès qu'il s'agit d'un type d'inventaire, le prélèvement désigne une masse de sédiment qui fera l'objet d'un tamisage.
- **Echantillon** : L'échantillon désigne un matériau organique destiné à l'analyse. Il peut s'agir d'un écofact, ou d'un fragment d'artefact. L'échantillonnage consiste en l'extraction d'un fragment d'un objet afin d'en faire examiner cette partie. Dans le cas de pilotis, l'échantillon représente la rondelle sciée pour dendrochronologie.
  - **Echantillon analyse** : Bois pour détermination d'essence
  - **Echantillon datation** : Bois pour datation par  $^{14}\text{C}$  ou dendrochronologie
- **Mobilier** : Le mobilier est un terme utilisé pour les artefacts et vestiges en bois qui ont pour vocation d'être conservés et stabilisés. Ceux-ci font l'objet de traitement de conservation-restauration. Dans l'éventualité d'une analyse sur un objet qui doit être conservé, un échantillonnage peut être effectué. Le fragment extrait devient un « échantillon datation ou analyse » et le reste de l'objet est toujours classé comme « mobilier ».

Tableau 3 : Définition des termes utilisés pour les types d'inventaire

### Réalisation du système d'accrochage pour Minigrip™

Format de Minigrip 125 mm x 100 mm

1. Scier des tubes en aluminium de 1cm de diamètre pour obtenir des tiges de 27 cm de longueur.
2. Découper deux mousses PE noires au format 40 cm x 4 cm x 4 cm.
3. En fonction du nombre de tubes désirés, découper des entailles de 0.6 cm x 2.5 cm x 2 cm dans chacune des mousses afin de venir y insérer les tubes (Cf. Figure 23).

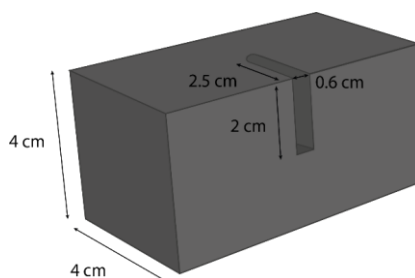


Figure 23 : Schéma d'une entaille dans la mousse  
 PE pour accueillir un tube en aluminium

© HE-Arc, Laura Flückiger, 2020

4. Coller les mousses à la colle chaude sur les longueurs de la caisse en laissant 1.5 cm de marge en haut pour le couvercle.
5. Si les sachets Minigrip™ ne sont pas percés, réaliser des trous avec une perforatrice. L'entaille ou l'ouverture permettant d'insérer le tube peut aussi se faire au scalpel au centre de la partie supérieure.
6. Une fois sur le site de fouille, remplir la moitié de la caisse d'eau et insérer les sachets sur les tubes.
7. Remettre le couvercle pour garder le conditionnement à l'abri de la lumière.

Ce conditionnement permet non seulement d'organiser le rangement des vestiges et de les maintenir en eau, mais aussi, de réduire les contraintes physiques induites par l'empilement des sachets dans une caisse. De plus, si la caisse est transportée, les mouvements et chocs pouvant provoquer des dégâts sont amoindris.

Tableau 4 : Marche à suivre pour réaliser un système d'accrochage pour de petits objets

## D. Fiche pratique pour les archéologues

## Prise en charge, sur le terrain, du matériel archéologique: **bois gorgé d'eau**



### Bois gorgé d'eau - milieu terrestre et subaquatique

#### Prélèvement :

- Garder humide !  
→ humidifier régulièrement
- Manipuler le moins possible  
→ utiliser des supports rigides

#### Transport :

- Vider un peu d'eau des bacs, (si besoin, déposer un tissu humide en coton)
- Caler les objets (avec mousse PE, papier bulle ou tissu)

#### Emballage :

- Emballage étanche avec cellophane  
→ placer l'étiquette entre deux couches de cellophane
- Stockage en eau dans des bacs

#### Recommandations :

- **Toujours maintenir gorgé d'eau !**
- 🚚 Amener rapidement au SAEF
- **Déposer directement** dans la chambre froide A21 et prévenir LCR

#### Stockage :

- Garder au frais et à l'abri de la lumière
- Vérifier que les emballages soient étanches
- Surveiller l'état sanitaire des bacs

#### Prélèvements pour analyses

Décider in situ et spécifier si le bois doit faire l'objet d'une analyse C14, d'une dendrochronologie ou autres.