

# **Conception et réalisation de conditionnements pour deux crânes fossiles du musée Jurassica, permettant leur consultation sans manipulation directe**

Mémoire présenté par :

Kakou Elvire

Pour l'obtention du

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

Année académique 2023-2024

Remise du travail : 15.07.2024

Jury : 27.08.2024

Nombre de pages : 54

HE-Arc CR, Bachelor of Arts HES-SO en Conservation

Kakou Elvire, *Conception et réalisation de conditionnements pour deux crânes fossiles*, 15.07.2024

---

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 :

Neuchâtel, le 15 juillet 2024

## Remerciements

J'adresse tout d'abord mes remerciements à l'ensemble des collaborateurs et collaboratrices de Jurassica, ainsi qu'à son directeur, M. Damien Becker, pour leur accueil chaleureux au sein de leur institution pendant toute la période de réalisation de ce travail et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour mon projet.

Parmi ces collaborateurs, je souhaite particulièrement remercier les quatre personnes suivantes.

En premier lieu, je remercie M. Renaud Roch, préparateur restaurateur, mon maître de stage, pour son accompagnement bienveillant et sa disponibilité pour m'aider, répondre à mes questions et me conseiller.

Je remercie également M. Olivier Maridet, conservateur du Museum, de m'avoir proposé ce sujet de travail passionnant.

J'adresse également mes remerciements à M. Davit Vasilyan, responsable des services scientifiques, pour m'avoir transmis les informations au sujet du contexte entourant les deux spécimens concernés par mon travail et avoir répondu à toutes mes interrogations.

Je remercie également M. Jérémy Anquetin, responsable recherche et formation, pour avoir pris le temps de m'enseigner l'utilisation du scanner 3D.

Je souhaite ensuite remercier les cinq membres du Collège de Bachelor de la HE-Arc, M. Régis Bertholon, Mme Bluenn Boulangé, M. Thierry Jacot, Mme Janine Meier et M. Tobias Schenkel, pour leurs précieux conseils prodigués depuis le début de la phase de préparation de ce travail.

J'adresse un remerciement particulier à M. Gaëtan Bussy, lab manager du FabLab de Neuchâtel, pour sa grande disponibilité, l'enthousiasme manifesté à l'égard de mon projet et le temps consacré à m'enseigner l'utilisation des outils de modélisation et d'usinage.

Je souhaite également remercier tous mes proches qui m'ont soutenue et encouragée pendant ma formation et la réalisation de ce travail

Je remercie tout particulièrement l'ensemble de la volée de Bachelor 2021-2024, dont la présence pendant ces trois ans a grandement contribué au plaisir de l'apprentissage.

Et finalement, un grand merci à ma maman et à Loïc, pour la relecture, et pour leur soutien inestimable, en particulier lors de la dernière ligne droite.

## Table des matières

Remerciements.....	1
Résumé.....	4
Abstract.....	5
1 Introduction .....	6
1.1 Mandat et objectifs.....	6
1.2 Méthodologie.....	6
1.3 Conditionnements réversibles en paléontologie .....	7
2 Présentation des objets.....	9
2.1 Contexte .....	9
2.2 Description .....	10
2.3 Valeurs culturelles .....	11
2.4 Matériaux .....	11
2.5 Traitements précédents.....	13
2.6 Conditions de conservation.....	14
3 Constats d'état, diagnostics et pronostic .....	15
3.1 Constat d'état de GRC-123 .....	15
3.2 Diagnostic de GRC-123 .....	18
3.3 Constat d'état de GRC-160 .....	18
3.4 Diagnostic de GRC-160 .....	21
3.5 Pronostic .....	21
4 Conditionnement.....	22
4.1 Choix des matériaux .....	22
4.1.1 Mousse.....	22
4.1.2 Plastique cannelé.....	24
4.1.3 Quincaillerie.....	25
4.2 Conception des conditionnements .....	25
4.3 Réalisation des conditionnements.....	27

4.3.1	Numérisation des objets.....	27
4.3.2	Modélisation des supports .....	29
4.3.3	Usinage des supports.....	32
4.3.4	Construction de la boîte .....	34
4.3.5	Assemblage et résultat final.....	36
5	Conclusion .....	39
6	Références bibliographiques.....	41
7	Crédits des images.....	45
8	Liste des figures.....	46
9	Liste des tableaux .....	47
10	Glossaire.....	48
11	Annexes.....	50
11.1	Matériaux et fournisseurs .....	50
11.2	Procédure pour la modélisation des conditionnements en mousse dans Blender.....	51

## Résumé

Le musée Jurassica souhaite la réalisation de conditionnements pour deux fossiles : un crâne de crocodile et un crâne de castor. Leur forme plate et allongée, avec de petits os saillants, les rend sensibles aux altérations physiques s'ils ne sont pas conservés et manipulés de façon appropriée. De plus, ces spécimens présentent de nombreuses fissures et cassures qui les fragilisent, même si un traitement de consolidation les a stabilisés.

Ces conditionnements doivent donc servir à la manipulation indirecte des spécimens et leur assurer un soutien permanent, tout en permettant la consultation de leurs deux faces. Un concept de conditionnement répondant à cette demande a été développé. Il consiste en une boîte en deux parties, contenant chacune un support en mousse découpé à la forme de l'objet qui est placé en son milieu.

Le conditionnement peut être retourné sans que l'objet bouge à l'intérieur et peut être ouvert sur les deux faces, permettant la consultation de l'objet complet sans le sortir du conditionnement, et donc sans manipulation directe. Le logement des objets dans les supports en mousse assure une surface de contact maximale pour les soutenir, quelle que soit la face sur laquelle ils reposent. Des créneaux découpés dans la mousse permettent l'emboîtement précis des deux moitiés.

Afin de réaliser ce concept, les objets ont été scannés en trois dimensions et les supports ont été modélisés par ordinateur. Ces modèles numériques ont été utilisés pour découper la mousse de polyéthylène à l'aide d'une fraiseuse CNC. Ces techniques ont permis la création d'empreintes très précises des objets dans leur conditionnement.

Bien qu'un des conditionnements n'ait pas pu être terminé en raison de problèmes techniques, l'achèvement de l'autre conditionnement montre que le concept développé a permis de répondre aux objectifs liés aux besoins de conservation de ces deux fossiles. De plus, les techniques numériques ont permis d'obtenir une précision impossible à atteindre manuellement.

## **Abstract**

The Jurassica museum would like a conservation packaging to be made for two fossils: a crocodile skull and a beaver skull. Their flat and elongated shape, with little protruding bones makes them susceptible to physical alterations if they are not properly preserved and handled. Furthermore, these specimens have many cracks and fractures, which further weaken them, even if they have been stabilised by a consolidation treatment.

This packaging should therefore be used for the indirect handling of these specimens and provide them with permanent support, while allowing for examination of both their sides. A packaging concept meeting these specifications was developed. It consists of a two-part box, each one containing a foam support cut to the shape of the object which is placed in the middle.

The packaging can be turned upside down without the object moving inside and can be opened on both sides, allowing for the viewing of the whole object without removing it from the packaging and, therefore, without direct handling. The objects' housing in the foam supports ensures a maximum contact surface to support them, whichever side they lie on. Crenelation shapes cut into the foam allow the two halves to fit together precisely.

To implement this concept, the objects were scanned in three dimensions and the supports were digitally modelled. These digital models were used to mill the polyethylene foam using a CNC machine. These techniques made it possible very precise imprints of the objects in their packaging.

Although one of the packagings could not be finished due to technical issues, the completion of the other one shows that the concept was able to meet the objectives determined by the conservation needs of these two fossils. Furthermore, the digital techniques made it possible to reach a level of precision that would be impossible to achieve by hand.



# 1 Introduction

## 1.1 Mandat et objectifs

Jurassica, institution muséale et de recherche consacrée aux sciences naturelles et située à Porrentruy (JU), possède une très large collection paléontologique. Au sein de cette collection, certains objets présentent des caractéristiques qui les rendent particulièrement fragiles et délicats à manipuler : faible épaisseur, fissures et cassures, petits éléments saillants. C'est le cas de deux crânes fossilisés provenant de la mine de Gračanica en Bosnie-Herzégovine, un crâne de crocodile et un crâne de castor, sur lesquels porte ce travail de Bachelor HES en conservation.

Bien que ces deux fossiles soient stables, les risques d'altérations physiques en cas de mauvaise conservation ou manipulation sont élevés. La demande de l'institution est donc de fabriquer des conditionnements pour les deux spécimens, permettant de les conserver et de les manipuler de manière sûre, minimisant ainsi les risques d'altérations. Ces spécimens sont destinés à être conservés dans de nouveaux meubles du centre de recherche et de conservation des collections et à être étudiés dans le cadre de la recherche en paléontologie.

L'objectif de ce travail de diplôme est donc la réalisation de boîtes de conditionnement pour les deux crânes fossiles, permettant la consultation des deux faces des spécimens sans manipulation directe. Pour que les boîtes de conditionnements remplissent pleinement leur mission, elles doivent correspondre aux critères suivants :

- Assurer une surface de contact maximale avec les spécimens, pour leur garantir un soutien favorisant leur conservation à long terme ;
- Une fois fermées, pouvoir être retournées sans que le spécimen bouge à l'intérieur, afin de pouvoir consulter ses deux faces ;
- Pouvoir être refermées facilement sans créer de frottement sur le spécimen en essayant d'ajuster les parties supérieures et inférieures du conditionnement.

Ce travail applique donc les méthodes de conservation préventive pour le développement de conditionnements répondant à ces demandes.

## 1.2 Méthodologie

La méthode suivie pour la réalisation de ce travail peut être synthétisée en neuf étapes.

1. J'ai tout d'abord effectué une documentation des spécimens, afin d'avoir en ma possession des informations nécessaires pour guider mes choix.

Cette documentation comprend :

- L'identification des fossiles, de leurs matériaux et de leur valeur culturelle ;

- Leurs dimensions ;
  - Leur histoire matérielle, avec leur découverte, les traitements qui leur ont été appliqués et leur conditionnement actuel ;
  - Le constat d'état de ces objets, accompagné d'un diagnostic des altérations et d'un pronostic.
2. Les techniques à utiliser pour la réalisation du conditionnement ont ensuite été choisies. Une partie avait déjà été décidée lors de la phase de préparation du travail (le module CW6 du Bachelor) et elles ont été affinées, notamment par des discussions avec M. Renaud Roch, mon maître de stage, préparateur restaurateur à Jurassica, et avec M. Gaëtan Bussy, lab manager du FabLab de Neuchâtel.
  3. Les matériaux à utiliser pour la fabrication du conditionnement ont également été choisis, en fonction de leurs propriétés physiques et de leur compatibilité avec les objets.
  4. J'ai numérisé les objets à Jurassica, à l'aide d'un scanner à lumière bleue structurée, afin d'en obtenir des modèles numériques en 3D.
  5. J'ai calculé les dimensions des différents éléments du conditionnement et dessiné des schémas et plans à suivre pour leur fabrication.
  6. À partir des modèles obtenus par numérisation, avec la collaboration de M. Bussy, j'ai utilisé un logiciel de modélisation 3D pour créer un modèle numérique des supports en mousse, contenant l'empreinte négative des objets.
  7. Afin d'être sûre des techniques choisies, j'ai effectué plusieurs tests : des tests de découpe de la mousse et la fabrication d'un petit prototype de boîte dans des chutes de carton cannelé.
  8. Les modèles 3D des supports en mousse ont été convertis en parcours d'outils pour une machine CNC, au FabLab de Neuchâtel, avec laquelle j'ai fraisé la forme de ces supports dans de la mousse de polyéthylène.
  9. J'ai construit les boîtes en polypropylène cannelé, puis assemblé les supports en mousse et les boîtes.

### **1.3 Conditionnements réversibles en paléontologie**

Ce travail porte sur la réalisation d'un conditionnement qui peut être retourné afin de consulter les deux faces d'un spécimen. En paléontologie, des conditionnements sous forme de coques réversibles sont couramment utilisés. Ce type de conditionnement a été développé au Smithsonian Museum (Washington), notamment pour de grands spécimens<sup>1</sup>. Il s'agit de coques moulées à la forme de l'objet, faites de plâtre et de fibre de verre. Grâce au moulage, ces conditionnements assurent aux

---

<sup>1</sup> Chaney, 1995 ; Jabo et al., 2005 [en ligne].

objets un soutien approprié, et qui ne se détériorera pas avec le temps en raison de la durabilité des matériaux. Ils permettent également de ne pas manipuler directement les spécimens, pour réduire les risques d'altérations, puisqu'on ne les sort pas de leur conditionnement.

Cette technique de conditionnement est également utilisée à Jurassica (fig. 1). Elle présente toutefois deux inconvénients. Premièrement, les coques sont lourdes, car elles sont faites de plâtre, ce qui rend la manipulation difficile. Deuxièmement, au moment de refermer la coque, on risque d'abîmer les petites parties saillantes en tentant d'ajuster correctement les deux moitiés l'une sur l'autre. Le premier inconvénient a été contourné en fabriquant des coques en résine acrylique au lieu de plâtre (fig. 2), ce qui les rend plus légères. La question de réussir à la refermer sans problème d'ajustement se pose toujours, cependant.



Figure 1 Coque réversible en plâtre



Figure 2 Coque réversible en résine synthétique

Selon le même principe, un conditionnement en bois et en mousse de polyéthylène (fig. 3) a été réalisé à Jurassica pour un fossile de *Molassitherium* (une espèce disparue de rhinocéros). Un lourd coffre en bois se justifie pour un objet lui-même lourd et de grande taille comme celui-ci. Cela ne conviendrait pas, toutefois, à des objets plus petits auxquels on ajouterait un poids superflu. De plus, pour des objets destinés à être conservés dans un meuble fermé, il vaut mieux éviter un matériau comme le bois qui peut dégager des acides organiques.



Figure 3 Boîte réversible en bois

C'est donc de ce type de conditionnements réversibles que je me suis inspirée, en cherchant à trouver la méthode la plus adaptée aux objets concernés.

## 2 Présentation des objets

### 2.1 Contexte

Les objets sur lesquels porte ce travail sont des fossiles provenant du site de Gračanica en Bosnie-Herzégovine (fig. 4). Ce site est une mine de charbon, en exploitation active depuis 1938<sup>2</sup>. Les fossiles qui y ont été découverts sont des témoins de la faune et de la flore de cette région au début du Miocène\* moyen (14,8 à 13,8 millions d'années)<sup>3</sup>.

Le site se situe dans le bassin\* de Bugojno, appartenant à la série de bassins sédimentaires des Alpes dinariques\*. Ceux-ci sont les témoins géologiques de paléoenvironnements\* lacustres<sup>4</sup>.

Les couches stratigraphiques\* supérieures du site de Gračanica sont donc principalement composées de roches sédimentaires\* issues de différents niveaux d'eaux lacustres, telles que la marne et le calcaire. Les couches inférieures, quant à elles, sont principalement composées de charbon\* (lignite), issu d'un environnement de marais\* et marécage\*<sup>5</sup> (fig. 5). C'est de ces couches inférieures que proviennent les deux spécimens concernés par ce travail.

Le site a fait l'objet de plusieurs campagnes scientifiques au XXI<sup>e</sup> siècle et une équipe du Jurassica Museum s'y est rendue en 2017 et 2019<sup>6</sup>. Puisque la mine de Gračanica est activement exploitée pour son lignite, des fossiles peuvent également y être découverts par les mineurs, ce qui est le cas des

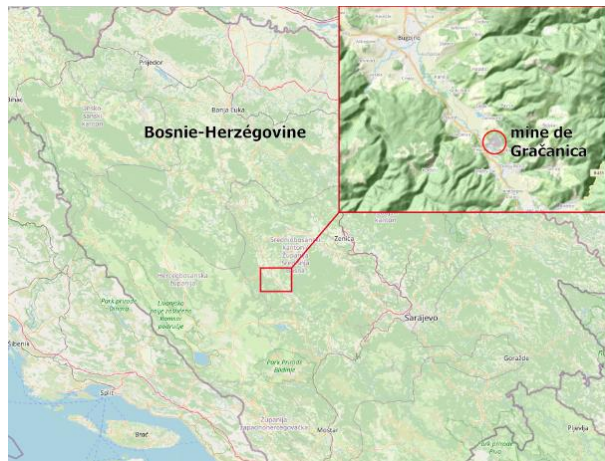


Figure 4 Situation de la mine de Gračanica

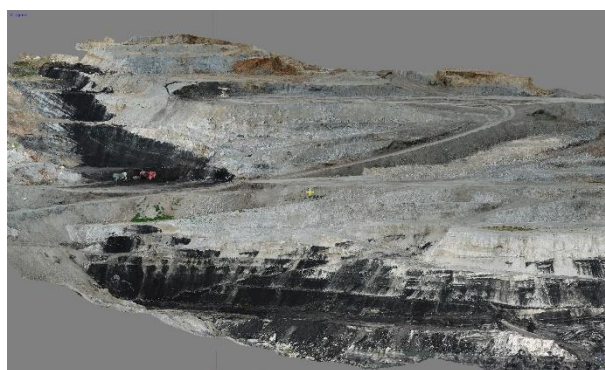


Figure 5 Vue orthographique de la mine de Gračanica

<sup>2</sup> Göhlich et Mandic, 2020, p. 282.

<sup>3</sup> Göhlich et Mandic, 2020, p. 281.

<sup>4</sup> Göhlich et Mandic, 2020, p. 281.

<sup>5</sup> Göhlich et Mandic, 2020, p. 283-284.

<sup>6</sup> Göhlich et Mandic, 2020, p. 284.

\* Les mots suivis d'un astérisque sont définis dans le glossaire, p. 48-49.

deux fossiles en question ici. Le crâne de crocodile (GRC-123) a été trouvé en 2017 et le crâne de castor (GRC-160) a été trouvé en 2019.

## 2.2 Description

Le premier spécimen, dont le numéro d'inventaire est GRC-123, est un crâne fossilisé de crocodile, de l'espèce *Diplocynodon ungeri* (fig. 6 et 7). Ses os sont minéralisés (cf. chapitre 2.3) et compressés les uns sur les autres. Ses dents sont visibles en majorité sur une des faces, désignée dans ce travail comme « face A ».

Ses dimensions maximales (hauteur x longueur x profondeur) sont de 3,5 x 38 x 13 cm.



Figure 6 GRC-123, face A



Figure 7 GRC-123, face B

Le deuxième spécimen, dont le numéro d'inventaire est GRC-160, est un crâne fossilisé de castor (fig. 8 et 9). Il s'agit possiblement de l'espèce *Steneofiber depereti*, la même espèce à laquelle ont été attribuées cinq dents provenant du même site<sup>7</sup>.

Le crâne est incomplet et séparé en deux parties : la plus grande partie est la partie supérieure du crâne avec ses dents, et la plus petite partie est un arc mandibulaire\*. Pour la partie supérieure du crâne, la face avec les molaires et prémolaires visibles est désignée comme « face A » dans ce travail. Pour l'arc mandibulaire, la désignation des faces A et B ne s'est pas faite sur des critères anatomiques, mais le côté avec le moins de charbon visible a été désigné comme « face A ».

Leurs dimensions maximales sont, respectivement, de 11,5 x 6,5 x 2,8 cm et de 7 x 3,5 x 1,1 cm.

---

<sup>7</sup> Stefen, 2020, p. 302.



Figure 8 GRC-160 (2 parties), faces A



Figure 9 GRC-160 (2 parties), faces B

À l'instar de l'autre spécimen, les os sont minéralisés et compressés.

La raison pour laquelle ces crânes sont autant déformés, comparativement à des ossements d'animaux non fossilisés, est qu'ils ont été écrasés par le poids des sédiments au-dessus d'eux dans leur milieu d'enfouissement.

## 2.3 Valeurs culturelles

Ces deux spécimens appartiennent à une vaste collection d'objets de sciences naturelles, et en particulier d'objets paléontologiques, conservés à Jurassica. La raison de leur présence parmi eux est leur étude scientifique et leur valeur réside dans les informations qu'ils peuvent fournir à ceux ou celles qui les étudient, ce qui est appelé « valeur de recherche » dans le référentiel de Barbara Appelbaum<sup>8</sup>.

## 2.4 Matériaux

Ces deux objets sont principalement composés d'os et de dents fossilisés, c'est-à-dire qui ont subi des transformations après leur enfouissement ayant conduit à leur préservation dans le temps.

L'os est un matériau organique avec une phase minérale. Plus précisément, il s'agit d'un tissu biologique dont les cellules sont englobées dans une matrice minéralisée<sup>9</sup>. La partie organique de la matrice de l'os est constituée de collagène, une protéine ; sa partie minérale est composée de cristaux

---

<sup>8</sup> Appelbaum, 2010, p. 102-104.

<sup>9</sup> « Bone », 2024 [en ligne].

d'hydroxyapatite, un minéral de la famille des phosphates, dont la composition exacte varie selon chaque espèce, mais peut être représentée par la formule générale  $\text{Ca}_{10-x}[(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{CO}_3)_x](\text{OH})_{2-x}$ <sup>10</sup>.

Après la mort de l'animal, le collagène est dégradé par des processus chimiques et biologiques. Cette dégradation permet à l'eau présente dans l'environnement d'enfouissement de s'infiltrer à l'intérieur du tissu osseux<sup>11</sup>. Les éléments en solution dans l'eau sont alors responsables des changements qui conduisent à la préservation de l'os sous forme fossilisée (fig. 10). Au niveau moléculaire, des échanges d'ions ont lieu entre l'environnement et l'hydroxyapatite. Il est notamment fréquent que les hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) de l'hydroxyapatite soient substitués par des fluorures ( $\text{F}^-$ ) qui lui confèrent une plus grande stabilité<sup>12</sup>. La circulation d'eau dans les vides laissés par la dégradation du collagène permet aussi la précipitation de minéraux à l'intérieur de ces espaces vides. Ce processus est appelé perminéralisation<sup>13</sup>.

À l'échelle macroscopique, un os est formé de deux couches. La couche extérieure, appelée os compact, est la plus dense, tandis que la couche intérieure, appelée os spongieux, est une structure poreuse<sup>14</sup>. Lors de la fossilisation, les pores de l'os peuvent aussi être remplis par des minéraux provenant de l'environnement<sup>15</sup>.

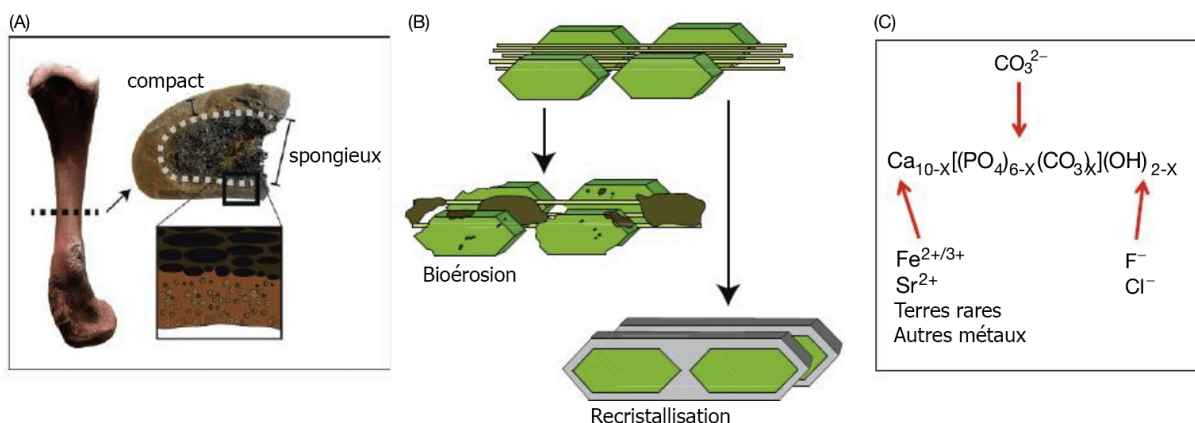


Figure 10 Représentation schématique de la fossilisation de l'os. A) Structure macroscopique de l'os. B) Destruction du collagène ; l'hydroxyapatite est soit détruite également, soit préservée et transformée. C) Échanges ioniques entre l'hydroxyapatite et le milieu

<sup>10</sup> Keenan, 2021, p. 4.

<sup>11</sup> Keenan, 2021, p. 7.

<sup>12</sup> Keenan, 2021, p. 7.

<sup>13</sup> Keenan, 2021, p. 7.

<sup>14</sup> « Bone », 2024 [en ligne].

<sup>15</sup> Keenan, 2021, p. 7.

Les dents ressemblent aux os dans leur composition. Elles sont principalement composées de dentine recouverte d'une couche d'émail. La composition de la dentine est proche de celle de l'os (collagène et hydroxyapatite). L'émail, quant à lui, est plus fortement minéralisé et composé essentiellement d'apatite de formule  $Ca_{10}(PO_4)_6X_2$ , où X peut représenter différents ions tels que le fluorure (fluoroapatite), l'hydroxyde (hydroxyapatite), le carbonate ou le bicarbonate<sup>16</sup>. Le processus de fossilisation est le même que pour l'os.

Les os et dents fossilisés ne sont toutefois pas les uniques matériaux qui constituent ces deux objets. Ils sont également composés de charbon, la roche sédimentaire de leur milieu d'origine, encore présente à plusieurs endroits de la structure du fossile. De plus, suite aux traitements de préparation, des matériaux de consolidation et de collage sont également présents dans la structure des deux spécimens.

## 2.5 Traitements précédents

Sur site, les fossiles ont été prélevés avec le charbon autour d'eux et emballés dans du film cellophane. Ceci a pour but de préserver un taux d'humidité constant, car le charbon se rétracte en séchant, ce qui crée des tensions qui peuvent casser le fossile<sup>17</sup>. Ils ont ensuite été dégagés au laboratoire de préparation de Jurassica.

Étant donné leur fragilité, ils ont été consolidés avant et après leur dégagement avec des résines synthétiques. Le crâne de crocodile a été initialement consolidé avec de la Mowilith® 30 (acétate de vinyle<sup>18</sup>) diluée à 10 % dans l'éthanol. Après son dégagement et une fois sec, il a été consolidé au Paraloid B72 (méthacrylate d'éthyle<sup>19</sup>) dilué à 10 % dans l'acétone. Le crâne de castor a été initialement consolidé avec du Paraloid B72 dilué à 10 % dans l'acétone. Après dégagement, il a été à nouveau consolidé avec la même solution<sup>20</sup>.

Les deux spécimens ont également été recollés avec du Paraloid B72 dilué à 40 % dans l'acétone là où des cassures le demandaient. En particulier, le crâne de crocodile était cassé en deux parties dans le sens de la longueur et ces deux parties ont dû être recollées<sup>21</sup>.

---

<sup>16</sup> Shelton, 1994, p. 7.

<sup>17</sup> Roch, 2024.

<sup>18</sup> *Résines synthétiques et dispersions*, 2024 [en ligne], p. 3.

<sup>19</sup> *Résines synthétiques et dispersions*, 2024 [en ligne], p. 1.

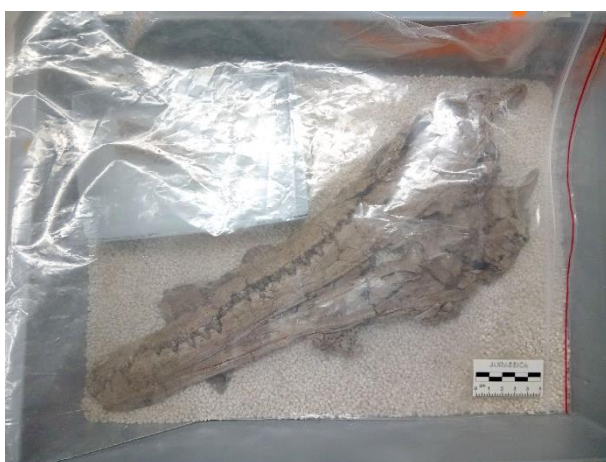
<sup>20</sup> Roch, 2024.

<sup>21</sup> Roch, 2024.



## 2.6 Conditions de conservation

Actuellement, le crâne de crocodile GRC-123 est conservé dans un bac en plastique rempli de graines d'orge perlé (fig. 11 et 12). Un grand sachet en polyéthylène est posé par-dessus pour le protéger de la poussière. Les grains d'orge constituent un bon support, car ils s'adaptent à la forme de l'objet sans exercer de contrainte sur lui. Ce conditionnement, qui n'a pas vocation à être permanent, présente tout de même des inconvénients. Premièrement, si des fragments se détachent, ils pourraient se perdre dans les grains et on pourrait même ne pas remarquer cette perte. Deuxièmement, comme l'objet présente des creux, des graines peuvent s'y glisser et y rester coincées. Troisièmement, la consultation complète de l'objet ne peut pas se faire sans le manipuler pour le retourner.



*Figure 11 GRC-123 dans son conditionnement*



*Figure 12 GRC-123 dans son conditionnement (sans le sachet qui le recouvre)*

Le crâne de castor, quant à lui, est conservé dans un support en mousse de polyéthylène noire, contenu dans une boîte transparente fermée, probablement en polystyrène (fig. 13 et 14). Ce conditionnement traditionnel présente uniquement l'inconvénient de ne pas permettre la consultation de la face du dessous sans manipulation. Or, il n'est pas aisé de saisir l'objet dans ce but, car l'absence d'encoches pour les doigts oblige à le saisir par ses parties plus fines qui pointent hors de la mousse.



Figure 13 GRC-160 dans son conditionnement



Figure 14 GRC-160 dans son conditionnement (couvercle ouvert)

### 3 Constats d'état, diagnostics et pronostic

#### 3.1 Constat d'état de GRC-123

Ce spécimen présente peu d'altérations de surface :

- On constate une légère brillance superficielle.
- Il présente, en deux endroits, des amas de résine synthétique.

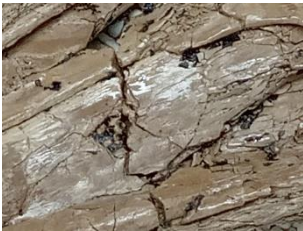










Ses principales altérations sont structurelles. On observe les phénomènes suivants :

- Des fissures sont présentes sur l'ensemble de l'objet. Certaines sont très fines et donc très peu visibles. D'autres sont ouvertes jusqu'à 0,5 mm de largeur.
- Plusieurs endroits présentent des cassures avec des lacunes de matière. Ces cassures suivent en grande partie les mêmes lignes que les fissures.
- Certaines cassures qui ont engendré des lacunes sont plutôt sous forme de délamination : la couche supérieure du matériau s'est détachée et a disparu.

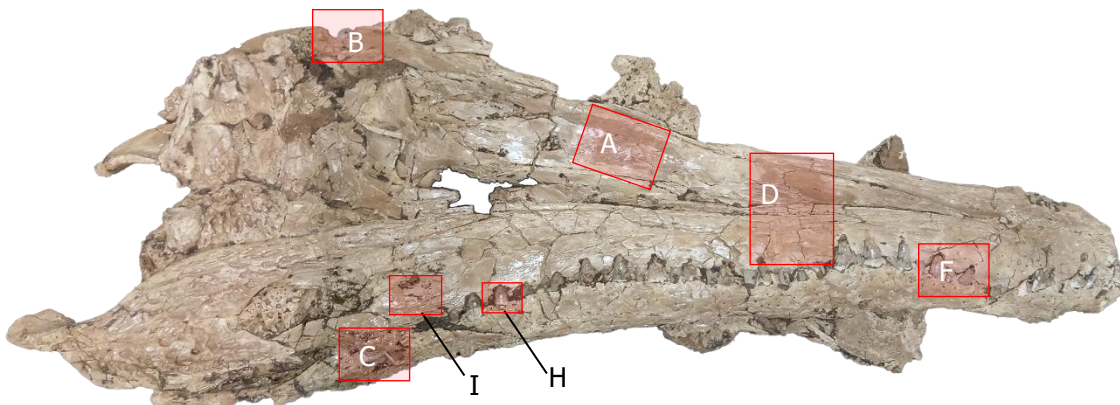
De plus, des grains d'orge perlé se sont logés dans des cavités de l'objet. Ceux-ci ne restent pas forcément de manière permanente : parfois, ils se délogent d'eux-mêmes lorsque l'objet est manipulé.

À l'exception des amas de résine, ces altérations sont généralisées sur l'ensemble de l'objet et il est impossible de les dénombrer. Les pages suivantes présentent donc des exemples représentatifs de chacune d'entre elles (tableau 1 et fig. 15).

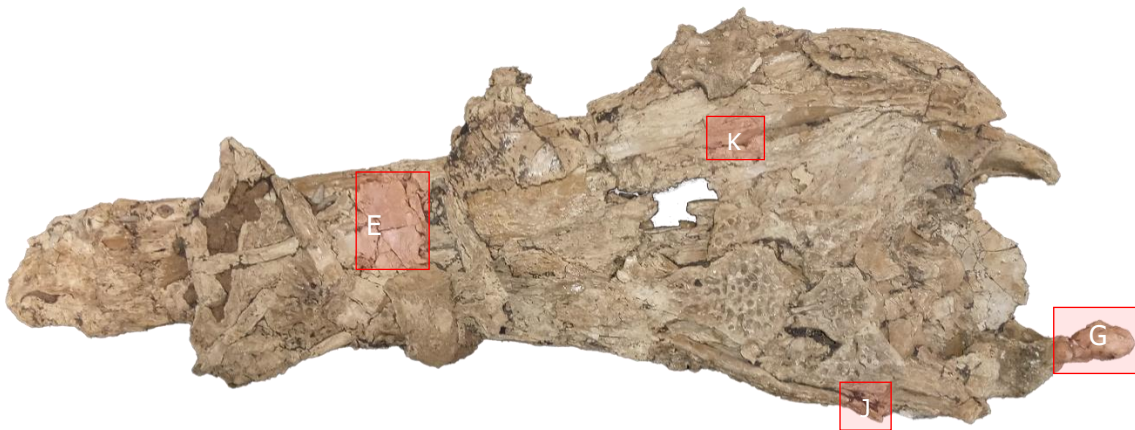
Tableau 1 Illustration des différents types d'altérations sur le fossile GRC-123

Altération	Photographies représentatives	Altération	Photographies représentatives
Surface brillante	 <p>A</p>	Cassures et lacunes	  <p>F G</p>
Amas d'adhésif	  <p>B C</p>	Délaminations et lacunes	  <p>H I</p>
Fissures	  <p>D E</p>	Orge perlé dans les cavités	  <p>J K</p>

Face A



Face B



*Figure 15 Localisation des images du tableau des altérations de GRC-123*

### **3.2 Diagnostic de GRC-123**

La brillance de la surface est due au traitement de consolidation avec une résine synthétique. Celle-ci est présente dans l'objet, mais aussi à la surface sous forme de film très mince, transparent et brillant.

Les amas de résine synthétique, en revanche, sont certainement dus à des collages qui ont été faits plus tard. L'objet a dû se casser pendant la manipulation par des scientifiques étudiant le spécimen, qui ont ensuite recollé les fragments cassés.

En dehors de ces cassures accidentelles, les fissures et une partie des cassures doivent plutôt être dues aux tensions subies par l'objet dans son milieu d'enfouissement, puis après son extraction. En effet, dans son milieu d'origine, il a subi le poids et le mouvement des roches et, après son extraction, il a subi des changements d'humidité relative. Le charbon qu'il contient étant plus hygroscopique que l'os, il gonfle et se rétracte à un taux différent de celui-ci. Cela cause donc des tensions, qui occasionnent les fissures, pouvant aller jusqu'à la cassure complète. Le matériau étant formé de plusieurs couches, ces tensions peuvent causer une délamination au lieu d'une cassure uniquement perpendiculaire.

Quant à l'orge perlé, il sert de support au spécimen. Bien que les graines ne soient pas très petites (environ 4 mm de diamètre), quelques cavités sont suffisamment larges pour qu'elles s'y logent. Cela peut arriver lorsqu'on déplace le conditionnement ou qu'on retourne l'objet pour le consulter.

### **3.3 Constat d'état de GRC-160**

La surface des deux parties de ce fossile présente une brillance un peu plus importante que celle du fossile GRC-123. Il s'agit de la seule altération de surface constatée.

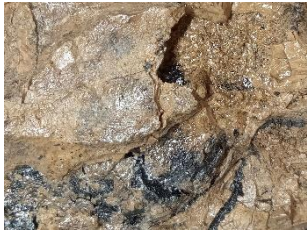








Du point de vue structurel :

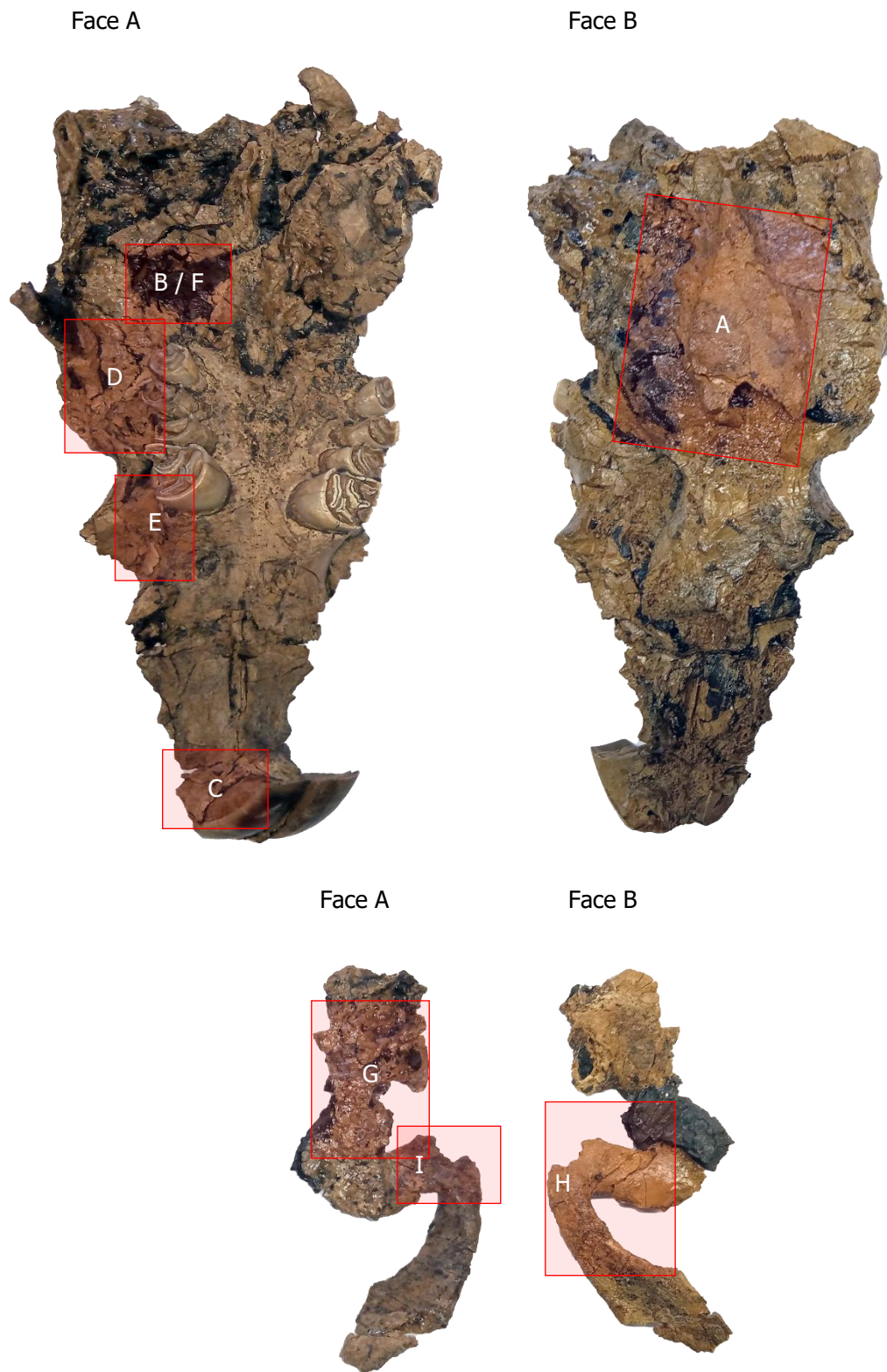
- Comme pour GRC-123, on observe de nombreuses fissures, parfois très fines et parfois plus ouvertes. Certaines traversent toute l'épaisseur de l'objet. La fissure la plus ouverte est une fissure traversante de 1 mm de largeur derrière les incisives.
- Il y a également de petites cassures avec des lacunes de matière sur l'ensemble de l'objet. Un fragment de dent est détaché et se trouve à la surface de l'os de la mâchoire.

Lors de la première ouverture de la boîte, un fragment dissocié de l'objet était simplement posé sur celui-ci. Il a été subséquemment mis de côté et n'est pas pris en compte dans ce travail.

Ici aussi, les pages suivantes présentent des exemples représentatifs de chaque altération (tableau 2 et fig. 16).

Tableau 2 Illustration des différents types d'altération sur le fossile GRC-160

Altération	Photographies représentatives	
Brillance	 	
Fissures	  	
Lacunes	  	
Fragment dissocié		



*Figure 16 Localisation des images du tableau des altérations de GRC-160*

### **3.4 Diagnostic de GRC-160**

La brillance de la surface a la même cause que précédemment : il s'agit d'un film de résine synthétique utilisée pour la consolidation du fossile lors de sa préparation.

De même, les fissures et les cassures sont dues aux tensions subies par l'objet dans son milieu d'enfouissement et après son extraction en raison du changement de milieu et donc de taux d'humidité dans son environnement.

Le petit fragment de dent (tableau 3, image E) qui adhère à la surface de l'os, à côté de son emplacement d'origine, s'était certainement détaché avant la préparation du fossile et s'est retrouvé collé à cet endroit par la résine de consolidation.

Quant au fragment dissocié (tableau 3, image F), il n'est pas certain qu'il appartienne aux parties du fossile concernées par ce travail. Il est peut-être sorti d'une des petites boîtes qui se trouvent dans la même boîte de conditionnement et qui contiennent d'autres fragments. C'est pourquoi il n'a pas été pris en compte ici.

### **3.5 Pronostic**

Ces objets sont stables. Le traitement de consolidation qui leur a été appliqué leur permet de ne pas se fissurer ou se casser davantage.

Toutefois, il est nécessaire qu'ils soient conservés dans des conditions climatiques stables. En effet, s'ils sont exposés à des variations d'humidité, il se produira des phénomènes de gonflement et rétraction du charbon. Ceux-ci conduiraient à des tensions dans l'os, moins hygroscopique et plus dur, et de nouvelles fissures ou cassures pourraient alors apparaître.

Il est également important de les manipuler avec précaution. Grâce à la consolidation, ils sont suffisamment solides pour pouvoir être manipulés. Cependant, une manipulation sans précaution pourrait causer des chocs ou des tensions et casser des morceaux des objets, en particulier les dents et tous les petits os qui pointent hors de la masse principale.

Préserver l'intégrité de ces objets permet de conserver les détails de leur anatomie afin qu'elle puisse être étudiée, préservant ainsi l'intégrité de leur valeur de recherche.



## 4 Conditionnement

### 4.1 Choix des matériaux

Le conditionnement réalisé pour les deux crânes fossilisés est constitué de deux matériaux principaux : un support en mousse et une boîte en plastique cannelé. En plus de cela, des rivets et des fermoirs métalliques ont été utilisés.

#### 4.1.1 Mousse

La mousse de polyéthylène a été choisie pour réaliser les supports des objets. Il s'agit d'un matériau synthétique composé de polyéthylène expansé par la dispersion de bulles d'air dans sa masse<sup>22</sup>, formant de petites cellules délimitées par de fines couches de matière polymérique.

Le polyéthylène est un bon matériau de conservation, inerte et stable. Son principal point faible est sa sensibilité aux rayons ultraviolets<sup>23</sup>, ce qui n'est pas un problème lorsqu'il est utilisé pour l'intérieur d'un conditionnement.

L'expansion de la mousse est produite par des agents physiques (gaz ou liquides dissous dans le polymère) ou chimiques (composés solides produisant du gaz par réaction chimique)<sup>24</sup>. Les agents chimiques laissent des résidus dans la mousse qui pourraient altérer certains objets patrimoniaux, c'est pourquoi il est déconseillé d'utiliser des mousses expansées par agents chimiques en conservation<sup>25</sup>.

Les mousses utilisées en conservation sont généralement blanches (sans pigmentation) ou noires. L'utilisation de mousses d'autres couleurs n'est pas recommandée, car les pigments utilisés peuvent affecter la stabilité du produit. Seule la stabilité des pigments noirs est certaine, car ceux-ci sont uniquement composés de carbone<sup>26</sup>. Les pigments noirs ont même un effet protecteur contre la photo-oxydation en absorbant les rayonnements UV<sup>27</sup>.

Deux types de mousse ont été retenus et étudiés pour la réalisation de ce conditionnement : l'Ethafoam<sup>®</sup> et la Plastazote<sup>®</sup>.

---

<sup>22</sup> Tétreault, 2017, p. 49.

<sup>23</sup> Schlichting, 1994, p. 1.

<sup>24</sup> Williams, 2002, p. 27.

<sup>25</sup> Williams, 2002, p. 28.

<sup>26</sup> Schlichting, 1994, p. 1.

<sup>27</sup> Knotek et al., 2023, p. 2.

Ethafoam® est une marque commerciale déposée de l'entreprise Sealed Air. Elle désigne une mousse de polyéthylène non réticulée\* à cellules fermées\*<sup>28</sup>, expansée par injection d'un hydrocarbure<sup>29</sup>. L'Ethafoam® 220, une mousse de 35 kg/m<sup>3</sup> de densité, vendue sous forme de plaques de différentes épaisseurs, est couramment utilisée en conservation<sup>30</sup>. Ses cellules font environ 1-2 mm de diamètre<sup>31</sup>. L'inconvénient de cette mousse est qu'elle présente une surface légèrement abrasive lorsqu'on la découpe, à cause de l'ouverture des cellules.

Plastazote® est une marque commerciale déposée de l'entreprise Zotefoams. Elle désigne une mousse de polyéthylène réticulée\* à cellules fermées<sup>32</sup>, expansée par injection d'azote pur<sup>33</sup>. L'avantage de cette mousse est la petite taille de ses cellules (moins de 1 mm de diamètre), ce qui lui donne une surface lisse même après découpage. Elle coûte cependant plus cher que l'Ethafoam®. De plus, le procédé de réticulation de la mousse utilise des agents chimiques qui semblent être cause d'oxydation du polyéthylène dans le temps, avec dégagement d'acide acétique<sup>34</sup>. Malgré cela, elle est couramment utilisée et recommandée pour la conservation des objets patrimoniaux, en particulier dans sa version grise ou noire, plus stable<sup>35</sup>. On trouve cette mousse en différentes densités. Par exemple, l'entreprise Vibraplast la vend en densités de 29 kg/m<sup>3</sup> (mousse LD29), 33 kg/m<sup>3</sup> (LD33) et 45 kg/m<sup>3</sup> (LD45). Ils ne vendent toutefois la mousse LD33 qu'en version colorée<sup>36</sup>.

Le choix a été fait de réaliser un test d'usage avec l'Ethafoam® 220 noire et la Plastazote® LD45 noire. Cette dernière n'ayant pas été livrée au moment du test, une chute de Plastazote® de densité inconnue a été utilisée à la place. Les résultats du test ont été les suivants : le fraisage dans la mousse Plastazote® donne une découpe plus nette et plus visible (fig. 17), alors que la découpe dans l'Ethafoam® donne un résultat à l'apparence plus « floue » à cause de la plus grande taille des cellules (fig. 18). Cependant, la Plastazote® a davantage tendance à fondre et à laisser de la matière plastique sur la fraise (fig. 19), ce qui rend la découpe moins nette au fur et à mesure de son encrassement.

---

<sup>28</sup> « Ethafoam® », 2009 [en ligne].

<sup>29</sup> Williams, 2002, p. 27.

<sup>30</sup> Tétreault, 2017, p. 50.

<sup>31</sup> Barber, 2014 [en ligne].

<sup>32</sup> « Mousse Plastazote® », 2008 [en ligne].

<sup>33</sup> TIS 01, 2024 [en ligne].

<sup>34</sup> Knotek et al., 2023, p. 2 ; Curran et al., 2017, p. 6.

<sup>35</sup> Knotek et al., 2023, p. 17 ; Curran et al., 2017, p. 7.

<sup>36</sup> « Solutions de mousse plastique », 2024 [en ligne].



*Figure 17 Résultat du test d'usinage de la Plastazote®*

*Figure 18 Résultat du test d'usinage de l'Ethafoam®*

*Figure 19 Polyéthylène fondu autour de la fraise après le découpage d'un bloc de Plastazote®*

En fin de compte, c'est l'Ethafoam® 220 noire qui a été utilisée par défaut. En effet, la mousse Plastazote® LD45 noire commandée chez Vibraplast a rencontré un problème de livraison encore non élucidé à ce jour et n'a donc pas pu être utilisée.

#### **4.1.2 Plastique cannelé**

Le plastique cannelé, couramment aussi appelé « polypropylène cannelé », est un produit en plaques de copolymère de polypropylène et polyéthylène<sup>37</sup>, formées de deux couches séparées par des cannelures perpendiculaires. Grâce à ces cannelures, ce matériau est à la fois rigide et léger : les cannelures lui confèrent de la rigidité tout en diminuant la quantité de matière. Il s'agit du même principe que pour le carton cannelé, mais il est plus rigide que celui-ci<sup>38</sup>. Il lui a donc été préféré afin de convenir à la hauteur limitée de l'espace de rangement prévu (cf. chapitre 4.2) tout en bénéficiant d'une rigidité adéquate.

Bien que les objets ne soient pas lourds, la longueur de la boîte nécessaire pour le crâne de crocodile nécessitait l'utilisation d'un matériau rigide. En effet, plus une plaque est grande, plus elle risque de ployer sous le poids de l'objet qu'elle soutient. C'est pour la même raison que des mousses relativement denses ont aussi été choisies. En effet, si le conditionnement plie sous le poids de son objet lorsqu'on le soulève (notamment pour le retourner), celui-ci n'est plus soutenu de manière uniforme sous toute sa surface et subit des tensions dues à la gravité.

---

<sup>37</sup> Schlichting, 1994, p. 1.

<sup>38</sup> Campbell, 1995, p. 188.

On trouve des plaques de polypropylène cannelé en différentes épaisseurs, la plus courante étant de 4 mm<sup>39</sup>. C'est cette épaisseur qui a été choisie (plus précisément 3,8 mm), à nouveau pour trouver un bon compromis entre une épaisseur suffisamment faible et une rigidité suffisamment importante.

### 4.1.3 Quincaillerie

Pour la fixation des côtés de la boîte, des rivets aveugles en acier et aluminium ont été utilisés. Ceux-ci permettent une fixation solide. Trois différents types de rivets ont été envisagés : les rivets en deux parties en polypropylène, les rivets en deux parties en métal ou les rivets aveugles en métal. Le choix des rivets aveugles s'est justifié par le fait qu'ils sont plus faciles à poser que des rivets métalliques en deux parties et qu'ils sont plus accessibles que les rivets en polypropylène : on les trouve à bon marché dans les magasins de bricolage.

Des fermoirs en acier revêtu de laiton ont été sélectionnés pour la fermeture de la boîte. La principale difficulté était de trouver des fermoirs suffisamment petits pour être utilisés sur des boîtes mesurant moins de 6 cm de hauteur. Le modèle utilisé était le seul facilement accessible et correspondant à ce critère.

De manière générale, les métaux peuvent être considérés comme des matériaux « idéals »<sup>40</sup> en conservation. Cependant, il ne faut pas les mettre au contact direct des objets, car ils terniront avec le temps et peuvent les tacher<sup>41</sup>. Puisque ces éléments de quincaillerie ne seront pas en contact avec les fossiles, il n'y a pas eu d'hésitation à les utiliser.

## 4.2 Conception des conditionnements

Pour rappel, les critères du conditionnement attendu sont les suivants :

- Assurer une surface de contact maximale avec les spécimens ;
- Pouvoir être ouvert sur les deux faces, afin de consulter le recto et le verso des spécimens (face A et face B) ;
- Pouvoir être refermé facilement sans créer de frottement sur le spécimen en essayant d'ajuster les deux parties.
- Une fois fermé, pouvoir être retourné sans que le spécimen bouge à l'intérieur ;

Plusieurs décisions ont été prises pour atteindre ce résultat.

---

<sup>39</sup> Schlichting, 1994, p. 6.

<sup>40</sup> Tétreault, 2017, p. 10.

<sup>41</sup> Tétreault, 2017, p. 10.

Premièrement, pour qu'il y ait une surface de contact maximale entre les objets et leur support, les objets ont été numérisés sous forme de modèle 3D afin de pouvoir fraiser dans de la mousse, à l'aide d'une machine à commande numérique (CNC), leurs empreintes négatives les plus exactes possibles. L'idée d'utiliser cette méthode a été confortée par la lecture d'une publication présentant une méthodologie similaire<sup>42</sup>.

Deuxièmement, le conditionnement a été conçu comme un assemblage de deux moitiés identiques, qui ont la forme de « boîtes à chaussures » sans couvercle. De cette façon, il peut être retourné et posé sur n'importe laquelle de ces deux parties pour consulter la face A ou B de l'objet.

Troisièmement, pour pouvoir refermer le conditionnement de manière toujours exacte, un relief de créneaux a été découpé dans la mousse. Ce relief sert de guide : il n'y a qu'une seule façon de fermer la boîte et la forme du relief empêche tout mouvement pendant la descente d'une moitié sur l'autre. Une forme avec des angles droits a été choisie pour empêcher tout mouvement latéral.

Finalement, un fermoir métallique a été utilisé pour assurer une fermeture sécurisée, afin que les deux moitiés du conditionnement ne puissent pas s'écarter l'une de l'autre lorsqu'on retourne la boîte. En effet, si les deux moitiés ne sont pas solidement attachées l'une à l'autre et qu'elles s'écartent lors du retournement, l'objet à l'intérieur peut bouger et subir des altérations physiques.

En plus de ces éléments, la hauteur du conditionnement terminé a été prise en compte. En effet, ces spécimens devraient idéalement être conservés dans de nouveaux meubles (après le déménagement des collections) dont les tiroirs font 6 cm de hauteur. Cet aspect a donc ajouté une nouvelle contrainte au mandat initial, mais qui restait un idéal à atteindre, et non une obligation. Une hauteur de 5 cm a donc été tentée, mais n'a pas pu être réalisée : une hauteur de 5,8 cm a finalement été arrêtée.

Les dimensions du conditionnement ont été calculées de la manière suivante. Premièrement, la largeur et la longueur des supports en mousse ont été calculées en fonction de la dimension des objets en y ajoutant une marge de 1 cm et une marge supplémentaire de 0,5 cm pour découper une fente servant à enfoncer les bords d'une interface en intissé synthétique. À cela ont été ajoutés 2 cm dans les deux dimensions pour les créneaux. Pour le spécimen GRC-160, qui est constitué de deux parties, le calcul a été fait en utilisant la longueur de la plus grande partie et la largeur des deux parties, en ajoutant une marge de 1 cm entre les deux.

Cela donne des dimensions de supports de 20 x 45 cm pour le crâne de crocodile (GRC-123) et de 18,5 x 19 cm pour le crâne de castor (GRC-160). Quant à l'épaisseur, il a été prévu d'utiliser des mousses de 3 cm.

---

<sup>42</sup> Stache et al., 2014 [en ligne].

Le concept de conditionnement correspondait donc à ce schéma :

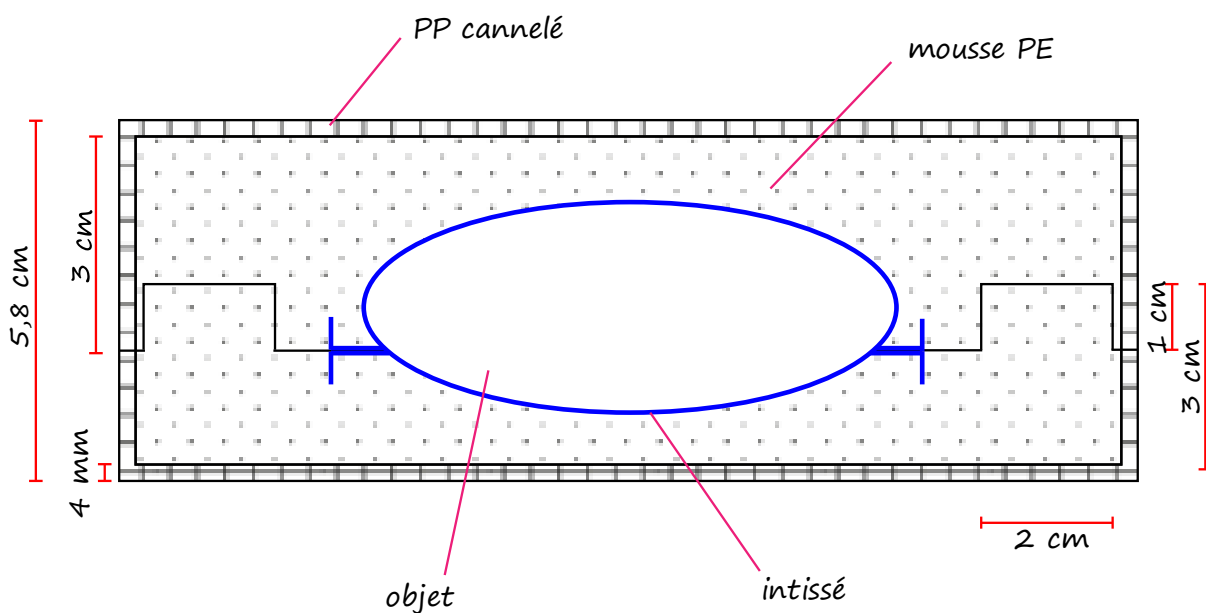


Figure 20 Schéma en coupe du concept de conditionnement

## 4.3 Réalisation des conditionnements

### 4.3.1 Numérisation des objets

Les objets ont été numérisés avec un scanner Artec Space Spider. Il s'agit d'un scanner 3D à lumière bleue structurée, dont la précision\* est de 0,05 mm et la résolution\* de 0,1 mm, avec une capture de 7,5 images par seconde<sup>43</sup>. Ce scanner est utilisé à Jurassica pour la numérisation des collections.

Un scanner à lumière structurée projette sur l'objet un motif précis de lumière (dans ce cas-ci, de la lumière bleue). Lorsqu'il atteint la surface de l'objet, ce motif est déformé par le relief et la forme de cette surface (bosses, creux, etc.). (fig. 21) Le scanner capture alors les images du motif déformé et son logiciel transforme ces données visuelles en données de modélisation 3D. Certains scanners 3D, comme l'Artec Space Spider, numérisent également la texture de

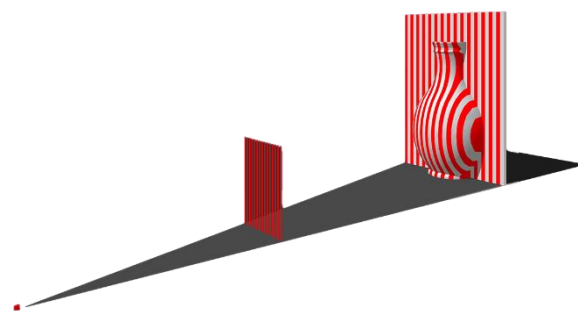


Figure 21 Principe de la lumière structurée : la lumière émise par le scanner passe à travers une grille pour projeter un motif sur l'objet.

<sup>43</sup> Space Spider, 2023 [en ligne], p. 2.

l'objet, c'est-à-dire ses couleurs et d'autres caractéristiques de surface qui peuvent être capturées par la photographie<sup>44</sup>.

Pour numériser les objets, ceux-ci ont été posés sur une plaque tournante. Cela permet de capturer des images tout autour de l'objet sans le manipuler, avec un mouvement assez fluide et en gardant le scanner à une distance constante (fig. 22). En effet, pour qu'il puisse capturer correctement l'objet, il faut le maintenir à une distance entre 17 et 30 cm (mais idéalement entre 20 et 27 cm), qui correspond à sa profondeur de champ, et scanner avec des mouvements fluides. Si l'objet sort de sa



Figure 22 Numérisation du fossile GRC-160

profondeur de champ ou si les déplacements sont trop brusques, le scanner perd le suivi de l'objet.

Pour chacun des objets, 6 prises de vues ont été faites (recto, verso, et 4 tranches) et combinées dans le logiciel Artec Studio 17 Professional pour créer le modèle 3D final. Pour capturer les tranches, les objets ont été maintenus en position verticale avec des supports en mousse PE et en éponge synthétique. Le logiciel permet, après la numérisation, de supprimer les données inutiles, en particulier la plaque tournante et les supports en mousse. Ensuite, on aligne les différentes prises de vue et on les fusionne. L'algorithme du logiciel lui permet de faire cet alignement de façon très fine. Les prises de vues qui n'ont pas pu être bien alignées, ou avec une erreur trop élevée, peuvent être supprimées du résultat final.

Le résultat de ce traitement de données est un modèle 3D sous forme de *mesh* (fig. 23), c'est-à-dire la représentation de l'objet, dans un système à trois coordonnées ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), sous forme d'une surface externe composée d'un ensemble de polygones. Sur ce *mesh* est également appliquée la texture qui a été capturée par le scanner en même temps que la forme (fig. 24).

---

<sup>44</sup> McMillion, 2022 [en ligne].

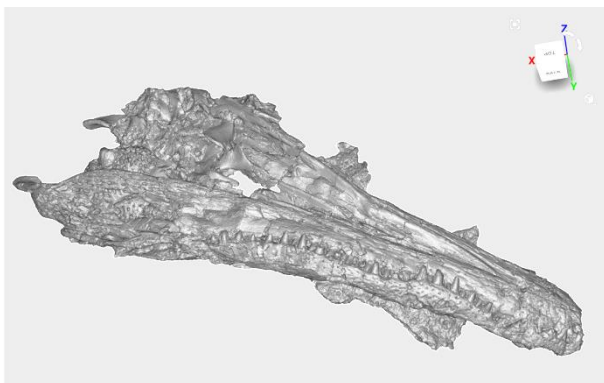


Figure 23 Aperçu du mesh finalisé de GRC-123 dans le logiciel Artec Studio

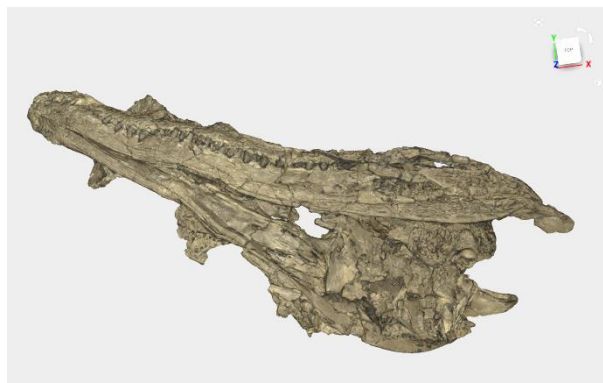


Figure 24 Aperçu du mesh finalisé de GRC-123 avec sa texture dans le logiciel Artec Studio

Les surfaces brillantes peuvent causer des difficultés pour capturer correctement les données. On craignait donc que la brillance de certaines surfaces ne pose problème. Il s'est finalement avéré que le scanner a très bien réussi à numériser ces zones, probablement entre autres grâce à la capture sous différents angles. Le seul défaut dans le résultat est quelques zones dont la couleur n'est pas rendue de manière très fidèle, mais cela ne pose pas de problème pour le projet de conditionnement.

Pour pouvoir réaliser cette numérisation, il m'a d'abord fallu apprendre à utiliser le scanner et le logiciel, qui m'ont été présentés par M. Jérémy Anquetin, responsable de la recherche et de la formation à Jurassica. Le scanner est facile d'utilisation, mais nécessite de se familiariser avec les mouvements. La numérisation des tranches, qui est plus délicate que les faces en raison de leur plus petite surface, m'a demandé plusieurs tentatives pour que le scanner ne perde pas le suivi de l'objet. Pour la prise en main du logiciel, j'ai suivi le protocole écrit utilisé habituellement dans l'institution.

### 4.3.2 Modélisation des supports

Après la numérisation des objets, leurs futurs supports en mousse ont été modélisés numériquement. Cela a été réalisé dans le logiciel Blender, un logiciel libre\* de modélisation numérique en 3D. Les *meshes* des objets numérisés y ont été importés afin de créer leur empreinte négative dans un autre *mesh* représentant le bloc de mousse qui doit les recevoir.

Plusieurs aspects du conditionnement des objets ont dû être pris en compte pour modéliser des supports appropriés.

Premièrement, le scanner a capturé le relief exact de l'objet selon tous les angles de vue. Par conséquent, si on reproduisait l'empreinte de ce relief telle quelle dans de la mousse, des contre-dépouilles empêcheraient de placer correctement l'objet dans son support. La solution trouvée à ce



problème a été de réaliser une *heightmap* de chaque face de l'objet, prise selon une vue orthographique (donc sans perspective)<sup>45</sup>. Une *heightmap* est une image, généralement en nuances de gris, dont les couleurs représentent un déplacement par rapport à une surface de référence : le blanc représente l'éloignement maximal de cette surface et le noir, l'éloignement minimal.

Le modèle de l'objet a donc d'abord été positionné dans l'environnement numérique exactement de la façon dont il devra être positionné dans son conditionnement réel. Étant donné que le conditionnement prévu comporte deux moitiés englobant l'objet, le niveau 0 (zéro) de l'environnement numérique selon les axes x et y représente la séparation entre ces deux moitiés (fig. 25 et 26).

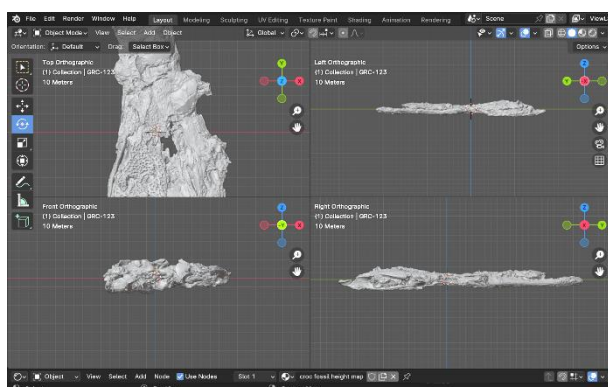


Figure 25 Positionnement de GRC-123 selon les 3 axes dans Blender

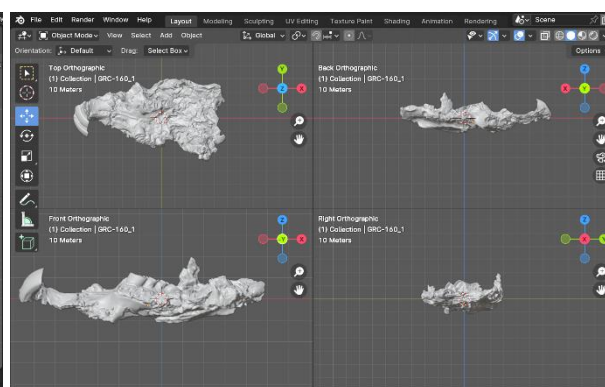


Figure 26 Positionnement de GRC-160 (partie 1) selon les 3 axes dans Blender

Ensuite, une texture a été ajoutée à ce modèle numérique, programmée de façon à ce que les points au niveau 0 soient noirs et que les points les plus élevés de l'objet soient blancs, avec les différentes nuances de gris entre les deux.

Finalement, une caméra virtuelle a été placée au-dessus de l'objet, et une image orthographique a été capturée par cette caméra (fig. 27). Le même processus a été répété pour l'autre face de l'objet, en le retournant autour de l'axe y.

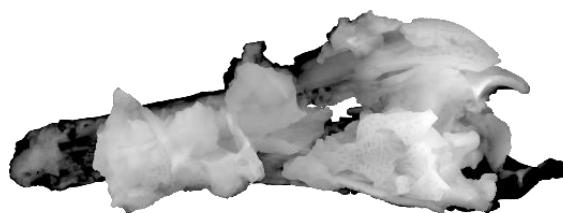


Figure 27 Exemple de *heightmap* : face B de GRC-123

À partir de cette *heightmap*, le logement pour accueillir l'objet dans la mousse a été modélisé en déplaçant les points d'un plan en fonction des données de hauteur représentées par les différentes nuances de gris de l'image. C'est ce plan déformé qui a été utilisé pour « creuser » dans le bloc de

<sup>45</sup> Risingfall, 2018 [en ligne].

mousse virtuel. Cette dernière étape consiste à placer le plan au bon endroit sur la forme représentant le bloc de mousse et à réaliser une opération de soustraction.

Il est donc essentiel, dans tout ce processus, de réfléchir correctement dès le départ au positionnement de l'objet dans son conditionnement. En effet, si on change d'avis sur le positionnement de l'objet, tout le processus doit être recommencé.

Le deuxième aspect qu'il a fallu particulièrement prendre en compte est la taille du logement pour l'objet. En effet, en créant une empreinte exactement aux mêmes dimensions que l'objet lui-même, il aurait manqué une marge pour pouvoir glisser l'objet dans son logement. Pour cela les deux modèles ont été « gonflés » de 0,4 mm dans toutes les directions avant même de créer la *heightmap*, pour que leur empreinte soit plus grande qu'eux-mêmes.

C'est aussi dans Blender qu'ont été modélisés les « créneaux » permettant l'imbrication des deux moitiés de support, en ajoutant de petits pavés au *mesh* d'un bloc de mousse (et leur empreinte négative dans l'autre) (fig. 28). Ces petites formes ont été créées avec des angles arrondis en prévision de leur usinage. En effet, la fraise n'aurait pas pu créer les négatifs des créneaux avec des angles droits. Des angles arrondis, en positif et en négatif, ont donc été prévus directement dans le modèle.

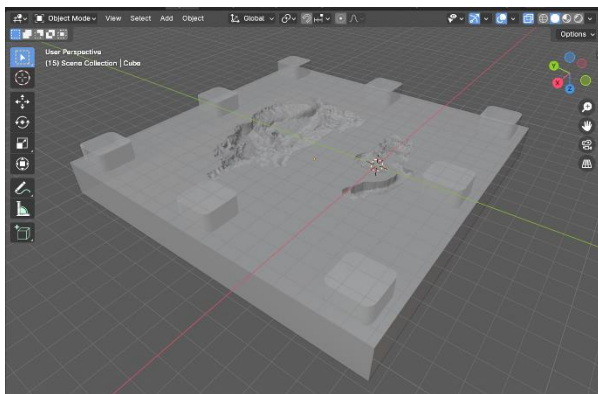


Figure 28 Modèle de la mousse pour la face B de GRC-160 dans l'environnement 3D de Blender

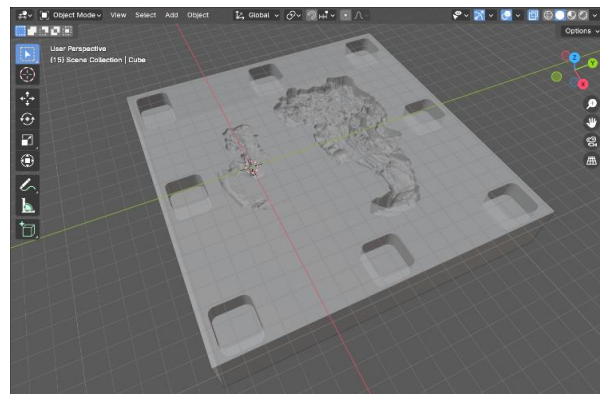


Figure 29 Modèle de la mousse pour la face A de GRC-160 dans l'environnement 3D de Blender

Le travail de modélisation a nécessité que je me familiarise d'abord avec le logiciel Blender, qui est complexe et demande donc un apprentissage assez long lorsqu'on n'a jamais pratiqué la modélisation 3D. J'ai bénéficié pour cela de la collaboration de M. Gaëtan Bussy du FabLab de Neuchâtel et des nombreuses ressources en ligne concernant ce logiciel. Blender est un logiciel très complet et puissant, qui offre de nombreuses possibilités. À chaque fois que j'ai voulu résoudre une question spécifique, j'ai trouvé l'option pour le faire. En outre, une fois que j'ai eu maîtrisé les notions de base et que le processus voulu pour ce travail a été entièrement développé, la réalisation de celui-ci à

plusieurs reprises pour créer les quatre modèles était aisée et ne prenait que quelques minutes à chaque fois.

### 4.3.3 Usinage des supports

Après leur modélisation, chaque moitié de support a été exportée au format .stl\*. Puis, les parcours d'usinage de la fraiseuse ont été programmés à partir de ces modèles dans le logiciel VCarve de l'entreprise Vectric. Ce logiciel permet de générer des fichiers au format .ncp\*, lus par le logiciel qui contrôle la CNC. La machine utilisée, une Makko 850, se trouve au FabLab de Neuchâtel, qui détient également une licence pour le logiciel VCarve.

Une machine CNC est une machine-outil contrôlée par un code qui contient une liste de coordonnées<sup>46</sup>. Dans ce cas, il s'agit plus précisément d'une fraiseuse CNC qui a été utilisée. Elle possède donc une broche qui fait tourner une fraise et qui se déplace selon trois axes. La pièce à usiner est maintenue immobile et la fraise découpe le matériau en se déplaçant, le réduisant en copeaux.

Pour découper ces mousses, plusieurs fraises ont été utilisées successivement, afin d'arriver à un résultat net. D'abord, un parcours d'ébauche a été effectué avec une fraise de 3 mm de diamètre pour les mousses ayant moins de matière à retirer (fig. 30), ou 5,5 mm de diamètre pour les mousses ayant plus de matière à retirer. Ensuite, deux parcours de finition ont été réalisés : le premier avec une fraise de 3 mm de diamètre et le deuxième avec une fraise de 1 mm de diamètre (fig. 31).



Figure 30 Ébauche d'un support avec une fraise de 3 mm de diamètre



Figure 31 Finition d'un support avec une fraise de 1 mm de diamètre

L'ébauche permet d'enlever plus rapidement une plus grande quantité de matière, alors que la finition permet d'obtenir la précision voulue et des surfaces plus nettes et esthétiques. Deux parcours

---

<sup>46</sup> « Le guide ultime de l'usinage CNC », 2023 [en ligne].

différents de finition ont été programmés, car la fraise de 3 mm était suffisante pour la finition des créneaux alors que la finition des logements pour les objets nécessitait l'usage de la fraise de 1 mm, dont le travail prend plus de temps.

À cause du degré de précision, l'usinage de chaque support en mousse a nécessité plusieurs heures : environ trois heures pour les plus petites mousses et six heures pour les plus grandes. Après l'usinage, quelques petits copeaux restaient accrochés à la mousse. Ceux-ci ont été enlevés à la main et au cutter afin d'obtenir un résultat propre et net.

Plusieurs problèmes techniques inattendus ont été rencontrés lors de l'usinage. Premièrement, l'usinage de la mousse pour la face B de GRC-160 ne s'est pas fait exactement selon le modèle lors du passage avec la fraise de 3 mm : la finition des créneaux les a réduits à une largeur plus petite que prévu et la surface plane a été usinée plus bas que prévu à partir de la moitié (fig. 32). Cela ne pose heureusement pas de problème pour la fonctionnalité du support (les emplacements pour les objets ne sont pas décalés et les créneaux s'emboîtent quand même très bien), mais l'aspect de propreté de la finition est affecté.

Ensuite, lors de l'usinage de la mousse pour la face A de GRC-123, un problème similaire est arrivé, également à partir du milieu du passage de la fraise de 3 mm. Cette fois-ci, le support a été rendu inutilisable, car la mousse a été traversée de part en part à plusieurs endroits avant que le problème ne soit remarqué (fig. 33). L'usinage de ce support a donc été recommencé. Cependant, après le premier passage d'ébauche avec la fraise de 5,5 mm, le moteur qui contrôle la rotation des fraises s'est arrêté et n'a plus redémarré. Par conséquent, ce support n'a pas pu être terminé (fig. 34).



*Figure 32 Support pour la face B de GRC-160 avec erreur d'usinage*      *Figure 33 Support détruit après dysfonctionnement de la CNC*      *Figure 34 Support non terminé suite à l'arrêt de la machine*

Outre ce dysfonctionnement imprévisible, le principal désagrément rencontré lors de cette étape a été le temps nécessaire à sa réalisation. Il devrait toutefois être possible de réduire ce temps avec plus d'expérience. En effet, la licence du logiciel VCarve vient d'être acquise par le FabLab de Neuchâtel et ce travail a donc constitué un test de son utilisation. Il a d'ailleurs fallu attendre que le logiciel soit prêt avant de pouvoir faire les premiers tests d'usinage. Pour gagner du temps, il devrait être possible de programmer les parcours d'outils pour qu'ils ne passent pas dans le vide sur des surfaces qui n'ont

pas besoin d'être découpées, mais se dirigent directement dans les zones délimitées par le modèle 3D importé. Nous n'avons cependant pas trouvé cette option dans le logiciel. Entre les délais liés au logiciel et les défaillances de la machine, l'usinage CNC a été l'obstacle principal dans ce travail, malgré la grande commodité de cette technique.

#### 4.3.4 Construction de la boîte

La partie extérieure du conditionnement est une boîte formée de deux moitiés presque identiques, en plastique cannelé.

Le modèle qui a servi à la conception de cette boîte est la forme « boîte à chaussures », apprise lors du cours de conditionnement AW3.2 du Bachelor en conservation<sup>47</sup>. Ce modèle est habituellement composé d'une boîte et d'un couvercle, mais, ici, le couvercle a été remplacé par une deuxième boîte qui se superpose à l'autre.

Chaque boîte a été construite selon le plan suivant :

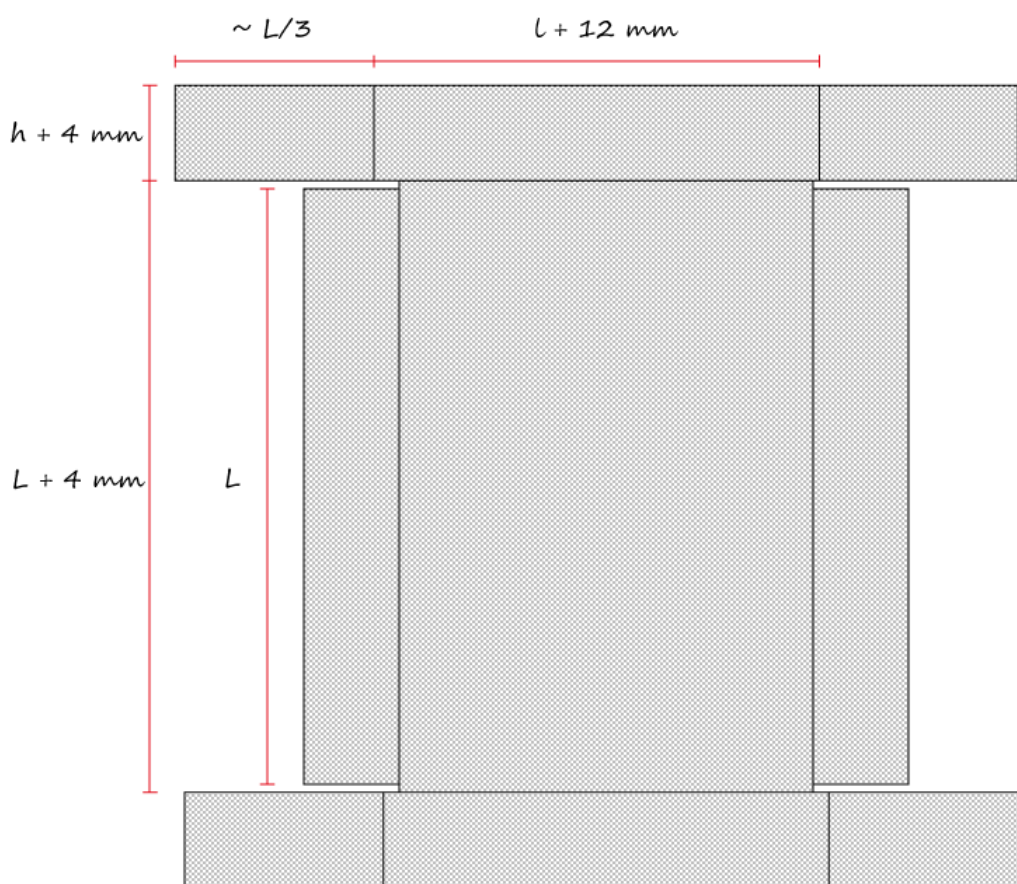


Figure 35 Plan pour la fabrication des boîtes

<sup>47</sup> Boulangé, 2022, p. 6.

Pour que la boîte puisse être correctement formée, il faut tenir compte de l'épaisseur de la feuille de plastique cannelé, ici 4 mm. C'est pourquoi 4 mm sont ajoutés à la hauteur en prenant en compte l'épaisseur du fond et 2 mm sont ajoutés pour chaque pli, c'est-à-dire une demi-épaisseur. De plus, 4 mm sont ajoutés à la largeur avant le pli des rabats, pour tenir compte de l'épaisseur des côtés attenants.

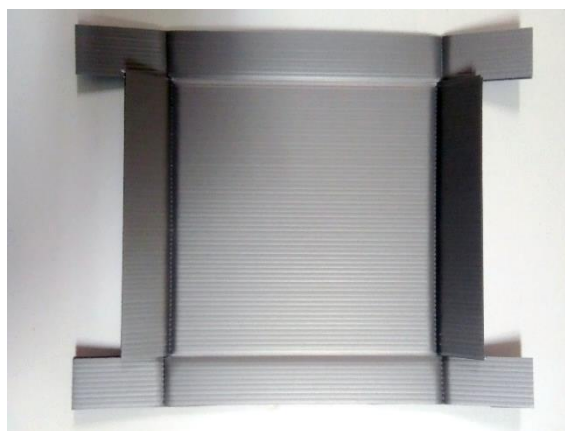
Pour chaque conditionnement ont été donc construites deux boîtes, l'une d'une hauteur de 2 cm et l'autre d'une hauteur de 3 cm. En effet, les deux mousses de 3 cm ont été creusées pour s'emboîter sur une hauteur de 1 cm, afin d'arriver à une hauteur totale intérieure de 5 cm.

Les dimensions utilisées pour chaque boîte sont donc :

*Tableau 3 Dimensions pour la construction des boîtes*

Objet	h	L	l
GRC-160	2 cm	19 cm	18,5 cm
	3 cm	19 cm	18,5 cm
GRC-123	2 cm	45 cm	20 cm
	3 cm	45 cm	20 cm

Le polypropylène cannelé a été découpé selon le plan à l'aide d'un cutter et d'une règle à découper en métal. Ensuite, les rebords ont été pliés. Pour cela, les plis ont d'abord été marqués avec un plioir. Puis, l'emplacement à plier a été chauffé à l'aide d'un décapeur thermique. Enfin, ils ont été pliés le long d'une règle métallique avant refroidissement. Le polypropylène étant un polymère thermoplastique, la chaleur permet de le ramollir pour le façonner plus facilement<sup>48</sup> (fig. 36).



*Figure 36 Boîte de 3 cm pour GRC-160 découpée et pliée*

Les boîtes ont ensuite été rivetées. Après leur assemblage, les bords n'étaient pas parfaitement droits, mais s'écartaient en direction de l'extérieur à cause de la tension dans les plis (fig. 37). Ceux-ci ont donc été à nouveau chauffés à l'aide du décapeur thermique et redressés à la main pour qu'ils soient perpendiculaires au fond (fig. 38).

<sup>48</sup> Schlichting, 1994, p. 3 ; Tétreault, 2017, p. 47.



Figure 37 Boîte avant redressement des bords



Figure 38 Boîte après redressement des bords

En dernier lieu, les fermoirs ont été fixés à la boîte avec leurs vis. Les extrémités des vis dépassant légèrement ont été coupées à la pince coupante pour éviter les blessures.

#### 4.3.5 Assemblage et résultat final

Après la fabrication des supports en mousse et des boîtes en polypropylène cannelé, l'ensemble du conditionnement a été assemblé afin d'y placer les objets.

Tout d'abord, les supports en mousse ayant été intentionnellement usinés dans des blocs plus grands que leurs dimensions finales, ceux-ci ont été découpés à la bonne taille. Une découpeuse à fil chaud a été utilisée pour cette tâche. Celle-ci tranche dans la mousse en la faisant fondre au contact d'un fil métallique tendu chauffé (fig. 39).



Figure 39 Découpage au fil chaud

Les deux moitiés du support ont été découpées ensemble, emboîtées l'une dans l'autre, afin d'obtenir la même découpe sur les deux.

Il était prévu de placer une interface en intissé synthétique entre la mousse et les objets. Cependant, après avoir testé cela avec la plus grande partie du crâne de castor, cet aspect a été abandonné. L'interface avait pour but d'éliminer le côté légèrement abrasif de la mousse découpée. Deux intissés différents ont été essayés : du Bondina® (intissé de polyester<sup>49</sup>) et du Tyvek® (intissé de

---

<sup>49</sup> Jacot, 2022, p. 7.

polyéthylène<sup>50</sup>). Cependant, la surface lisse de l'intissé permettait au fossile de glisser et de se déloger de son empreinte. Le risque encouru aurait alors été que, lors de sa consultation, il soit légèrement décalé et subisse la pression d'une empreinte mal ajustée après fermeture de la boîte. Il a donc été jugé que l'objet était plus en sécurité sans interface. Il est à noter que la majorité des ossements fossiles conservés dans de la mousse Ethafoam® à Jurassica le sont sans interface et que l'usage a montré que cela ne leur causait pas de dommage.

Après le placement des mousses dans les boîtes et un essai de fermeture et ouverture, un aspect non anticipé a été constaté : les deux mousses sont restées emboîtées l'une dans l'autre grâce à leurs créneaux au lieu de rester chacune dans sa boîte. Pour pallier cela, les mousses ont été collées au fond des boîtes avec de la colle thermofusible appliquée au pistolet à colle. Ce type de colle peut être composée de différentes résines thermoplastiques et permet d'éviter un long temps de séchage<sup>51</sup> lors d'assemblage de conditionnements. L'adhérence de la mousse au polypropylène cannelé grâce à la colle a été suffisante pour contrer l'adhérence mécanique des mousses entre elles.

À la page suivante, les figures 40 à 43 présentent le conditionnement terminé de GRC-160.

Pour ce qui est du spécimen GRC-123, son conditionnement n'a pas pu être terminé en raison de l'absence d'un des deux supports en mousse (cf. chapitre 4.3.3). Le spécimen a cependant déjà été placé dans la moitié de conditionnement existante, car il y bénéficie déjà d'un meilleur soutien que dans son conditionnement temporaire précédent. Le résultat à ce jour est présenté dans les figures 44 et 45.

---

<sup>50</sup> Tétreault, 2017, p. 55.

<sup>51</sup> Tétreault, 2017, p. 30.





Figure 40 Conditionnement de GRC-160 fermé



Figure 41 Conditionnement de GRC-160 fermé (vue de dessus)



Figure 42 Conditionnement de GRC-160 ouvert, face A visible



Figure 43 Conditionnement de GRC-160 ouvert, face B visible



Figure 44 GRC-123 dans la moitié de conditionnement terminée



Figure 45 Éléments terminés du conditionnement de GRC-123

## 5 Conclusion

Ce mémoire de Bachelor a porté sur la réalisation de conditionnements pour deux fossiles fragiles conservés au Jurassica Museum, afin de permettre leur consultation sur deux faces sans manipulation directe. J'ai appliqué une méthodologie de conservation préventive pour développer un concept de conditionnement et j'ai fait appel à des moyens technologiques pour sa réalisation.

À la fin de ce travail, l'objectif n'est pas entièrement atteint. En effet, un seul conditionnement a pu être terminé au lieu de deux. Toutefois, le conditionnement qui a été achevé remplit les conditions demandées dans le mandat.

L'usinage CNC d'après modèle 3D a permis d'obtenir des supports pour les objets avec une surface de contact maximale. Les objets ne subissent ni pression ni tension à l'intérieur de leur conditionnement. Celui-ci peut également être retourné sans risque : tant que le conditionnement est fermé, l'objet ne bouge pas à l'intérieur. Finalement, la géométrie crénelée des supports permet de refermer le conditionnement d'une seule façon, avec un mouvement vertical évitant les frottements latéraux qui pourraient accrocher des parties fragiles de l'objet.

Les techniques numériques utilisées pour ce projet présentent de nombreux avantages et permettent de réaliser facilement des travaux d'une grande précision avec, toutefois, la nécessité d'apprendre à utiliser plusieurs nouveaux outils. Un inconvénient notable est leur coût : à l'exception de Blender, qui est un logiciel libre et gratuit, les appareils utilisés et les licences de logiciels représentent un investissement important. Dans le cadre de ce travail, la collaboration avec le FabLab de Neuchâtel et le fait que l'institution possédait déjà un scanner ont permis de contourner cet aspect.

Malgré le fait que les objets à conditionner n'étaient pas de grande taille, le temps passé pour l'usinage de la mousse a été considérable. Cela remet en question l'efficacité de cette méthode si elle devait être utilisée pour réaliser de nombreux conditionnements. D'autres études seraient nécessaires pour évaluer la possibilité de réduire ce temps, en variant différents aspects de la programmation ou des outils utilisés.

Je pense, malgré cela, que les techniques numériques utilisées dans le cadre de ce travail sont très prometteuses. En effet, elles ont permis d'obtenir un résultat conforme aux attentes pour l'un des conditionnements et, s'il n'y avait pas eu de problèmes techniques lors de l'usinage ni de délai dû à la nouveauté du logiciel de programmation des parcours d'outils, le résultat aurait certainement été tout aussi satisfaisant pour le deuxième.

Je note également deux avantages intéressants des conditionnements réalisés. Premièrement, le fait de travailler entièrement à partir d'un modèle numérique de l'objet permet de ne jamais devoir le manipuler entre sa numérisation et son placement dans le conditionnement. Cela participe donc à une réduction des risques.

Deuxièmement, l'utilisation de matériaux de conservation très légers facilite la manipulation et la consultation des spécimens. Ce modèle de conditionnement ne conviendrait pas tel quel pour de grands objets lourds : il faudrait une boîte plus rigide et résistante. Il présente toutefois l'avantage de ne pas ajouter un important poids supplémentaire à celui de l'objet, surtout en considérant que celui-ci n'est pas censé être sorti de son conditionnement.

À titre personnel, ce travail de diplôme m'a permis de découvrir des outils pour lesquels j'avais depuis longtemps un intérêt, mais que je n'avais jamais eu l'occasion d'utiliser. J'ai également pu conduire pour la première fois l'entièreté d'un projet de conservation en mettant en pratique les notions apprises tout au long de mes études en Bachelor. La nécessité de gérer tant la logistique et le planning que les notions théoriques et la réalisation pratique a été très formatrice et j'ai consolidé mes compétences professionnelles. Quant au résultat obtenu, même s'il n'est pas terminé, j'ai pu constater avec plaisir que la méthodologie utilisée fonctionne bien. Par conséquent, j'ai convenu avec Jurassica de livrer la moitié manquante lorsque les outils seront à nouveau disponibles.

## 6 Références bibliographiques

**Appelbaum, 2010** : Appelbaum, Barbara. *Conservation treatment methodology*. Barbara Appelbaum, New York, 2010.

**Barber, 2014 [en ligne]** : Barber, Chris. « Ethafoam™ Polyethylene foam ». In *Preparation, Art Handling, Collections Care Information Network* [en ligne]. 2 octobre 2014 [consulté le 7 juin 2024]. <https://www.paccin.org/content.php?266-Ethafoam>

« **Bassin sédimentaire** », **2021 [en ligne]** : « Bassin sédimentaire ». In *AquaPortail.com* [en ligne]. 29 avril 2021 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/7537/bassin-sedimentaire>

« **Bone** », **2024 [en ligne]** : « Bone ». In *Wikipedia* [en ligne]. Wikimedia Foundation, 24 mai 2024 [consulté le 7 juillet 2024]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bone>

**Boulangé, 2022** : Boulangé, Bluenn. *Travaux pratiques année scolaire 2021-2022. Atelier conservation préventive AW3.2. Feuille de route*. HE-Arc, Neuchâtel, 2022. *Document de cours non publié*.

**Campbell, 1995** : Campbell, Mei Wan. « Container and support system for large, relatively flat objects ». In Rose, Carolyn L. et de Torres, Amparo R. (éd.). *Storage of Natural History Collections: Ideas and Practical Solutions*. Society for the Preservation of Natural History Collections, Iowa City, 1995, p. 187-188.

**Chaney, 1995** : Chaney, Dan S. « Encapsulating support for large, three-dimensional fragile specimens ». In Rose, Carolyn L. et de Torres, Amparo R. (éd.). *Storage of Natural History Collections: Ideas and Practical Solutions*. Society for the Preservation of Natural History Collections, Iowa City, 1995, p. 95-98.

« **Charbon** », **2024 [en ligne]** : « Charbon ». In *Wikipédia* [en ligne]. Wikimedia Foundation, 7 juillet 2024 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Charbon>

**Commission d'enrichissement de la langue française, 2007 [en ligne]** : Commission d'enrichissement de la langue française. « Logiciel libre ». In *Grand Dictionnaire terminologique* [en ligne]. Office québécois de la langue française, 2007 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26538392/logiciel-libre>

**Curran et al., 2017** : Curran, K. et al. « Volatile organic compound (VOC) emissions from plastic materials used for storing and displaying heritage objects ». In Bridland, J. (éd.). *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints, Copenhagen, 4–8 September 2017*. International Council of Museums, Paris, 2017.

« **Dinarique** », **1994 [en ligne]** : « Dinarique ». In *TLFi* [en ligne]. ATILF — CNRS & Université de Lorraine, 1994 [consulté le 14 juillet 2024]. <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

« **Ethafoam®** », **2009 [en ligne]** : « Ethafoam® - fiche produit P0325 ». In *Préserv'Art* [en ligne]. Centre de conservation du Québec, 10 août 2009 [consulté le 7 juin 2024]. <https://preservart.ccgouv.qc.ca/ProduitFiche.aspx?NoProduit=P0325>

« **Fichier STL** », **2023 [en ligne]** : « Fichier STL ». In *Grand Dictionnaire terminologique* [en ligne]. Office québécois de la langue française, 2023 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26571065/fichier-stl>

**Foucault, 1980 [en ligne]** : Foucault, Alain. « paléoenvironnement ». In *Grand Dictionnaire terminologique* [en ligne]. Office québécois de la langue française, 1980 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8980822/paleoenvironnement>

**Göhlich et Mandic, 2020** : Göhlich, Ursula B. et Mandic, Oleg. « Introduction to the special issue "The drowning swamp of Gračanica (Bosnia-Herzegovina) — a diversity hotspot from the middle Miocene in the Bugojno Basin" ». *Palaeodiversity and Palaeoenvironments*, 100, 2, 2020, p. 281-293.

**Jabo et al., 2005 [en ligne]** : Jabo, S. J. et al. *A technique to create form-fitted, padded plaster jackets for conserving vertebrate fossil specimens* [fichier PDF en ligne]. Society of Vertebrate Paleontology, 2005 [téléchargé le 21 mai 2024]. [https://vertpaleo.org/wp-content/uploads/2021/03/Jabo\\_et\\_al\\_2005.pdf](https://vertpaleo.org/wp-content/uploads/2021/03/Jabo_et_al_2005.pdf)

**Jacot, 2022** : Jacot, Thierry. *Les matériaux de conservation. Matériauthèque*. HE-Arc, Neuchâtel, 3 mai 2022. *Document de cours non publié*.

« **KAY** », **2024 [en ligne]** : « KAY ». In *Delft Spline Systems* [en ligne]. [consulté le 14 juillet 2024]. <https://www.spline.nl/software/kay.php>

**Keenan, 2021** : Keenan, Sarah W. « Fossilization ». In Alderton, David et Elias, Scott A. (éd). *Encyclopedia of Geology – Volume 3*. 2<sup>e</sup> Édition. Elsevier, 2021, p. 1-11.

**Knotek et al, 2023** : Knotek, Vítěz et al. « The effect of synthetic polymer foams on cellulosic material degradation ». *Materials*, 16 (3), 1210, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16031210>

« **Le guide ultime de l'usinage CNC** », **2023 [en ligne]** : « Le guide ultime de l'usinage CNC ». In *Xometry PRO*. 8 septembre 2023 [consulté le 11 juillet 2024].

« **Mandibule** », **1994 [en ligne]** : « Mandibule ». In *TLFi* [en ligne]. ATILF — CNRS & Université de Lorraine, 1994 [consulté le 14 juillet 2024]. <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

« **Marais** », **2023 [en ligne]** : « Marais ». In *AquaPortail.com* [en ligne]. 5 septembre 2023 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/1664/marais>

**McMillion, 2022 [en ligne]** : McMillion, Matthew. « How does structured-light 3D scanning work? ». In *Artec 3D – Learning center* [en ligne]. Artec 3D, 25 novembre 2022 [consulté le 27 mai 2024].

<https://www.artec3d.com/learning-center/structured-light-3d-scanning>

« **Miocène** », **2023 [en ligne]** : « Miocène ». In *AquaPortail.com* [en ligne]. 1<sup>er</sup> septembre 2023 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/1633/miocene>

« **Mousse de polyéthylène** », **2007 [en ligne]** : « Mousse de polyéthylène et autres polyoléfinés — fiche produit P0062 ». In *Préserv'Art* [en ligne]. Centre de conservation du Québec, 17 décembre 2007 [consulté le 7 juin 2024].

<https://preservart.ccq.gouv.qc.ca/rptFicheProduit.aspx?NoProduit=P0062>

« **Mousse Plastazote®** », **2008 [en ligne]** : « Mousse Plastazote® — fiche produit P0080 ». In *Préserv'Art* [en ligne]. Centre de conservation du Québec, 11 juin 2008 [consulté le 7 juin 2024].

<https://preservart.ccq.gouv.qc.ca/ProduitFiche.aspx?NoProduit=P0080>

« **Mousse réticulée** », **2024 [en ligne]** : « Mousse réticulée ». In *Préserv'Art* [en ligne]. Centre de conservation du Québec, [consulté le 7 juin 2024].

<https://preservart.ccq.gouv.qc.ca/ModelessLexique.aspx?Id=369>

**Organisation météorologique mondiale, 2012 [en ligne]** : Organisation météorologique mondiale. « stratigraphie ». In *Grand Dictionnaire terminologique* [en ligne]. Office québécois de la langue française, 2012 [consulté le 14 juillet 2024]. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26522129/stratigraphie>

« **Précision** », **1994 [en ligne]** : « Précision ». In *TLFi* [en ligne]. ATILF — CNRS & Université de Lorraine, 1994 [consulté le 14 juillet 2024]. <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

**Résines synthétiques et dispersions, 2024 [en ligne]** : *Résines synthétiques et dispersions* [fichier PDF en ligne]. Lascaux Colours & Restauro, [consulté le 9 juillet 2024]

[https://lascaux.ch/dbFile/4681/u-435a/u-320c/Lascaux\\_resines\\_synthetiques\\_et\\_dispensions.pdf](https://lascaux.ch/dbFile/4681/u-435a/u-320c/Lascaux_resines_synthetiques_et_dispensions.pdf)

« **Résolution** », **1994 [en ligne]** : « Résolution ». In *TLFi* [en ligne]. ATILF — CNRS & Université de Lorraine, 1994 [consulté le 14 juillet 2024]. <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

**Risingfall, 2018 [en ligne]** : Risingfall. « Re : Making an imprint mold for packaging ». In *Blender StackExchange* [en ligne], 18 janvier 2018 [consulté le 19 juin 2024].

<https://blender.stackexchange.com/a/98803>

**Roch, 2024** : Roch, Renaud. « RE : Travail de Bachelor HE-Arc ». Reçu par Elvire Kakou le 8 avril 2024. *Communication par courriel*.

« **Roche sédimentaire** », 2021 [en ligne] : « Roche sédimentaire ». In *AquaPortail.com* [en ligne]. 10 avril 2021 [consulté le 14 juillet 2024].

<https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/2427/roche-sedimentaire>

**Schlichting, 1994** : Schlichting, Carl. *Travail de la mousse de polyéthylène et des feuilles de plastique cannelées*. Institut Canadien de Conservation, Ottawa, 1994. Bulletin technique n° 14.

**Shelton, 1994** : Shelton, Sally Y. « Conservation of vertebrate paleontology collections ». In Leiggi, Patrick et May, Peter. *Vertebrate paleontological techniques. Volume 1*. Cambridge University Press, Cambridge, 1994, p. 3-33.

« **Solutions de mousse plastique** », 2024 [en ligne] : « Solutions de mousse plastique ». In *Vibraplast* [en ligne]. Vibraplast AG, 2024 [consulté le 7 juin 2024].

<https://www.vibraplast.ch/fr/solutions-en-mousse-plastique/>

**Space Spider, 2023 [en ligne]** : *Space Spider – Industrial metrology-grade 3D scanner* [fichier PDF en ligne]. Artec 3D, Senningerberg, 2023 [téléchargé le 21 mai 2024].

<https://cdn.artec3d.com/content-hub-files/artec.s.spider-b-a.8-web-en-nop.pdf>

**Stache et al., 2014 [en ligne]** : Stache, Michael et al. 3-D scanning and production of accurate form-fitting support cradles for fossils using CNC milling technology (Computerized Numerical Control technique): a project with the Geiseltal Collection [fichier PDF en ligne]. Society of Vertebrate Paleontology, 2014 [téléchargé le 19 avril 2024]. [https://vertpaleo.org/wp-content/uploads/2021/03/Stache\\_2014.pdf](https://vertpaleo.org/wp-content/uploads/2021/03/Stache_2014.pdf)

**Stefen, 2020** : Stefen, Clara. « The castorids (Mammalia, Castoridae) from the (early) middle Miocene of Gračanica (Bosnia-Herzegovina) ». *Palaeodiversity and Palaeoenvironments*, 100, 2, 2020, p. 301-305.

**Tétreault, 2017** : Tétreault, Jean. *Produits utilisés en conservation préventive*. Institut Canadien de Conservation, Ottawa, 2017. Bulletin technique n° 32.

**TIS 01, 2024 [en ligne]** : *Technical Information Sheet TIS 01* [fichier PDF en ligne]. Issue 1 Revision 4. Zotefoams plc, Croydon, Mai 2024 [téléchargé le 7 juin 2024].

<https://www.zotefoams.com/wp-content/uploads/2016/01/TIS-01-Product-Specification.pdf>

**Vasilyan, 2020** : Vasilyan, Davit. « Fish, amphibian and reptilian assemblage from the middle Miocene locality Gračanica—Bugojno palaeolake, Bosnia and Herzegovina ». *Palaeodiversity and Palaeoenvironments*, 100, 2, 2020, p. 437-455.

**Williams, 2002** : Williams, R. Scott. « Polyolefin foams ». *AIC News*, vol. 27, n° 1, janvier 2002, p. 26-34.

## 7 Crédits des images

**Figures 1-3, 6-9, 11-20, 22-45 :** © HE-Arc CR 2024, Kakou Elvire

**Figure 4 :** Données © [OpenStreetMap](#). Carte Topo © [Tracestrack](#) (CC BY 4.0). Adaptation par Kakou Elvire.

**Figure 5 :** © Jurassica, Vasilyan Davit

**Figure 10 :** © Elsevier Ltd 2021. Adaptation (traduction) par Kakou Elvire.

**Figure 21 :** © Artec 3D



## 8 Liste des figures

<i>Figure 1 Coque réversible en plâtre.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2 Coque réversible en résine synthétique.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 3 Boîte réversible en bois.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 4 Situation de la mine de Gračanica .....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 5 Vue orthographique de la mine de Gračanica.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 6 GRC-123, face A.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 7 GRC-123, face B.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 8 GRC-160 (2 parties), faces A .....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 9 GRC-160 (2 parties), faces B .....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 10 Représentation schématique de la fossilisation de l'os.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 11 GRC-123 dans son conditionnement .....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 12 GRC-123 dans son conditionnement (sans le sachet qui le recouvre).....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 13 GRC-160 dans son conditionnement .....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 14 GRC-160 dans son conditionnement (couvercle ouvert).....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 15 Localisation des images du tableau des altérations de GRC-123.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 16 Localisation des images du tableau des altérations de GRC-160.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 17 Résultat du test d'usure de la Plastazote® .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 18 Résultat du test d'usure de l'Ethafoam® .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 19 Polyéthylène fondu autour de la fraise après le découpage d'un bloc de Plastazote® .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 20 Schéma en coupe du concept de conditionnement .....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 21 Principe de la lumière structurée. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 22 Numérisation du fossile GRC-160.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 23 Aperçu du mesh finalisé de GRC-123 dans le logiciel Artec Studio .....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 24 Aperçu du mesh finalisé de GRC-123 avec sa texture dans le logiciel Artec Studio.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 25 Positionnement de GRC-123 selon les 3 axes dans Blender.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 26 Positionnement de GRC-160 (partie 1) selon les 3 axes dans Blender .....</i>	<i>30</i>

<i>Figure 27 Exemple de heightmap : face B de GRC-123</i> .....	30
<i>Figure 28 Modèle de la mousse pour la face B de GRC-160 dans l'environnement 3D de Blender</i> .....	31
<i>Figure 29 Modèle de la mousse pour la face A de GRC-160 dans l'environnement 3D de Blender</i> .....	31
<i>Figure 30 Ébauche d'un support avec une fraise de 3 mm de diamètre</i> .....	32
<i>Figure 31 Finition d'un support avec une fraise de 1 mm de diamètre</i> .....	32
<i>Figure 32 Support pour la face B de GRC-160 avec erreur d'usinage</i> .....	33
<i>Figure 33 Support détruit après dysfonctionnement de la CNC</i> .....	33
<i>Figure 34 Support non terminé suite à l'arrêt de la machine</i> .....	33
<i>Figure 35 Plan pour la fabrication des boîtes</i> .....	34
<i>Figure 36 Boîte de 3 cm pour GRC-160 découpée et pliée</i> .....	35
<i>Figure 37 Boîte avant redressement des bords</i> .....	36
<i>Figure 38 Boîte après redressement des bords</i> .....	36
<i>Figure 39 Découpage au fil chaud</i> .....	36
<i>Figure 40 Conditionnement de GRC-160 fermé</i> .....	38
<i>Figure 41 Conditionnement de GRC-160 fermé (vue de dessus)</i> .....	38
<i>Figure 42 Conditionnement de GRC-160 ouvert, face A visible</i> .....	38
<i>Figure 43 Conditionnement de GRC-160 ouvert, face B visible</i> .....	38
<i>Figure 44 GRC-123 dans la moitié de conditionnement terminée</i> .....	38
<i>Figure 45 Éléments terminés du conditionnement de GRC-123</i> .....	38

## **9 Liste des tableaux**

<i>Tableau 1 Illustration des différents types d'altérations sur le fossile GRC-123</i> .....	16
<i>Tableau 2 Illustration des différents types d'altération sur le fossile GRC-160</i> .....	19
<i>Tableau 3 Dimensions pour la construction des boîtes</i> .....	35
<i>Tableau 4 Produits utilisés pour la fabrication du conditionnement</i> .....	50

## 10 Glossaire

**Alpes dinariques :** portion des Alpes « qui s'étend de la Dalmatie jusqu'aux Balkans, avec pour sommet principal le Dinari »<sup>52</sup>.

**Bassin (sédimentaire) :** « dépression [...] de la croûte terrestre d'origine tectonique, dans laquelle de grandes quantités de sédiments [...] se sont déposées ou se déposent encore »<sup>53</sup>.

**Charbon :** « roche sédimentaire combustible, riche en carbone, de couleur noire ou marron foncé, formée à partir de la dégradation partielle de la matière organique des végétaux »<sup>54</sup>.

**Logiciel libre :** « logiciel distribué avec l'intégralité de ses programmes-sources, afin que l'ensemble des utilisateurs qui l'emploient puissent l'enrichir et le redistribuer à leur tour »<sup>55</sup>.

**Mandibule :** os de la mâchoire inférieure<sup>56</sup>.

**Marais :** « zone humide en région basse avec des eaux stagnantes où s'accumulent des sédiments sur une faible épaisseur. [...] Un marais accueille surtout des végétaux herbacés »<sup>57</sup>.

**Marécage :** zone humide qui, contrairement au marais, accueille des végétaux ligneux (arbres, arbustes)<sup>58</sup>.

**Miocène :** division de l'échelle de temps géologique qui s'étend de -23 Ma (millions d'années) à -5,3 Ma. À cette période, les plantes et les animaux étaient assez modernes et les mammifères ont proliféré. Elle est divisée en Miocène inférieur, moyen et supérieur<sup>59</sup>.

**Mousse à cellules fermées :** aussi appelée mousse à alvéoles fermées, mousse dont chacune des cellules (ou alvéoles) est isolée dans une mince paroi de plastique, comme de petites bulles<sup>60</sup>.

**Mousse non réticulée :** mousse constituée de polymères à longues chaînes (thermoplastiques), qui sont soufflés par des agents d'expansion alors qu'ils sont en fusion<sup>61</sup>.

---

<sup>52</sup> « Dinarique », 1994 [en ligne].

<sup>53</sup> « Bassin sédimentaire », 2021 [en ligne].

<sup>54</sup> « Charbon », 2024 [en ligne].

<sup>55</sup> Commission d'enrichissement de la langue française, 2007 [en ligne].

<sup>56</sup> « Mandibule », 1994 [en ligne].

<sup>57</sup> « Marais », 2023 [en ligne].

<sup>58</sup> « Marais », 2023 [en ligne].

<sup>59</sup> « Miocène », 2023 [en ligne].

<sup>60</sup> Tétreault, 2017, p. 49 ; « Mousse de polyéthylène », 2007 [en ligne].

<sup>61</sup> Mousse de polyéthylène, 2007 [en ligne].

**Mousse réticulée :** mousse constituée de polymères « dont les longues chaînes linéaires ont été reliées entre elles par des liaisons transversales de manière à former une structure tridimensionnelle » irréversible, par procédé chimique ou par irradiation<sup>62</sup>.

**.ncp (format) :** format de fichier propriétaire de l'entreprise Isel, constitué de données de parcours d'outils utilisées pour contrôler une machine CNC<sup>63</sup>.

**Paléoenvironnement :** « ensemble des caractères physico-chimiques et biologiques des milieux du passé »<sup>64</sup>.

**Précision :** « qualité qui définit l'erreur relative ou l'erreur absolue dans la mesure d'une grandeur »<sup>65</sup>.

**Résolution :** « plus petite valeur absolue pouvant être distinguée ou identifiée par un système de mesure ou un dispositif quelconque »<sup>66</sup>.

**Roche sédimentaire :** « roche formée par l'accumulation de sédiments, un dépôt de matière dû à l'action de l'eau ou de l'air »<sup>67</sup>.

**Stratigraphie :** « Branche de la géologie s'intéressant à la succession et à l'âge des couches géologiques »<sup>68</sup>

**.stl (format) :** format de « fichier constitué de données qui permettent de représenter un modèle 3D »<sup>69</sup>.

---

<sup>62</sup> Mousse réticulée, 2024 [en ligne].

<sup>63</sup> « KAY », 2024 [en ligne].

<sup>64</sup> Foucault, 1980 [en ligne].

<sup>65</sup> « Précision », 1994 [en ligne].

<sup>66</sup> « Résolution », 1994 [en ligne].

<sup>67</sup> « Roche sédimentaire », 2021 [en ligne].

<sup>68</sup> Organisation météorologique mondiale, 2012 [en ligne].

<sup>69</sup> « Fichier STL », 2023 [en ligne].

## 11 Annexes

### 11.1 Matériaux et fournisseurs







Tableau 4 Produits utilisés pour la fabrication du conditionnement

Produit	Fournisseur	Prix (CHF)	Livraison (CHF)	Remarque
Ethafoam® 220 épaisseur 30 mm	Vibrplast AG <a href="http://www.vibrplast.ch">www.vibrplast.ch</a> <a href="mailto:info@vibrplast.ch">info@vibrplast.ch</a> +41 52 368 00 50	32.00/m <sup>2</sup>	?	Les blocs de mousse utilisés pour ce travail se trouvaient déjà à Jurassica.
Polypropylène cannelé épaisseur 3,8 mm 1800 x 2500 mm	Oekopack Conservus AG <a href="http://www.oekopack.ch">www.oekopack.ch</a> <a href="mailto:info@oecag.ch">info@oecag.ch</a> +41 33 655 90 55	42.50/pce	120.00	
Rivets Ø 4 x 12 mm	Hornbach <a href="http://www.hornbach.ch">www.hornbach.ch</a>	0.09/pce	-	
Fermetures pour caisse	Hornbach <a href="http://www.hornbach.ch">www.hornbach.ch</a>	2.35/pce	-	





## 11.2 Procédure pour la modélisation des conditionnements en mousse dans Blender

N.B. La version en anglais du logiciel est utilisée, car c'est celle qu'on retrouve le plus dans les différents tutoriels ou aides en ligne, en cas de problème.



### Réglages de départ

1. Ouvrir un nouveau fichier Blender.
2. Supprimer les éléments présents dans l'environnement (lumières, objets, etc.).
3. Faire les réglages suivants dans le volet de droite (propriétés) :
  - Scene  > Units > Unit system > Metric
  - Scene  > Units > Unit scale > 0.001
  - Render  > Color management > View transform > Raw
  - Output  > Format > Resolution > Utiliser les mêmes valeurs pour X et Y (par exemple 2500 px)
  - Output  > Output > File format > OpenEXR
  - Output  > Output > Color depth > Float (Full)

### Créer les *heightmaps* de l'objet

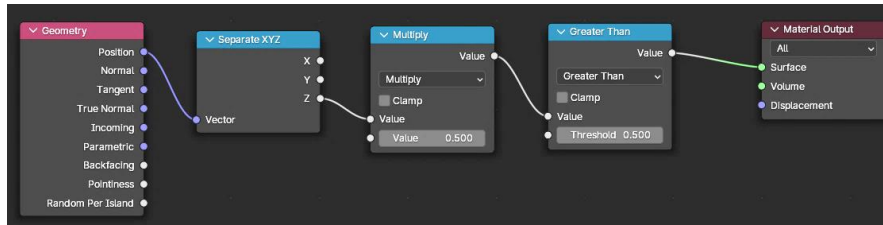
1. Importer le modèle 3D de l'objet (File > Import).
2. Orienter le modèle de l'objet le long des trois axes selon la position voulue dans le conditionnement. Puis appuyer sur Ctrl + A pour ouvrir le menu « apply » et sélectionner « all transforms ».
3. Passer de  Object Mode à  Edit Mode (en haut à gauche) et faire les manipulations suivantes :
  - Select > all (pour sélectionner l'ensemble de l'objet)
  - Alt + S (pour utiliser l'outil « shrink/fatten »)
  - Taper au clavier la valeur de grossissement voulue en mm (par exemple 0.4)
4. Revenir en  Object Mode et passer en vue « material preview »  (en haut à droite)
5. Se positionner en vue orthographique depuis le dessus par rapport à l'objet.



6. Dans le volet du bas, en mode « shader editor » , cliquer sur  New pour ajouter une texture à l'objet.
7. Supprimer le node « principled BSDF » qui est apparu, mais conserver le node « material output ». Ajouter les nodes suivants :

- Input > Geometry
- Converter > Separate XYZ
- Converter > Math > Multiply
- Converter > Math > Greater Than

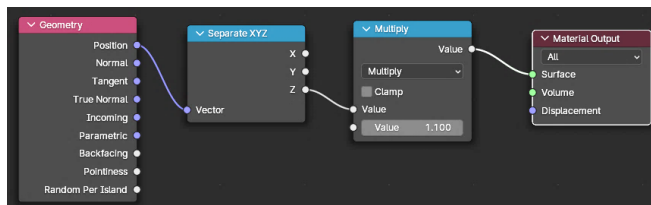
8. Relier les nodes ainsi :






Régler la valeur de




seuil de « Greater than » sur 1.









10. Changer progressivement la valeur de « Multiply » jusqu'à obtenir la plus grande valeur pour laquelle l'objet apparaît entièrement noir (sans taches de blanc).
11. Supprimer le node « Greater than » et relier directement « Multiply » à « Material output » :






12. Ajouter une caméra à la scène : Add > Camera.
13. Sélectionner la caméra. Dans ses propriétés , choisir Lens > Type > Orthographic. Puis changer la valeur « orthographic scale » jusqu'à ce que la caméra recouvre tout l'objet.
14. Si la caméra se situe plus bas que le sommet de l'objet, changer sa position sur l'axe Z dans Object  > Transform > Location > Z.
15. Cliquer sur Render > Render image (en haut à gauche). Une nouvelle fenêtre s'ouvre, avec l'image capturée par la caméra (il s'agit de la heightmap de l'objet). Sauvegarder cette image (Image > Save) et fermer cette fenêtre.
16. Pour créer une heightmap de l'autre côté de l'objet, appliquer à celui-ci une rotation de 180° selon l'axe Y dans Object  > Transform > Rotation > Y. Puis, refaire les étapes 8 à 15.

## Créer une empreinte dans un plan




1. Ajouter un plan à la scène : Add > Mesh > Plane.
2. Changer la taille de ce plan dans Object  > Transform > Scale, jusqu'à obtenir un carré de la même taille que le champ de la caméra.
3. En ayant le plan sélectionné, cliquer sur Modifiers  > Add modifier > Deform > Displace.
4. Cliquer sur New, puis sur  pour passer à la sélection de la texture.

5. Dans l'onglet texture qui s'ouvre alors, cliquer sur Open et sélectionner l'image sauvegardée précédemment.
6. La forme de l'objet n'apparaît pas immédiatement dans le plan. Pour cela, passer à nouveau en  Edit Mode et subdiviser le plan : clic droit sur le plan > Subdivide.
7. Dans le petit volet « Subdivide » qui apparaît, entrer le nombre de coupes à faire pour subdiviser le plan dans « Number of cuts ». Le maximum qui peut être entré en une fois est 100. Pour un objet très détaillé, cela peut ne pas être suffisant. Si c'est le cas, repasser en  Object Mode puis en  Edit Mode et faire une nouvelle subdivision (par exemple, 10 coupes supplémentaires).
8. Revenir en  Object Mode. L'empreinte de l'objet devrait être visible dans le plan. Régler la force du déplacement dans Modifiers  > Displace > Strength, pour arriver à une empreinte de même hauteur que la moitié de l'objet qui doit s'y insérer.
9. Pour vérifier que l'empreinte correspond bien à l'objet, on peut utiliser la vue Wireframe  (en haut à droite).
10. Lorsque les dimensions de l'empreinte sont bonnes, dans Modifiers  > Displace, cliquer sur  puis « apply » pour valider définitivement la modification du plan.

## Imprimer l'empreinte dans un bloc

1. Ajouter un cube à la scène : Add > Mesh > Cube
2. Modifier les dimensions du cube dans Object  > Transform > Scale, pour obtenir les dimensions du support voulu. Par défaut, le cube créé mesure 2 x 2 x 2 mm. Donc, entrer les dimensions divisées par 2, en mm, dans Scale, pour multiplier les dimensions de ce cube et obtenir la taille voulue.
3. Pour ajouter des « créneaux » au bloc de mousse :
  - a. Ajouter un cube à la scène.
  - b. Modifier les dimensions de ce cube pour obtenir la taille voulue.
  - c. Copier et coller ce cube le nombre de fois nécessaire plus placer tous les créneaux à leur emplacement sur le bloc principal.
  - d. Ajouter une nouvelle collection aux éléments de la scène (clic droit > New collection) et placer tous ces petits cubes dedans.
  - e. Sélectionner le cube principal (celui qui représente le bloc de mousse).
  - f. Cliquer sur Modifiers  > Add modifier > Generate > Boolean. Sélectionner « Union ». Dans « Operand type », sélectionner « Collection » et dans « Collection » sélectionner la nouvelle collection qui vient d'être créée.
  - g. Cliquer sur  puis « apply » pour valider définitivement la modification du cube.



4. Placer le plan qui contient l’empreinte de l’objet sur le « cube » qui représente le support en mousse. Le plan doit être placé de façon à ce que l’empreinte de l’objet soit à l’endroit où on veut que le support soit creusé dans la réalité.  
Attention : il ne faut pas superposer de manière exacte la surface du plan et la surface du cube, mais laisser un léger décalage (par exemple, de 0,001 mm).
5. Sélectionner le cube. Cliquer sur Modifiers  > Add modifier > Generate > Boolean.  
Sélectionner « Difference » puis, en cliquant dans , sélectionner le plan qui contient l’empreinte de l’objet.
6. Par cette opération de soustraction, le cube contient désormais l’empreinte de l’objet. Cliquer sur  puis « apply » pour valider définitivement la modification du cube. Le modèle du support est terminé.
7. Copier et coller ce modèle dans un nouveau fichier Blender qui ne contient aucun autre élément. Cliquer sur File > Export > STL et sauvegarder le modèle.

### **Raccourcis clavier utiles**

- Ctrl + Alt + Q pour afficher plusieurs vues orthographiques en même temps (selon les différents axes)
- G pour attraper (« grab ») un objet sélectionné et le déplacer librement. Taper X, Y ou Z après G permet de le déplacer selon un seul axe de manière très précise avec les flèches du clavier.