



HAL
open science

Coupole : expérimentation du charbon de bois dans la construction

Charly Repussard

► **To cite this version:**

Charly Repussard. Coupole : expérimentation du charbon de bois dans la construction. Architecture, aménagement de l'espace. 2021. dumas-03376355

HAL Id: dumas-03376355

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03376355>

Submitted on 13 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



EXPÉRIMENTATION DU CHARBON DE BOIS DANS LA CONSTRUCTION

COUPOLE

Réalisation : Charly REPUSSARD
Groupe de Mémoire : Matière à expérimentations
Accompagnement : Gilles EBERSOLT / Stéphane BERTHIER
Avec la contribution de :

Abstract

Ce mémoire a pour objet l'expérimentation du charbon de bois dans la construction et pour démonstration la réalisation d'une coupole suspendue. Au travers de cet objet, j'aborde les raisons qui m'ont guidé à choisir ce matériau, sa mise en œuvre, la forme de l'objet ainsi que mes choix techniques pour sa fabrication.

Tout d'abord attiré par l'esthétique singulière du charbon de bois d'un noir à la fois mat et brillant, je me suis ensuite intéressé à ses propriétés physiques qui en font un matériau rigide, léger et isolant grâce à sa structure alvéolaire en carbone.

Après avoir fait un tour d'horizon des documentations sur le sujet, j'ai cherché des techniques d'assemblages pour en faire un matériau techniquement exploitable à l'échelle d'une construction. Cela m'a progressivement amené au composite que j'ai constitué : un aggloméré de charbon et colle à bois.

En supposant que ce composite avait un potentiel dans une architecture expérimentale, j'ai alors cherché à définir quelle serait son cycle de vie dans la construction et lancé le début des expérimentations.

Par ailleurs retenu dans l'appel à projets lancé par le ministère de la culture sur le cycle de la matière : Bio-Fao, et après avoir contacté des fournisseurs, j'ai commencé la réalisation de la coupole en abordant de façon pratique la mise en œuvre et en me confrontant aux problématiques de la réalisation, jusqu'à son exposition.

Ce mémoire est la synthèse de ses recherches.

Sommaire

04 - 05 **INTRODUCTION** : Le détournement d'un matériau

06 - 07 **SUJET** : Le charbon de bois dans la construction

08 - 09 **ETAT DE L'ART** : Le charbon dans le domaine architectural et artistique

10 - 11 **PROBLÉMATIQUE** : Le charbon de bois peut-il être le composant d'une architecture légère ?

12 - 12 **HYPOTHESE** : Un matériau hybride

13 - 35 **DEMONSTRATION** : Essai pratique des capacités du matériau

PHASE 1 - STRUCTURE

- 1) choix de la forme
- 2) protocole et tests
- 3) procédé de fabrication
- 4) fabrication de la coupole
- 5) cycle de la matière
- 6) exposition

PHASE 2 - REVÊTEMENT

- 1) protocole et tests
- 2) procédé de fabrication
- 3) combinaison

36 - 39 **RECHERCHES PLASTIQUES** : Références autour des effets visuelles

19 - 19 **CONCLUSION** : Le charbon de bois, une application plastique plus que structurelle

19 - 19 **BIBLIOGRAPHIE** : citation des livres, mémoires, articles et sites internet

19 - 19 **PARTENAIRES** : Entreprises et organismes ayant contribué au projet

Introduction

Le détournement d'un matériau

Principalement utilisé comme combustible de cuisson aujourd'hui, le charbon de bois a fait l'objet de nombreuses autres utilisations dans le passé : comme combustible en métallurgie avant d'être remplacé par le coke, comme composant de la poudre à canon, comme conservateur ou encore comme élément de filtration. Toutefois de par son fort potentiel en tant que combustible, il n'a jamais été considéré comme intéressant dans la construction, hormis en tant que revêtement dans la technique japonaise du Yakisugi ou ses propriétés lui confère longévité dans le temps.

Historiquement, la transformation de bois en charbon de bois s'effectuait au sein de meules coniques dotées d'une cheminée centrale et composées de morceaux de bois empilés et recouverts de terre. Le feu était mis depuis le sommet de ces meules afin d'obtenir une température au centre avoisinant 200°C. Ce procédé artisanal est encore courant dans certaines régions africaines et asiatiques. Il est aujourd'hui remplacé dans les pays développés par une production industrielle dans de grands fours, qui permettent de récupérer en moyenne 25 kg de charbon de bois à partir de 100 kg de bois.

Le procédé permet d'éliminer, par élévation de la température, les fractions liquéfiables (acide pyroligneux) et gazéifiables du bois - son humidité et toute matière végétale ou organique volatile - afin de ne laisser que le carbone à environ 80% et quelques minéraux. La structure micro et nanoporeuse de ce charbon lui confère des qualités physiques particulières.



Technique
Yakisugi

Sujet

Le charbon de bois dans la construction

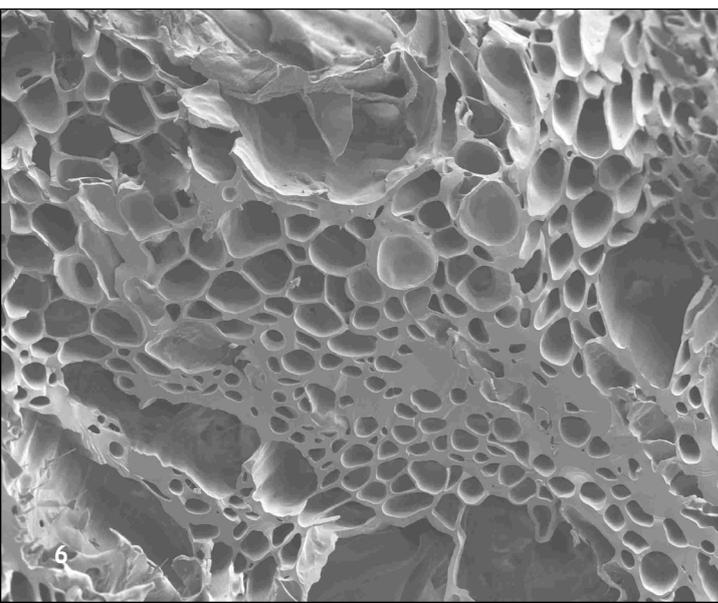
La majeure partie de la masse d'un bâtiment sert à porter son poids propre. À l'heure des économies d'énergie et de ressources, le bâtiment fait partie des secteurs qui doivent évoluer, la surconsommation joue un rôle majeur dans l'émission des gaz à effet de serre autant par la fabrication que dans l'usage. Or un bâtiment lourd consomme plus de ressources, plus sa masse est importante plus sa structure sera imposante et par rétroaction positive plus il devra être massif pour se supporter lui-même. De ce fait une faible partie de la masse structurelle d'un bâtiment sert à porter sa charge «utile».

Dans ma recherche mon objectif de fond était donc de se questionner sur la performance dans la construction, ou comment avoir un ratio poids/résistance le plus performant possible, le tout en restant au maximum Bio-sourcé.

C'est alors que je me suis intéressé au charbon de bois. Structurellement constitué d'alvéole, comme un os, cette matière a la particularité d'être naturellement résistante et légère. Je me suis alors questionné sur son potentiel dans l'architecture.

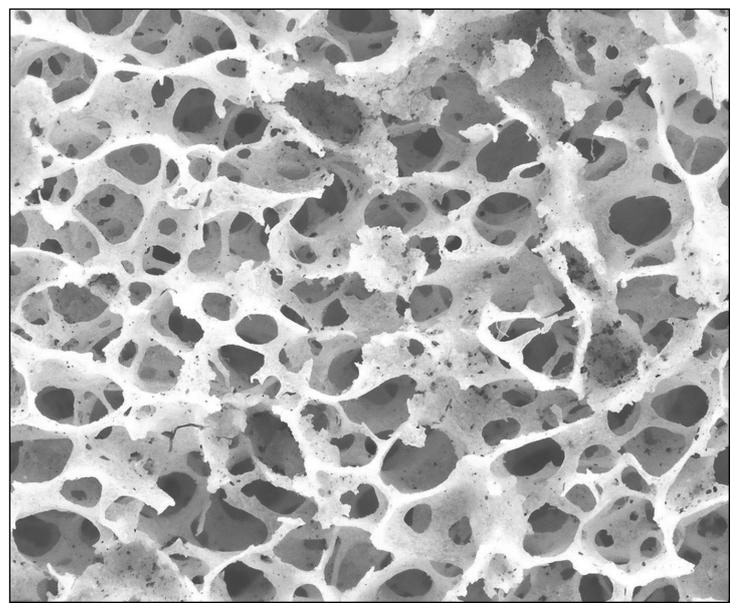
Charbon de bois

Echelle nanométrique



Os

Echelle millimétrique



RÉSISTANCE MÉCANIQUE¹ : À ce jour, il n'existe pas de documentation sur la résistance mécanique du charbon de bois. Les seules études abordant le charbon de bois dans la construction font référence à ses aspects isolants lors de la combustion de la section de bois porteuse et dans l'industrie*

ISOLATION¹ : La conductivité thermique du charbon de bois est de 0,055 w/m/k à 20°. Comparativement la laine est à 0,050 w/m/k à 20°.

MASSE VOLUMIQUE² : De la masse du bois à celle du charbon le rapport est d'environ 4,5 pour 1. La masse volumique du charbon se situe autour de 180 kg/m³.

ENERGIE GRISE³ : D'après mes calculs les émissions de Co2 produite par la fabrication d'1m³ de charbon de bois sont de 1620 kg de CO2 (selon l'essence du bois et l'efficacité du four). : Masse volumique du charbon 180 kg dont 80% de carbone x3,76 (conversion du C en CO2) x3 (qqt de m³ de bois nécessaire pour la production d' 1m³ de charbon de bois).

RATIO MATIÈRE PREMIÈRE/FINI⁴ : Le ratio moyen entre la quantité de bois injecté et la quantité finale de charbon est de 3 à 5 kg de bois pour 1 kg de charbon de bois (les procédés industriels varient entre 15 et 30% de rendement).

DURABILITÉ/PÉRÉNITÉ⁵ : Hors de contact du sol (seulement soumis aux intempéries), le charbon a une tenue de plus de 80 ans d'après la technique yakisugi où Sho Sugi ban (dans la mesure où il est enduit d'une huile végétale).

INCIDENCE SUR L'ORGANISME⁶ : Son incidence sur l'organisme est nul, ormis les poussières qui peuvent être émises lors de sa manipulation, le charbon de bois est sain puisqu'il a des vertus purifiantes autant dans l'eau que dans l'air en fixant les composés organiques.

*(Différents essais ont été mis au point pour mesurer la résistance à la fragmentation, propriété malaisée à définir de manière objective. Ces essais reposent sur la mesure de la résistance du charbon de bois à la rupture ou à la fragmentation, en laissant tomber un échantillon d'une certaine hauteur sur une plaque métallique, ou en le secouant dans un tambour pour déterminer la diminution de taille des morceaux après un temps donné. Le résultat est exprimé en pourcentage de morceaux passant ou non à travers des tamis de différentes mailles. Un charbon peu résistant à la fragmentation donnera aux essais un plus fort pourcentage de poussière. Celui-ci est indésirable dans les hauts-fourneaux, du fait qu'il contrarie le courant d'air ascendant. Un charbon fragile peut aussi s'écraser sous le poids de la charge, et provoquer des obstructions.)

1. MAES Pascale, «Construction bois et sécurité incendie », *Les Essentiels du bois*, CNDB, n°4, février 2007

2. BORLIDZZI Andréa, «Woodfuel Survey», *FAO*, <http://www.fao.org/3/ca6442en/ca6442en.pdf>, 1983

3. DOUARD Frédéric, «le-charbon de bois est il un combustible satisfaisant pour le tiers monde», *Bio énergie*, , 11 juillet 2010

4. BRAQUE R. «Les industries de la carbonisation du bois en France», *L'information géographique*, volume 13, n°1, 1949. pp. 28-33.

5. YOSHIYA, «Forestry and the Forest Industry in Japan», UBC Press, 2002

6. SPÉE Marion, «Le charbon végétal : les bienfaits de ce produit de santé naturel» *passport santé*, Février 2018

Etat de l'art

Synthèse des études sur la combustion du bois

Dans l'ensemble, le seul emploi du charbon dans la construction est dans la technique du traitement du bois dite : «Yakisugi» ou bien «Shou Sugi Ban». L'autre littérature présente sur le charbon de bois aborde ses propriétés autour de sa résistance aux feux dans le cadre des incendies de bâtiments en bois. Contrairement à ce que l'intuition peut laisser penser, le charbon de bois a une conductivité thermique nettement plus faible que le bois : 0,055 W/mK, contre 0,36 W/mK pour du bois massif, il est donc beaucoup plus lent à prendre feu.

En résumé, dans les circonstances d'un feu de charpente traditionnelle le charbon de bois ne constitue pas un élément porteur. Les failles qui se créent dans la section de bois ne permettant pas la transmission des efforts. En revanche, l'aspect isolant du matériau est avéré puisqu'il est considéré comme déterminant dans le ralentissement de la combustion d'une section de bois.

1.



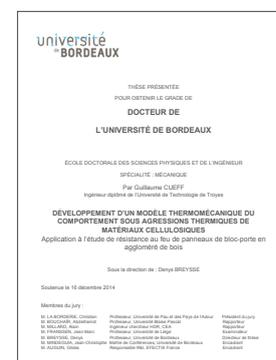
2.



3.



4.



1. MOURAS Sylvie, «Propriétés physique de bois», Centre technique du bois et de l'Ameublement 2001
2. ROBINET Thomas, SIGNORET Jean, «Résistance au feu des structures bois», PFE université de Lorraine, 2015
3. THIT Van Diem, «Modélisation du comportement au feu des structures en bois», Thèse de l'université de Lorraine, 2017
4. CUEFF Gilles, «Développement d'un modèle thermomécanique du comportement sous agressions thermiques», Thèse de l'université de Bordeaux, 2014

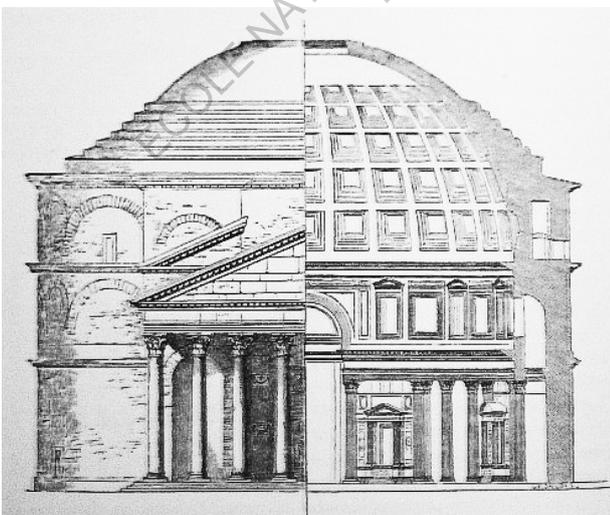
Carbonisation du bois et coupole

Le Yakisugi, littéralement cèdre brûlé est une technique de protection du bois originaire du Japon. Elle s'obtient en brûlant profondément la surface d'une planche de bois. Le matériau ainsi obtenu est réputé plus résistant au feu, aux insectes et aux champignons. Cette technique est réutilisée par des architectes contemporains comme Terunobu Fujimori¹.



Technique de fabrication : Dans la fabrication ancestrale du yakisugi, trois planches sont liées entre elles par une corde ou un fil de fer, avec une cale dans chaque angle, formant ainsi une cheminée. La cheminée est posée sur un foyer, ou une boule de papier journal est allumée à sa base afin d'en enflammer l'intérieur. La cheminée brûle plusieurs minutes d'un côté, puis est retournée afin que le brûlage soit homogène sur toute la hauteur des planches. Lorsque le temps est écoulé, les planches encore en feu sont détachées et plongées dans l'eau afin de stopper la combustion.

2.



En écho à la coupole antique du Panthéon de Rome doté de son oculus, le pavillon que je propose fonctionne sur le même principe constructif, une voûte hémisphérique, de profil semi-circulaire, elliptique. Ses constructions appaurent dans l'architecture romaine antique avec les salles octogonales de la Domus Aurea 64 ap. J-C, la Domus Augustana 92 ap. J-C, le Panthéon de Rome 125 ap. J-C, ont surtout contribué à magnifier les édifices religieux avant que la voûte trouve une utilisation moderne avec le béton tel que celle du CNIT de l'architecte Robert Camelot.

1. GILLIN Jaime, « Terunobu Fujimori », sur www.dwell.com, 14 avril 2009

2. FERGUSSON James, « A History of Architecture in All Countries », 3rd edition. Ed. R. Phené Spiers, F.S.A.. London, Vol. I, p. 320, 1893.

Problématique

Le charbon de bois peut-il être le composant d'une architecture légère ?

Seul, le charbon de bois ne permet pas de constituer un élément de construction, mais mélangé avec un liant, il devient un matériau macro-fluide capable de s'agglomérer et de se figer dans une forme. Le meilleur candidat pour constituer un composite avec le charbon de bois s'était avéré jusqu'alors être la colle à bois. Résistante à la traction et souple; la colle à bois permet d'envelopper les morceaux de charbon de bois et de créer la cohésion entre eux. En compensant la faiblesse du charbon de bois qui subit mal les efforts de traction, la colle à bois fait de ce matériau un composite relativement performant.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE VERSAILLES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Matériaux	: Charbon de bois/Colle à bois
Tailles	: 28x28x4cm
Poids	: 790g
Masse volumique	: 250kg/m ³

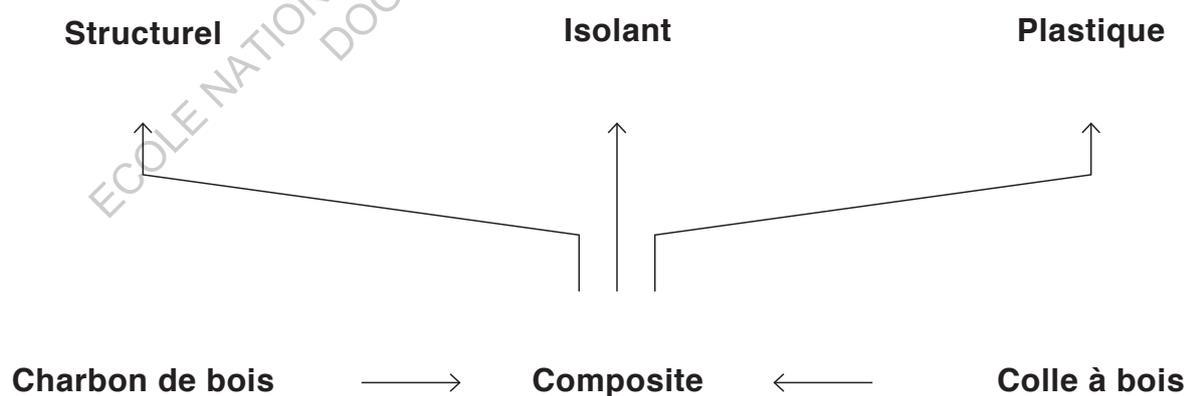


Hypothèse

Un matériau hybride

Et si l'assemblage du charbon et de la colle à bois permettait en un seul composite de faire la structure, l'isolation et le revêtement ?

Regroupant différentes propriétés recherchées dans la construction il pourrait constituer un élément de base polyvalent permettant du même coût de réduire la complexité de la fabrication et d'augmenter l'efficacité de la structure. Mon hypothèse se base sur ce postula et test par l'expérimentation la validité de ces principes par une démonstration sous forme de coupole avec ce composite.



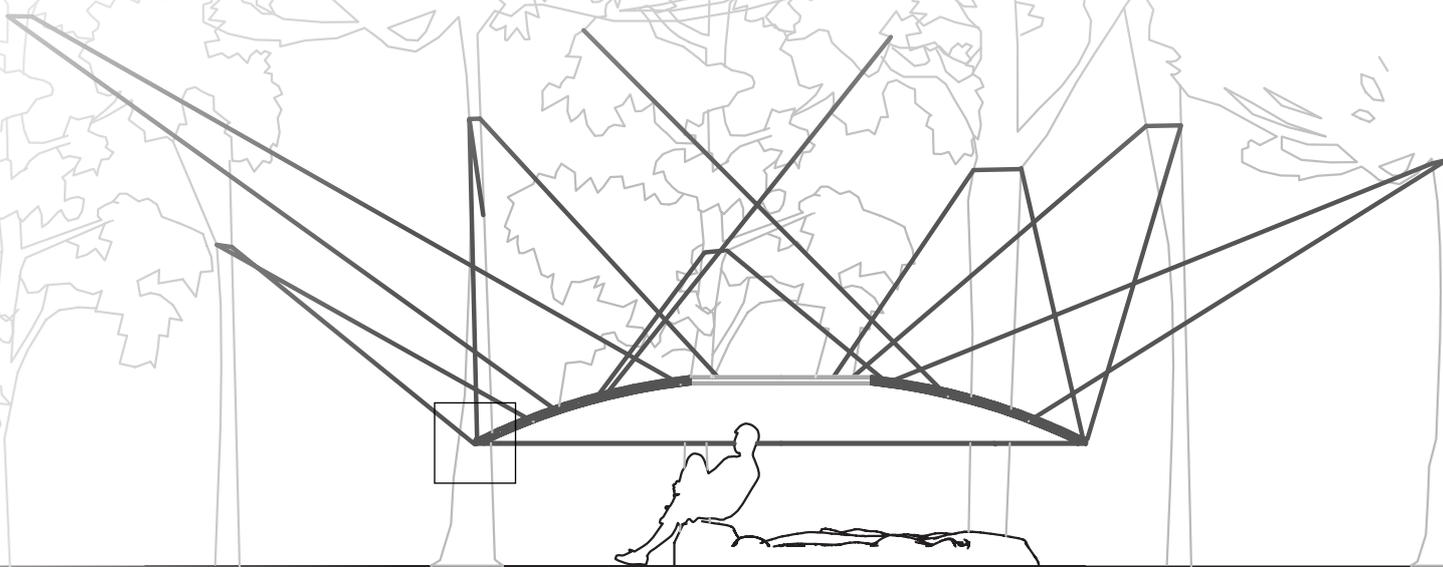
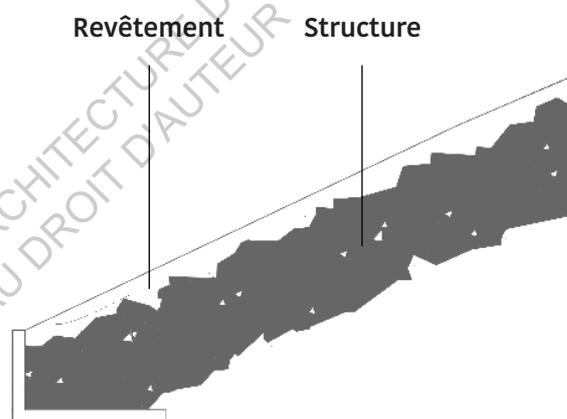
Démonstration

Essai- pratique des capacités du matériau

Phase 1 - Structure

Dans le cadre de mon mémoire et du concours Bio-Fao sur le cycle de la matière lancé par le ministère de la culture et sous l'accompagnement de Gilles Ebersolt et Xavier Tiret, j'ai constitué un dossier proposant la réalisation d'une coupole en charbon de bois. Mon projet ayant été retenu, ma démonstration a été la mise en oeuvre de ce matériau dans ce projet et l'ensemble des étapes que j'ai suivi pour le mener à son terme.

- 1) choix de la forme
- 2) protocole et tests
- 3) Procédé de fabrication
- 4) fabrication de la coupole
- 5) cycle de la matière
- 6) exposition



1) choix de la forme

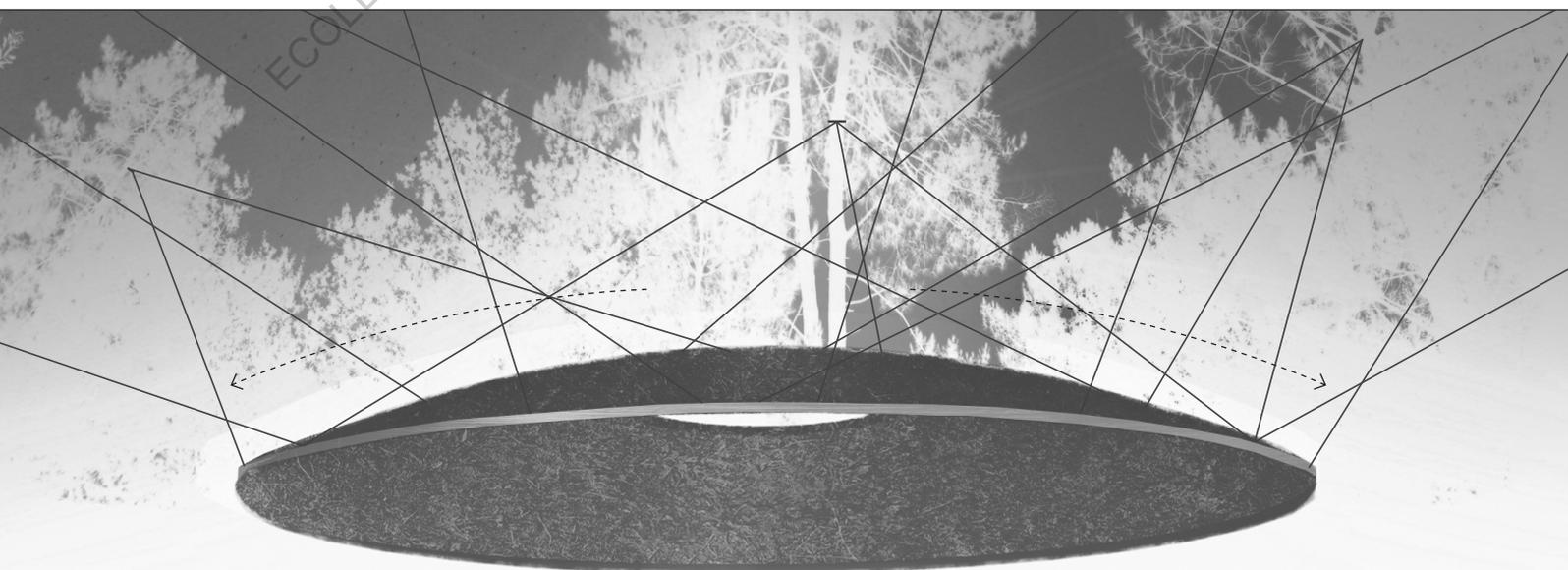
La forme choisie pour cette structure repose sur les propriétés du charbon. Celui-ci fonctionne particulièrement bien en compression, or cette forme en coupole permet une grande stabilité par sa double courbure et un unique travail en compression de par sa silhouette aplatie.

Cette forme permet de démontrer la capacité du matériau composite à couvrir de grands volumes avec un minimum de matière.

Cette installation peut être suspendue à divers endroits par des tirants qui s'attachent à l'arceau faisant le pourtour de la coupole pour reprendre les charges de compression.

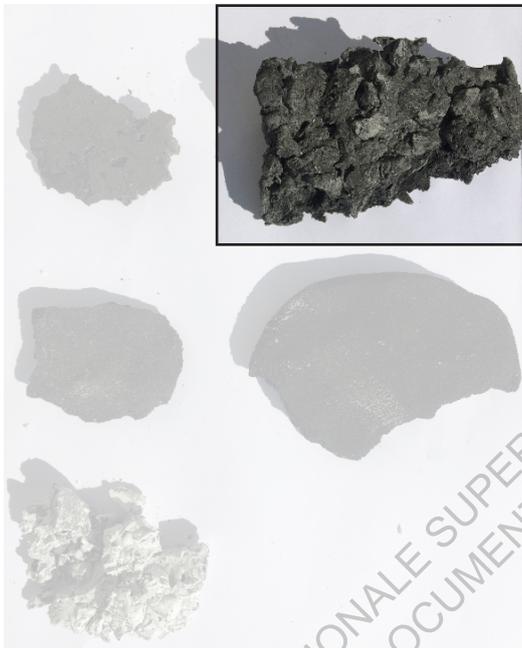
Un oculus est présent pour marquer la plasticité de cette matière sombre qui contraste avec son environnement.

surface : **13m²**
diamètre : **4m**
épaisseur : **4cm**
poids : **250kg**



2) Protocole et tests

- a- Test des types de liants
- b- Test de colle à bois
- d- Test de résistance



a- Test de type de liants

Parmi l'ensemble des tests qui ont pu être effectués sur les liants (colle à bois, amidon, farine, maïzena) la colle à bois a donné les meilleurs résultats.



b- Test de la colle à bois

Les différentes colles à bois testées sont toutes des colles vinyliques (classée A+), leur distinction se fait essentiellement sur le temps de séchage la viscosité et la résistance à l'eau. Pour mon projet j'ai choisi la R64 de Bostik® car elle a une prise lente une viscosité forte ainsi qu'une bonne résistance à l'eau (classé 5).

TEST 1



10KG

TEST 2



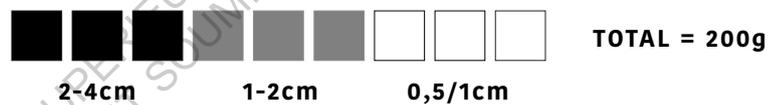
14KG

TEST 3



20KG

TEST 4



40KG

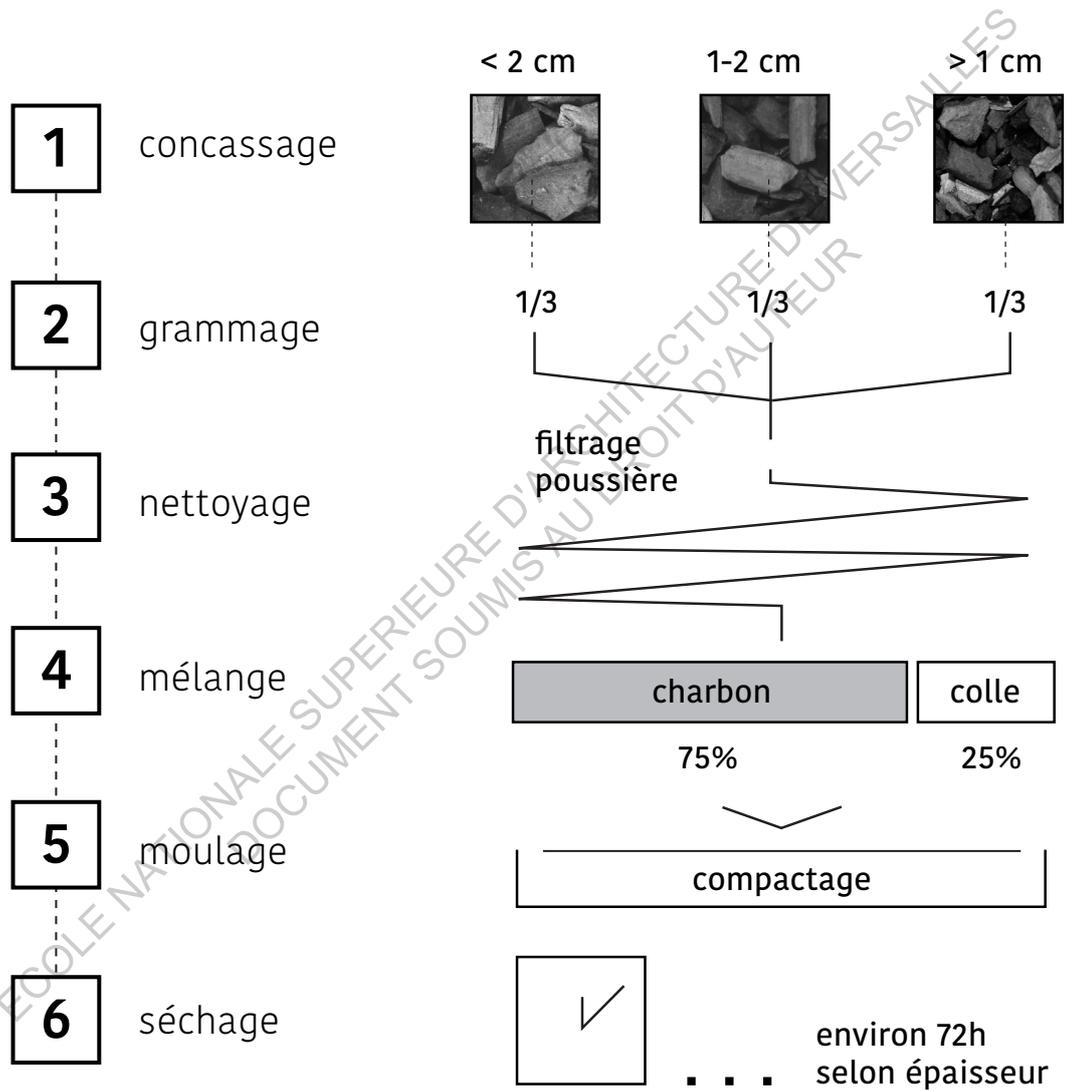
d- Test de résistance

Le grammage définit la densité du composite, plus les morceaux de charbon seront fins moins il y aura d'air et donc plus le composite sera lourd. L'enjeu était de trouver le grammage le plus performant, utilisant le moins de colle et offrant la meilleure résistance mécanique.

Au terme de ces tests, il s'est avéré que la proportion la plus efficace entre les différentes tailles de morceaux de charbon était d'un tiers de chaque.

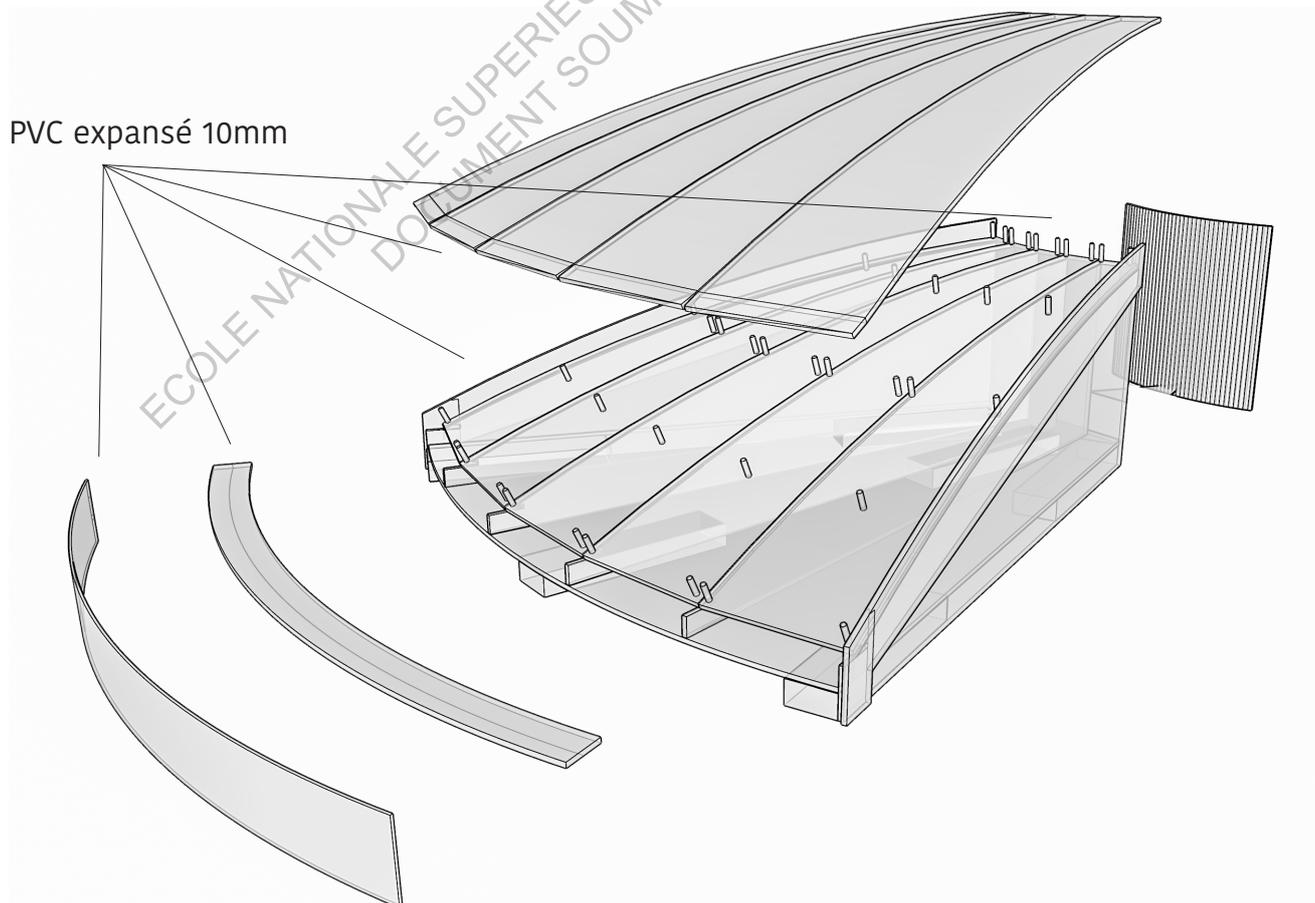


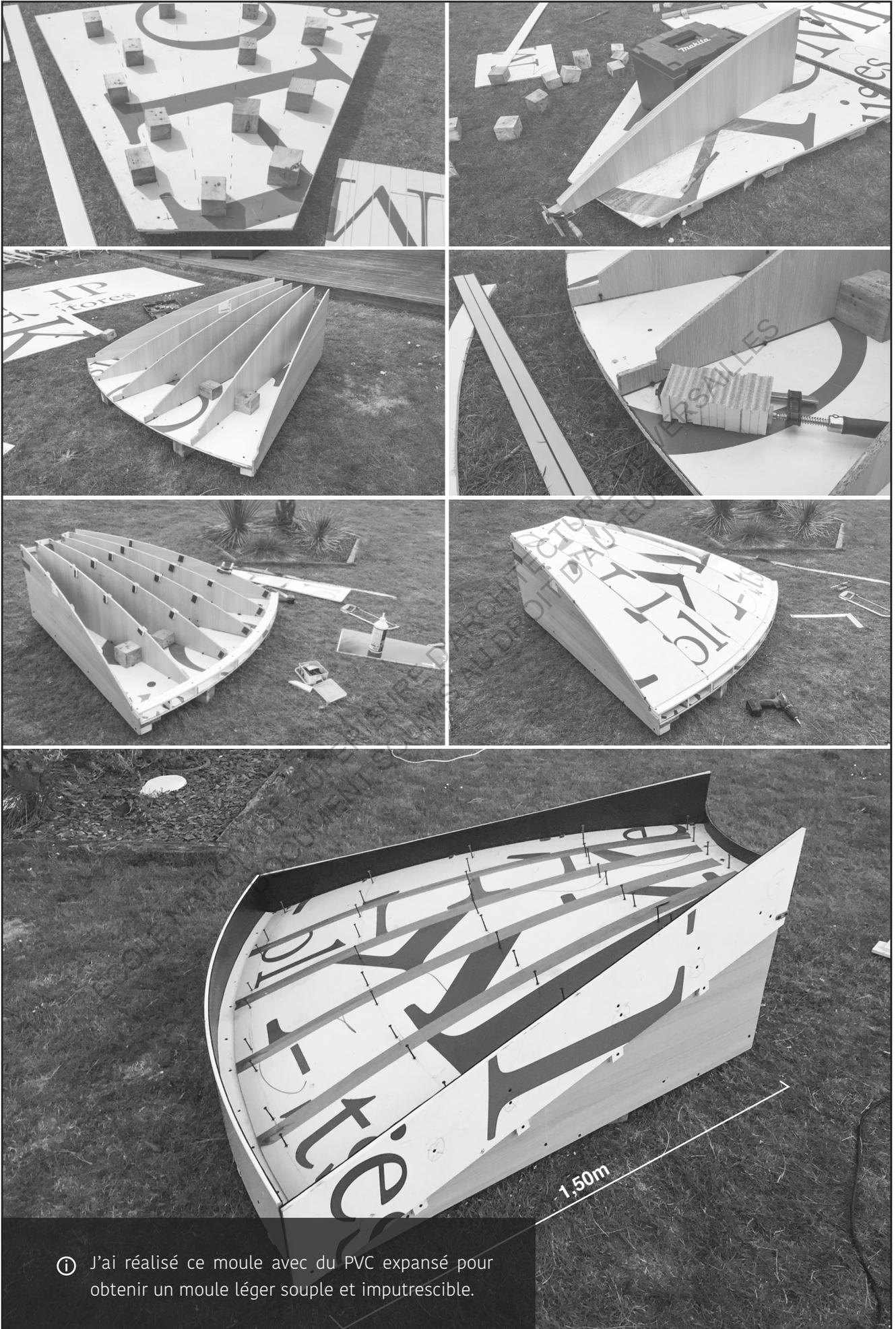
3) Procédé de fabrication



4) Fabrication de la coupole

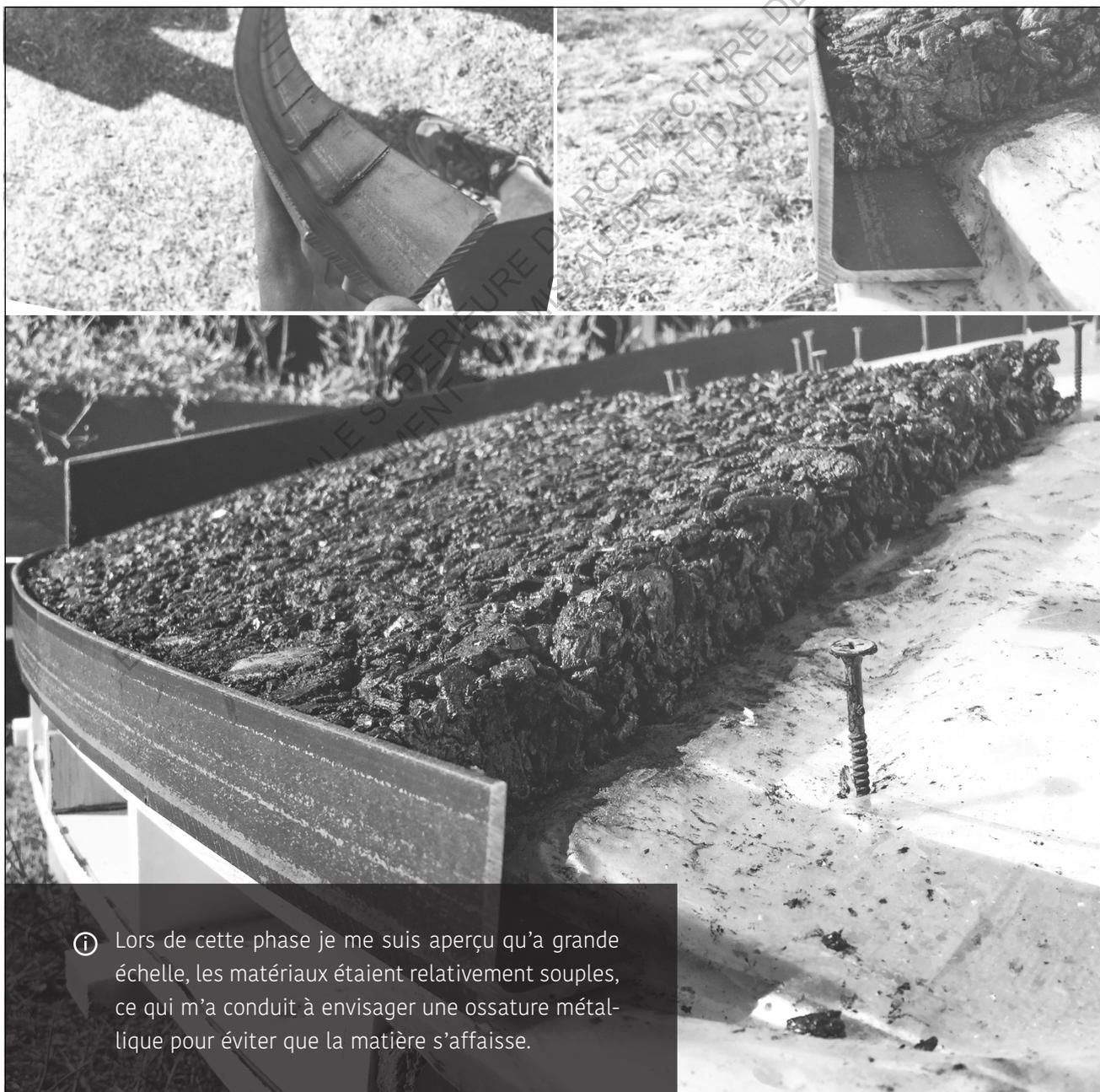
1 Le moule : pour fabriquer la coupole, j'ai choisi de réaliser un seul moule qui me permettrait de dupliquer 8 fois la même portion pour parvenir à la forme finale. Ce nombre de 8 était un consensus entre sa dimension qui devait être raisonnable et le temps de séchage long du matériau qui ne permettait pas d'étaler la fabrication sur une période plus longue avec davantage de segments.





4) Fabrication de la coupole

2 L'essai échelle 1/1 est l'étape antérieure au lancement de la production des quartiers de la coupole. Elle m'a permis de me rendre compte des problématiques liées à la grande échelle et aux solutions envisageables pour y répondre dans la mise en oeuvre.

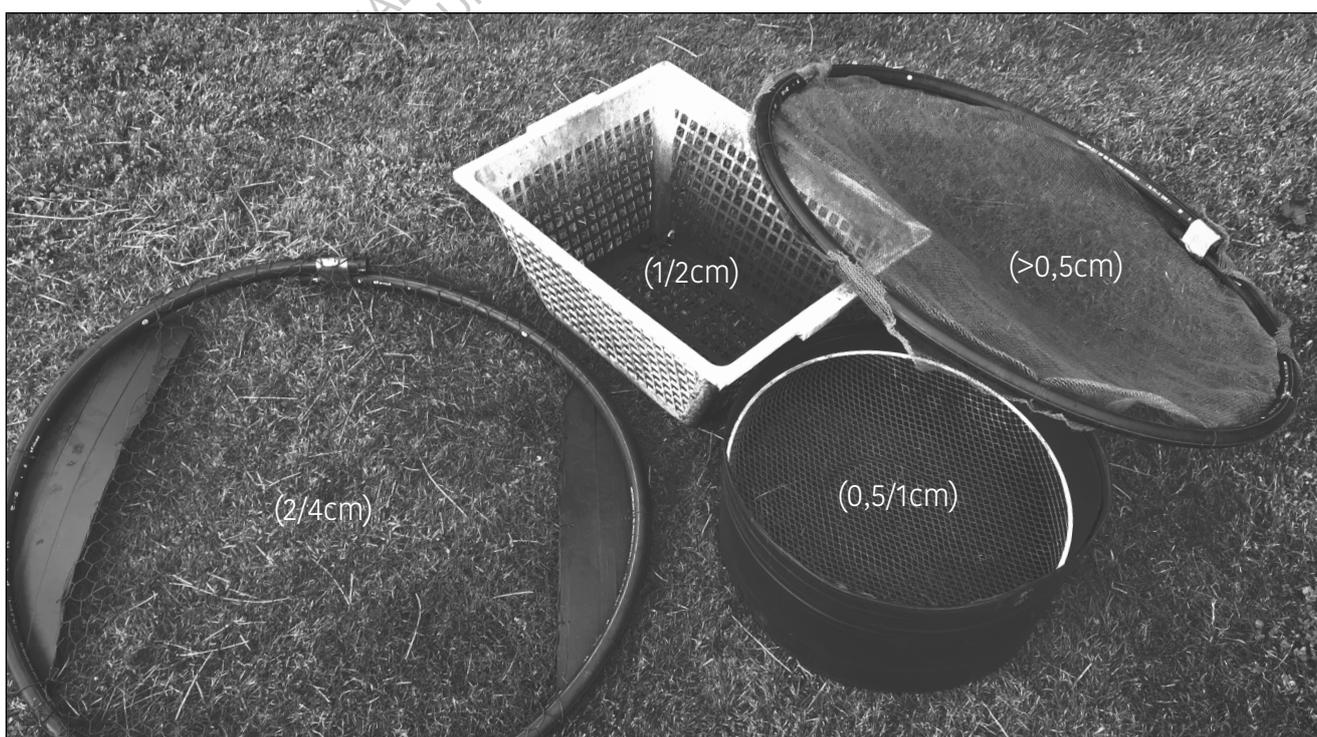


① Lors de cette phase je me suis aperçu qu'à grande échelle, les matériaux étaient relativement souples, ce qui m'a conduit à envisager une ossature métallique pour éviter que la matière s'affaisse.

4) Fabrication de la coupole

3 Préparation du moule : avant de couler le matériau il était nécessaire d'appliquer sur la surface une bâche qui permettait de décoller facilement le segment. Il fallait ensuite placer une à une les vis qui, étalonnées à 5 cm permettait d'avoir une épaisseur constante sur toute la longueur du moule. Enfin il fallait disposer les joues sur les 4 cotés du moule.

4 Fabrication des tamis : Afin de respecter le grammage calculé lors des tests, j'ai fabriqué 4 tamis qui me permettent de répartir les morceaux de charbon en fonction de leurs dimensions (2/4 cm), (1/2 cm), (0,5/1 cm), (>0,5 cm)

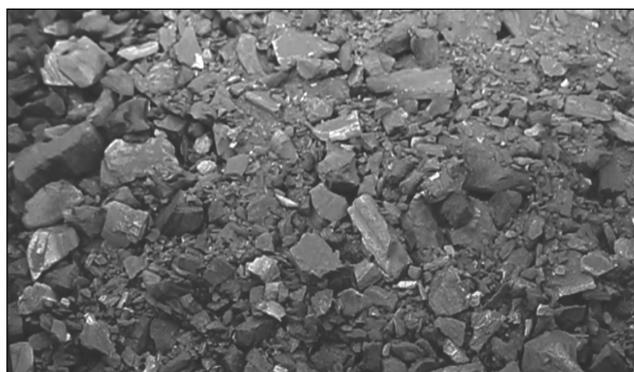


4) Fabrication de la coupole

5 Concassage : le concassage était l'étape la plus empirique puisque je devais veiller à trouver le juste milieu pour ne pas broyer trop fin les morceaux de charbon et en même temps ne pas en avoir de trop gros.



6 Tamisage : après avoir broyé le charbon je le faisais passer par les tamis afin de les classer par taille. La difficulté que j'ai rencontrée était de garder une proportion d'un tiers entre chaque type de grammage.



ⓘ Le tamisage était l'étape la plus fastidieuse à cause de l'effort à fournir et la poussière très volatile qui se dégageait.

4) Fabrication de la coupole

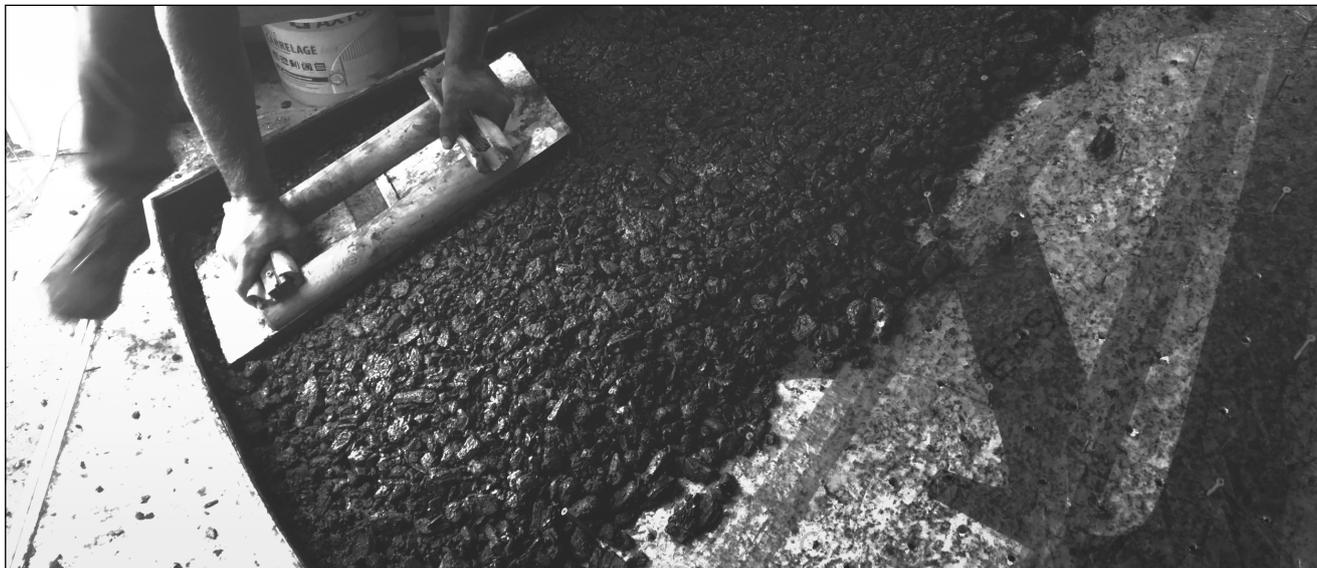


7 Mélange : le mélange se faisait avec une bétonnière de façon à couler de grandes quantités de matière en un minimum de temps, sachant que la colle avait une prise relativement rapide.

8 Coulage : après 5 minutes de mélange, il fallait verser le contenu sur la première moitié du moule et l'étaler rapidement en veillant à répartir de façon homogène en répétant l'opération pour la deuxième partie.



4) Fabrication de la coupole



9 Tassage : à partir du moment où le charbon et la colle étaient mélangés, il fallait aller très vite pour agglomérer la matière dans le moule, c'est pourquoi j'ai confectionné cet outil avec lequel je tassai la matière jusqu'à venir en butée des vis.

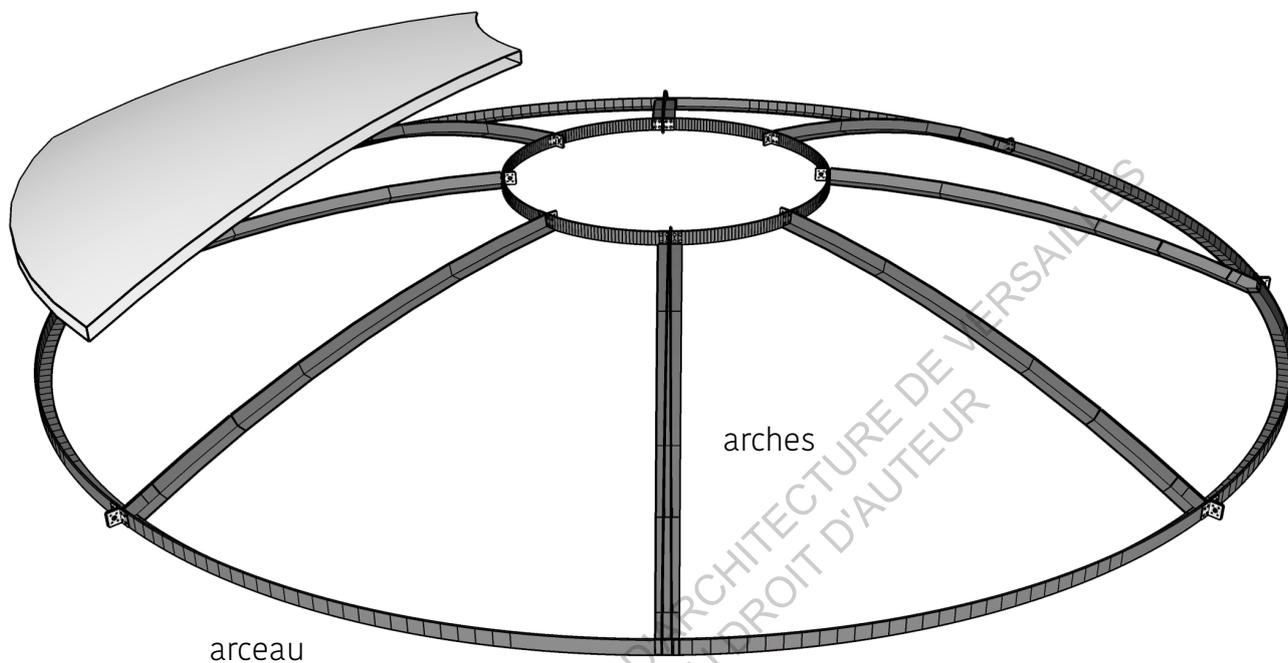
10 séchage : la dernière étape était d'appliquer ses segments perforés sur lesquels je disposais une masse afin d'améliorer la prise de la colle avec le charbon. Un ventilateur évacuait l'humidité à l'intérieur du moule.



i Après le premier segment j'ai percé davantage de trous pour permettre à l'air de circuler plus efficacement.



4) Fabrication de la coupole



11 Ossature métallique : après avoir réalisé les 8 sections de la coupole, je me suis chargé de concevoir la structure métallique à partir de 2 types de cornière : les arches (40X40X2 mm) et l'arceau (40X40X3 mm).



i Les arches métalliques, qui n'étaient pas prévues au départ on fait prendre 30 kg à la structure finale, mais étaient indispensables à la tenue de l'ensemble.

4) Fabrication de la coupole

12 Découpe : après mes tests j'ai choisi un intervalle entre chaque fente de 7,5 cm pour l'arceau et 15 cm afin de pouvoir plier les barres suffisamment et d'avoir une courbe douce.



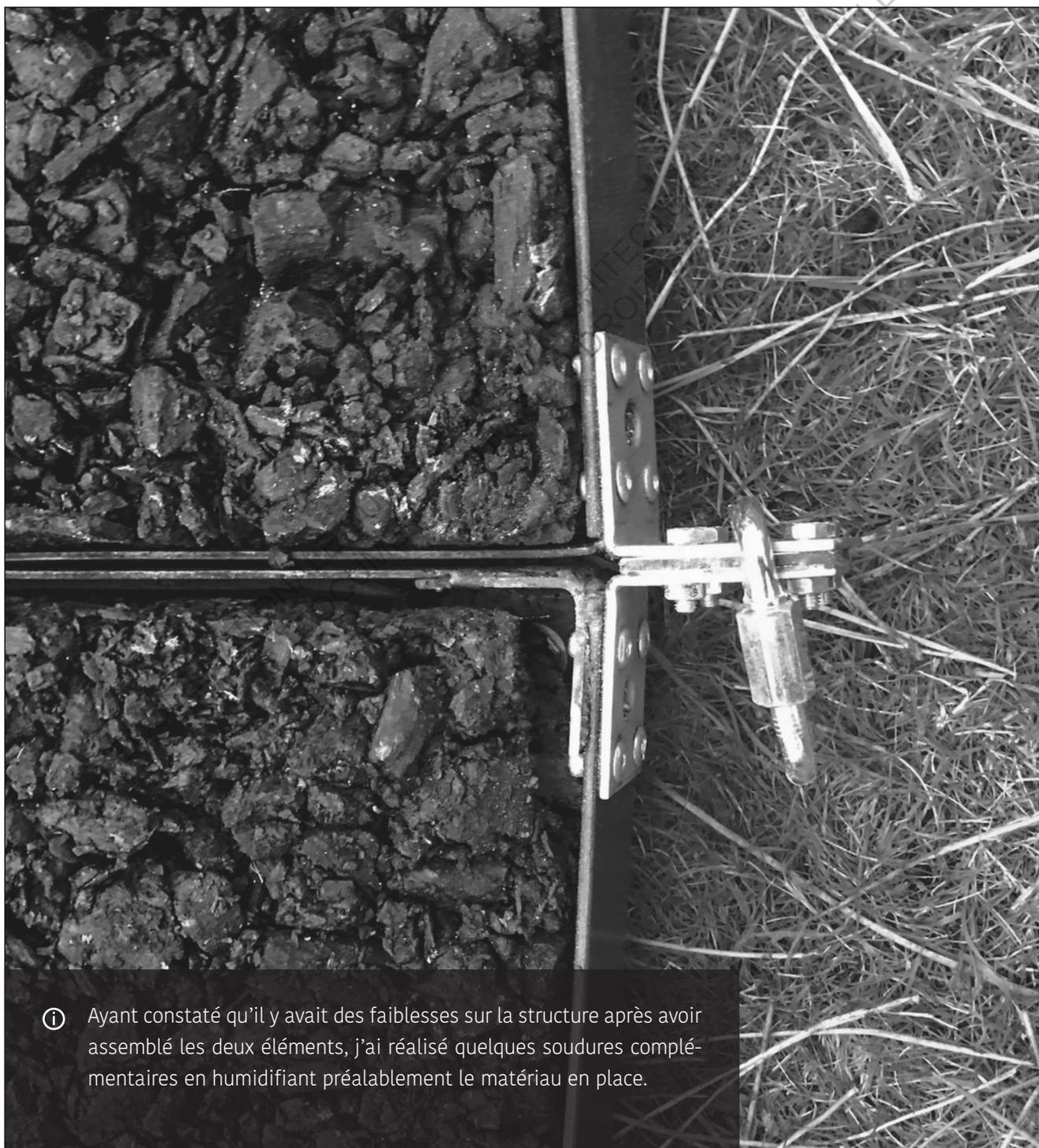
13 soudure : une fois les barre coupées je les ai disposées sur les gabarits que j'avais dessiné pour commencer à souder.



ⓘ Après avoir soudé toutes les barres je me suis rendu compte qu'avec la rétraction leur courbure changeait, j'ai donc modifié mon gabarit pour compenser ce paramètre.

4) Fabrication de la coupole

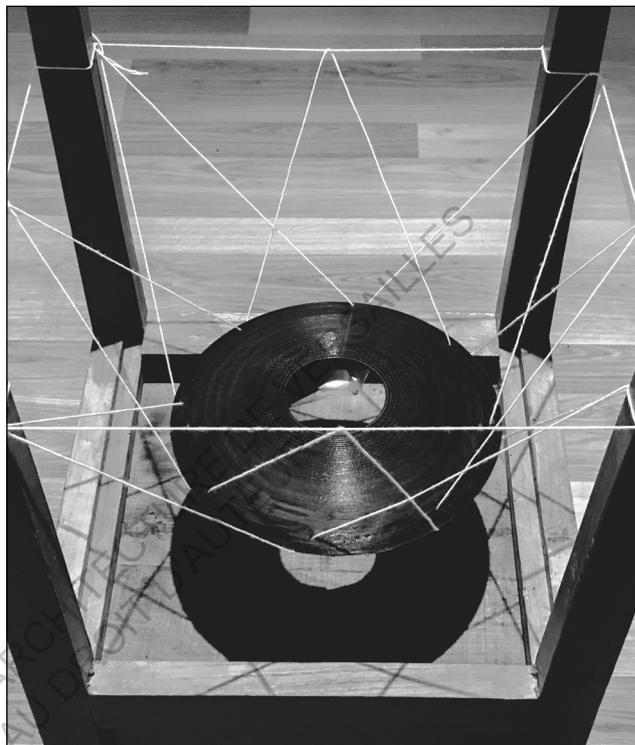
14 Préassemblage : l'étape la plus délicate du projet était d'assembler et d'ajuster les ossatures métalliques avec les sections de charbon de bois. Après avoir appliqué de la mousse à l'intérieur des cornières, je coulissais le segment en charbon puis je devais mettre en tension le tout pour poser les derniers rivets qui assuraient la cohésion de l'ensemble.



i Ayant constaté qu'il y avait des faiblesses sur la structure après avoir assemblé les deux éléments, j'ai réalisé quelques soudures complémentaires en humidifiant préalablement le matériau en place.

4) Fabrication de la coupole

15 Maquette de suspension : afin de vérifier la stabilité de l'assemblage des cordes, j'ai réalisé cette maquette qui permettait de tester à échelle réduite le comportement de la structure. On retrouve ainsi 3 cordes distinctes qui fonctionnent indépendamment et assurent l'équilibre de l'ensemble.



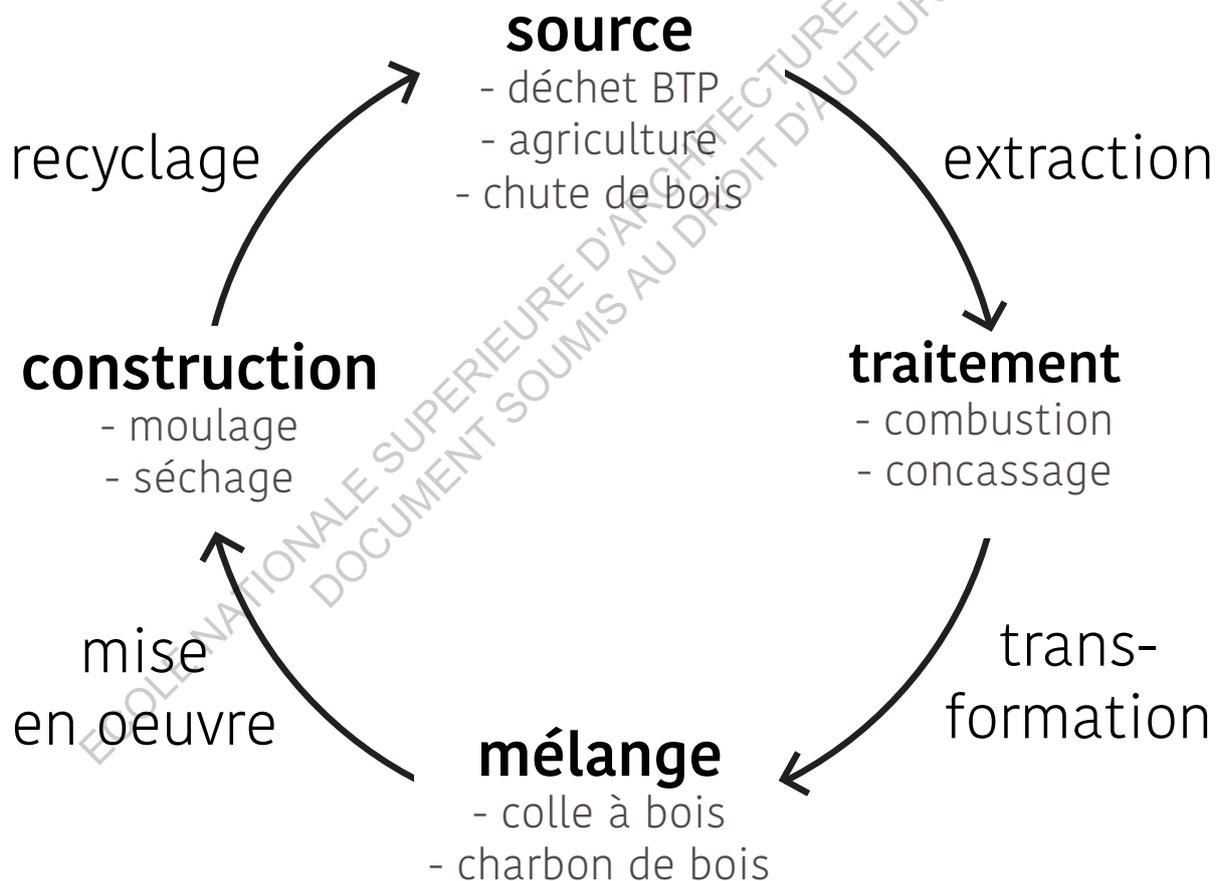
16 Assemblage : Afin de m'assurer qu'il n'y ait pas d'imprévu j'ai assemblé la coupole dans mon jardin. Cette étape finale avant le démontage et le transport a permis de terminer les détails et ajustements.



i J'ai également dû réaliser un support et une passerelle pour monter la coupole et l'assembler au centre.

6) Cycle de la matière

Le cycle du carbone fait partie des cycles naturels comme celui de l'eau. Toutefois avec l'extraction des énergies fossiles, le dioxyde de carbone issu de leurs combustions se retrouve de façon anormalement élevé dans l'atmosphère. Pour en réduire la quantité seuls les organismes vivants comme les plantes peuvent le capturer et le stocker. En cela, le bois et ces dérivées comme le charbon en représentent des stocks et leurs utilisations dans la construction une manière de le capter.

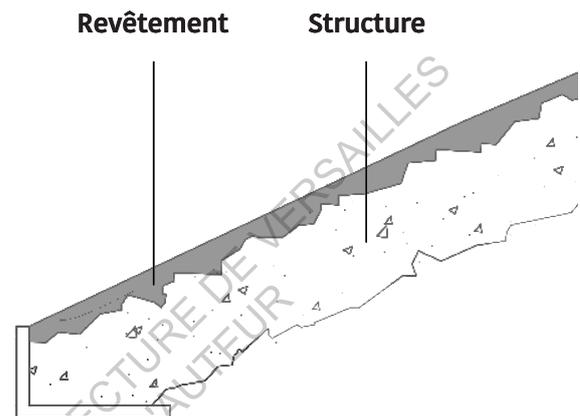


Bien que le matériau nécessite une énergie importante pour être produite, le bénéfice induit par la légèreté du matériau permet une structure plus fine et donc plus économe en matière.

Phase 2- Revêtement

Dans le cadre de mon M2 je poursuis les recherches sur le charbon dans la construction en m'intéressant au matériau dans son utilisation en tant que revêtement, notamment en couche protectrice du matériau composite élaboré dans la phase 1. L'objectif étant de réaliser un fragment de construction uniquement réalisé à partir de charbon de bois, à la fois porteur, protecteur, et esthétique.

- 1) protocole et tests
- 2) procédé de fabrication
- 3) combinaison



1) Protocole et tests

- a- Test des types de liants
- b- Test de résistance
- d- Test d'imperméabilité

a- Test de type de liants

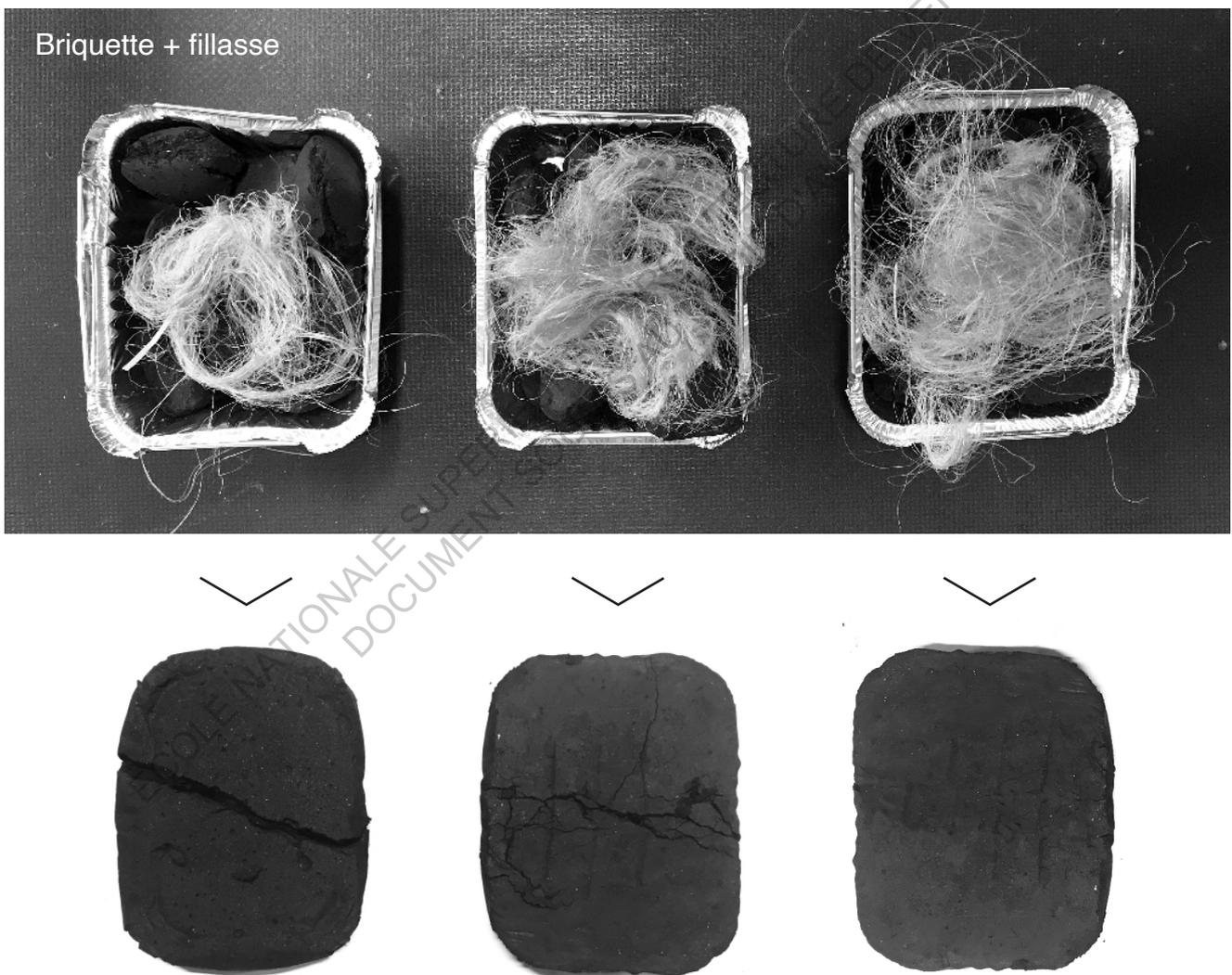
Parmi les essais, le plus concluant est celui du revêtement constitué à base de poudre de charbon de bois et d'amidon (acheté sous forme de briquette). Il donne un aspect lisse et homogène.



Poudre de charbon de bois
+ amidon

b- Test de résistance

Fibré ou non, le matériau n'offre qu'une très faible résistance mécanique, on peut donc négliger l'apport de fibre végétale dans la constitution du revêtement.



PARAFFINE



CIRE ANIMALE



AEROSOL IMPERMÉABILISANT



HUILE VÉGÉTALE (OLIVE)



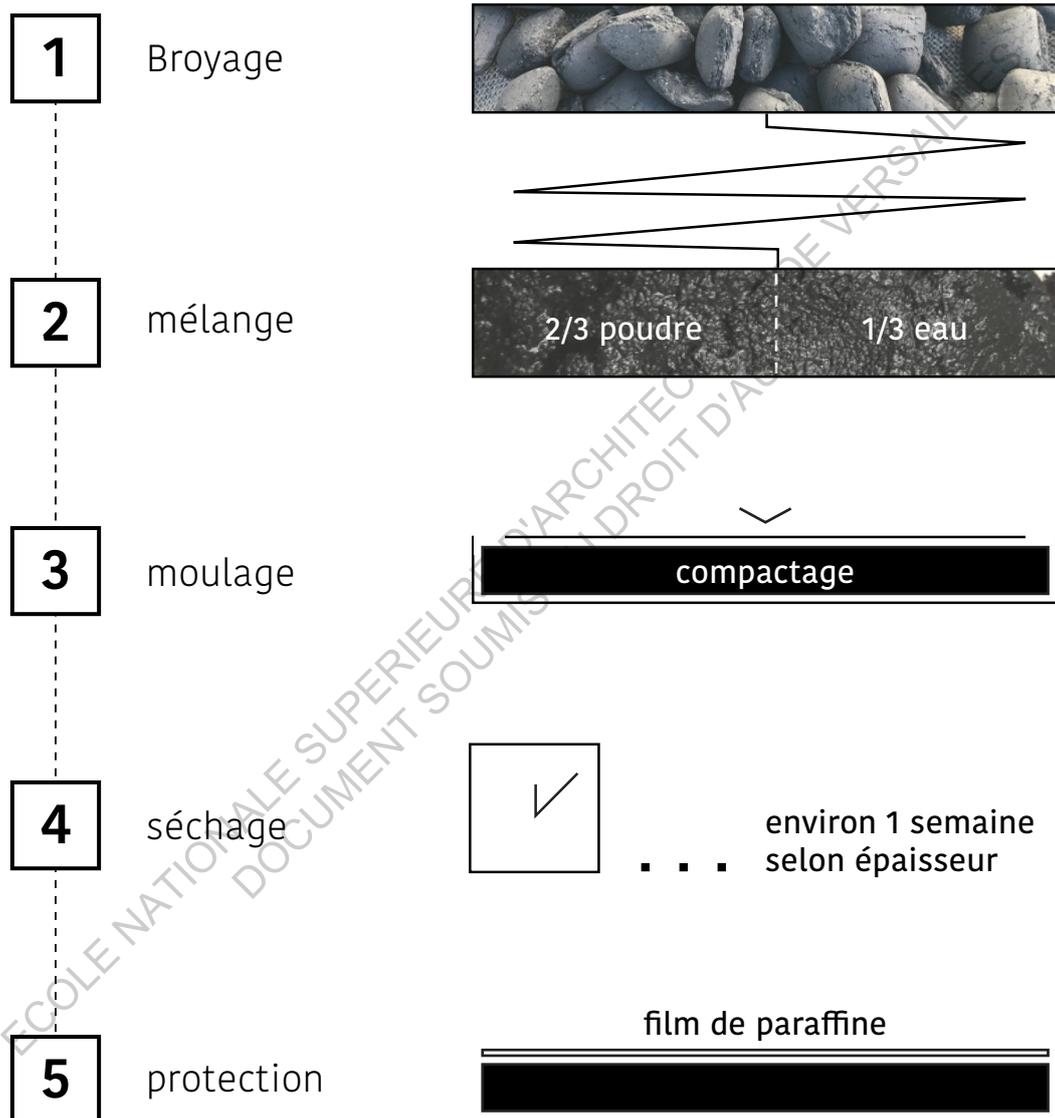
d- Test d'imperméabilité

Quand la pâte de charbon de bois et d'amidon est recouverte d'une couche hydrophobe elle forme une carapace qui protège la structure des intempéries. Ce test visait à déterminer quel était le meilleur revêtement.

Parmi la paraffine, la cire à chaussure, l'aérosol imperméabilisant et l'huile, seule la paraffine est restée imperméable à l'eau.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE VERSAILLES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

3) Procédé de fabrication



3) Combinaison



REVÊTEMENT + STRUCTURE



PARAFFINE FONDUE



L'assemblage des deux matériaux forme cette paroi à deux surfaces, l'une lisse et l'autre granuleuse où chacune réagit différemment à la lumière. Dans l'élaboration d'un matériau réalisé à base de charbon, cet échantillon représente ainsi les deux mises en œuvre complémentaires qui peuvent permettre au charbon un rôle à la fois structurel et protecteur.

Recherche plastique

Sémiologie

Apparu dans la fournaise du feu, le charbon est le cadavre calciné et sombre du bois. Synonyme de désolément, il est le vestige d'une vie éteinte évoquant la mort.



Artiste inconnu - *Forest fires in Buryata* - Photographie



Employé depuis les premiers instants de l'humanité dans les dessins rupestres, le charbon de bois témoigne de la vie passée dans ses espaces sombres où furent dessinées à la lumière du feu ces scènes de chasse. Laissant planer une atmosphère énigmatique, comme hors du temps, ces dessins, figés par un morceau de charbon de bois sont les rares traces artistiques laissées par ses premiers humains.

Artiste inconnu - Art rupestre - Grotte de Niaux

Art contemporain

Nombreux sont les artistes séduits par son aspect noir brillant; autant utilisé dans le dessin que la sculpture, sa nature friable en fait un matériau de prédilection pour manipuler le noir.



Charlotte PRINGUEY - *sans titre* - Sérigraphie

«Bruit Originare : Un craquement. Lorsque le diamant engage sa course dans la trace du microsillon, les premiers frottements émettent un son caractéristique. La pointe se fraye un chemin par déblaiement. Petit à petit, la cavité sonore s'entrouvre et nous laisse découvrir une succession de sons qui par harmonie, accord, hasard ou dissonance composent un ensemble pour lequel le sentier fût méticuleusement gravé.»

Anthony LENOIR - critique d'art



«Le charbon de bois va alors permettre à Lee Bae de conjuguer, de faire converger les deux sujets qui l'animent depuis ses débuts : une réflexion sur la matière et une recherche du noir. Autrement dit, d'un côté le matériau pour lui-même, pour ses qualités plastiques et de l'autre le matériau au service d'une tonalité.»

Henri-François DEBAILLEUX - critique d'art

Lee BAE - «Black Mapping» - *Exposition Solo Show* - Paris - 2018

Le noir

Puissant, contrastant le noir, comme par opposition à la lumière donne une force égale à celle-ci dans l'œuvre. Profond ou en nuances il peut autant être le fond que la forme.



Serge BRUNIER - *Voie lactée 360°* - Photographie

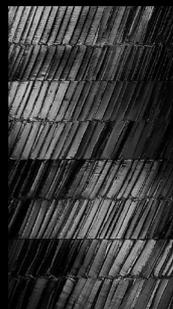
Le Vantablack est la substance la plus noire connue de l'homme et absorbe jusqu'à 99,6% de la lumière. Possédé par l'artiste Anish Kapoor qui en a acquis les droits exclusifs, cette matière représente le noir à son paroxysme et est à la mesure du bleu de Klein, une matière puissante suffisante à elle-même.

Véritable signature de l'artiste le noir de Soulages à l'opposé sublime dans la nuance par sa façon de capter la lumière. Les dialogues entre le noir et le blanc ou entre l'ombre et la lumière sont permanents dans l'œuvre du peintre. La lumière est modelée, orientée, sa circulation organisée et incarne le geste.



Anish KAPOOR - *sans titre* - Vantablack - installation

Pierre SOULAGES - Œuvres multiples du musée Soulages - Peinture



Le matériau

Permettant de jouer avec la lumière, la forme en double courbure de la coupole révèle les reflets créés par le charbon de bois. Pour contraster l'oculus donne à voir le ciel.



conclusion

Pour conclure, ce matériau présente des qualités plastiques et peut-être structurelles. Cependant, la présence de composants synthétiques dans la constitution du composite modère son intérêt en l'état dans l'architecture.

Toutefois, la possibilité de trouver d'autres techniques d'assemblage me semble envisageable et des pistes telles l'agglomération mécanique ou bien chimique par des liants naturels pertinente.

Avec le regret de ne pas avoir trouvé d'autres méthodes constructives, je laisse la porte ouverte à ces recherches dans l'optique de nouvelles idées permettant de rendre ce matériau plus vertueux et utilisable dans des applications architecturales.

Ces travaux, comprenant la réalisation de la coupole et les expérimentations antérieures ont été un travail long et fastidieux mais passionnant. Ils m'ont conduit à explorer des possibles et rencontrer des acteurs qui ont rendu concret ce projet.

Merci à eux.

Bibliographie

Sources

> Livres

FERGUSSON James, « A History of Architecture in All Countries», 3rd edition. Ed. R. Phené Spiers, F.S.A. London, Vol. I, p. 320, 1893.

> Mémoires et thèses

CUEFF Gilles, «Développement d'un modèle thermomécanique du comportement sous agressions thermiques», Thèse de l'université de Bordeaux, 2014

SPÉE Marion, «Le charbon végétal : les bienfaits de ce produit de santé naturel» *passport santé*, Février 2018

MOURAS Sylvie, «Propriétés physique de bois», Centre technique du bois et de l'Ameublement 2001

ROBINET Thomas, SIGNORET Jean, «Résistance au feu des structures bois», PFE université de Lorraine, 2015

THIT Van Dlem, «Modélisation du comportement au feu des structures en bois», Thèse de l'université de Lorraine, 2017

> Articles, revues et site

MAES Pascale, «Construction bois et sécurité incendie », *Les Essentiels du bois*, CNDB, n°4, février 2007

BORLIDZZI Andrea, «Woodfuel Survey», *FAO*, <http://www.fao.org/3/ca6442en/ca6442en.pdf>, 1983

DOUARD Frédéric, «le-charbon de bois est il un combustible satisfaisant pour le tiers monde», *Bio énergie*, , 11 juillet 2010

GILLIN Jaime, « Terunobu Fujimori », sur www.dwell.com, 14 avril 2009

BRAQUE R., «Les industries de la carbonisation du bois en France», *L'information géographique*, volume 13, n°1, 1949. pp. 28-33.

YOSHIYA, «Forestry and the Forest Industry in Japan», UBC Press, 2002

«Qu'appelle-t-on le charbon de bois ?», www.connaissancedesenergies.org, juin 2018

Partenaires

Merci aux partenaires contributeurs :



HOMÉKIP
— MENUISERIES —

énsa-v
*école nationale supérieure
d'architecture de versailles*

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE VERSAILLES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR