

# CONSTRUIRE LE COURBE:

## CONSTRUCTION DE LA COUVERTURE PEHD

Catherine JOUY  
Théophile PERÙ  
Jérôme PAPAPHOTIOU  
Louis-Thomas COUPIER  
Samuel ROUSSELOT  
Raphaël CHALANDRE

Introduction.....	2
<b>I) Structure.....</b>	<b>3</b>
Dimension des panneaux .....	3
Rigidité des panneaux .....	3
Appuis des cassettes sur la structure et fixation .....	3
Surface couverte .....	3
<b>II) Réalisation .....</b>	<b>4</b>
Génération des cassettes .....	4
<b>III) Problématiques de réalisation .....</b>	<b>5</b>
Nomenclature.....	5
Etapas du montage.....	6
<b>IV) Produit final réalisé.....</b>	<b>7</b>
Conclusion .....	8

## Introduction

Durant ce workshop, nous avons travaillé sur la partie couverture du gridshell, qui comprend la conception des cassettes PEHD ainsi qu'une réflexion sur les dispositifs d'attache de ces cassettes. Nous devons proposer des solutions techniques permettant de couvrir 20% de la couverture du gridshell.

L'objectif de ce travail était de décomposer la surface en double courbure du pavillon afin de créer des quadrangles plans en couverture. Il avait été initialement proposé de créer des cassettes en PEHD sous forme de boîte, pliées à partir de patrons. Ces cassettes doivent se fixer sur les vis des noeuds structurels du gridshell, ce qui limite la hauteur libre pour le dispositif d'accroche. Il avait également été proposé par l'équipe de conception, de fixer les cassettes sur des pièces en medium, elles-mêmes fixées dans la vis du noeud structurel. Cependant, nous nous sommes vite rendu compte que les dispositifs proposés ne fonctionnaient pas de manière optimale.

Tout d'abord, le fait d'utiliser une pièce de medium, réduisait la hauteur disponible sur la vis, ce qui rendait son installation plus complexe. De plus, les dispositifs d'accroches des cassettes sur cette plaque en medium semblaient difficiles à réaliser puisque la grille bois limitait l'accès aux différentes pièces. Enfin, la disposition et la manière d'assembler les cassettes créaient de grands espaces de vide entre les cassettes en PEHD. Ceci réduisait considérablement le rôle de la couverture puisque l'étanchéité n'était plus réalisée.

Nous avons donc cherché différentes solutions techniques et dispositifs pour résoudre ces problèmes. Par ailleurs, ces solutions devaient être suffisamment souples pour accepter des variations et de la souplesse dans le système d'accroche. L'ensemble de la structure étant modélisé initialement en 3D sur Rhino, il était très probable qu'il y ait des décalages majeurs au cours du montage. Notre dispositif de couverture devait donc prendre en compte ces décalages éventuels en créant des dispositifs suffisamment souples pour y répondre et s'y adapter.

Les surfaces nécessaires à la fabrication des cassettes sont récupérées depuis le modèle 3D Rhino puis exporté grâce à un programme. Les plaques nécessitent ensuite un nouveau travail de dessin pour être adaptées au langage de la fraiseuse numérique, chargée de les découper.

## I) Structure

Il fallait réaliser dans un matériau peu rigide des panneaux et les fixer sur la structure.

Les problématiques de conception portaient donc sur les points suivants :

### Dimension des panneaux

Nous n'avions à disposition que des plaques de 1mx2m et les mailles de la structure devaient atteindre plus de 90 cm de côté. Pour des questions de rigidité, il a été décidé de fabriquer 4 panneaux par maille.

Chaque panneau est unique et sa forme est déterminée en fonction de la géométrie prévue de l'ouvrage final.

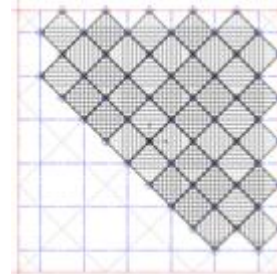


Figure 1 - position de couverture sur la grille

### Rigidité des panneaux

Pour rigidifier les panneaux, il fallait donner de l'épaisseur aux panneaux et utiliser le principe de plis. Pour faciliter la pose des panneaux et l'esthétisme, un concept de panneaux posés sur des rigoles a été préféré à l'ajout de languettes aux panneaux pour les transformer en boîtes.

### Appuis des cassettes sur la structure et fixation

Plusieurs solutions techniques pour fixer les panneaux sur la structure en bois, tout en permettant une adaptation de la couverture au changement de géométrie de la structure, ont été étudiées. Le système utilisant des rigoles a été retenu et permet cette flexibilité en angle et en longueur.

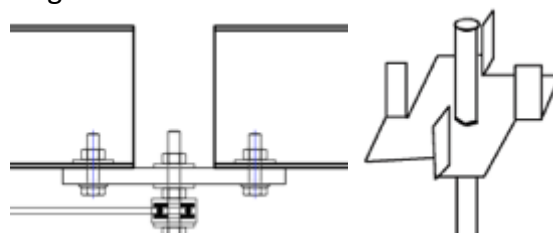


Figure 2- exemples de solution d'appui

### Surface couverte

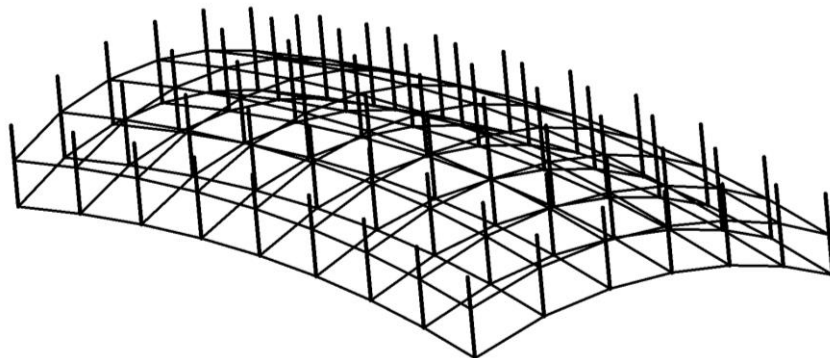
La forme a été déterminée pour couvrir une partie des poutres de béton et par réflexion sur l'esthétisme global. Les arrêtes intérieures suivent le maillage issu de la triangulation. Les arrêtes externes suivent en partie le maillage les poutres en bois.

## II) Réalisation

### Génération des cassettes

La génération des patrons à découper des cassettes s'est faite en plusieurs étapes :

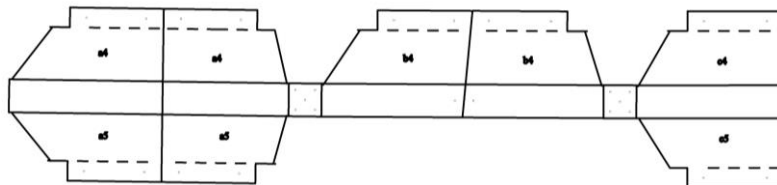
- La première a consisté à récupérer la géométrie donnée par le groupe forme et structures pour en déduire la position et la forme précise de nos cassettes par une méthode d'offset des noeuds afin d'obtenir deux maillages : l'un donné par forme et structure correspondant au bas des rigoles et l'autre obtenu par notre groupe correspondant aux faces de la couverture.
- Il s'agissait dans un premier temps d'appliquer un offset de direction constante sur l'ensemble de la structure puis d'affiner grâce aux coefficients de de Fourier d'une fonction définie sous Grasshopper, afin d'obtenir un effet hérisson pour les normales aux noeuds. Nous avons alors deux maillages réguliers plans partant de ces normales.
- Puis nous avons fait un décalage des faces de chaque maillage (voir figure ci-après). Les maillages haut et bas étaient jointifs et nous avons simplement décalé les quadrilatères vers l'intérieur avec une valeur plus grande pour le décalage du haut pour pouvoir créer les rigoles inclinées (plus de flexibilité dans la mise en oeuvre que des rigoles à parois verticales). Ces opérations produisent des quadrilatères plans partout (le coplanarité des arrêtes haute et basse est conservée après décalages) sauf pour la base au droit des noeuds.



- Ensuite nous avons joint les éléments de surface pour optimiser la découpe et le montage : des bandes verticales et des bandes horizontales pour les rigoles et des quadrilatères simples pour les faces courantes et munies de languettes en rive. Nous avons ensuite lancé un script pour déplier les éléments géométriques précédemment créés et générer les panneaux qui étaient ensuite lancés à la découpe.



- Avant d'avoir les panneaux finaux, il a fallu faire beaucoup de dessin à la main: la nécessité de modifier le détail proposé à l'origine rendait impossible l'utilisation de certaines propriétés du grasshopper comme la génération de la position des trous ou la création de languettes, qui ont donc tous été dessinés à la main sur Rhino. Voir exemple de demi-rigole ci-après.



- La dernière étape consistait à lancer la découpe.

La possibilité de réaliser proprement des cassettes repose directement sur l'adéquation entre la structure sous Rhino/Grasshopper et la structure construite. Notre expérience nous a montré que ce n'est pas vraiment une hypothèse acceptable et qu'il faut donc faire différemment, par exemple en faisant un relevé précis puis en construisant la 3D des cassettes à partir de ce relevé.

### III) Problématiques de réalisation

#### Nomenclature

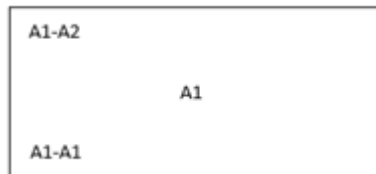
Chaque panneau est unique et aucun n'est a priori rectangulaire. Il faut donc trouver une nomenclature :

- qui permette de les repérer
- qui indique comment poser le panneau sans être obligé de tester toutes les possibilités
- qui définisse la normale à la plaque

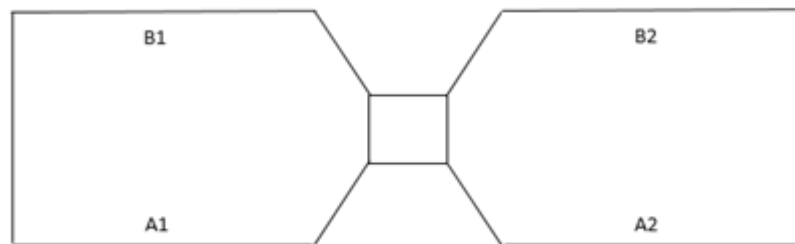
On a créé ainsi deux nomenclatures, une pour les plaques et une pour les coins de plaques. Chaque plaque a le même numéro que son coin inférieur droit (cf plan ci-dessous). L'idée qui a été retenue consiste à repérer une plaque par son numéro de plaque ainsi que

deux coins adjacents. En effet, si l'on ne note qu'un coin, ou deux coins en diagonale, on peut retourner la plaque et ainsi se tromper de normale.

On a donc noté sur chaque plaque son numéro, et à deux de ses coins la combinaison « numéro de plaque-numéro du coin » :



Pour les pièces de liaisons, on a numéroté sur chacune des rigoles quelle plaque allait venir se mettre en face :



### **Etapas du montage**

On a commencé par mettre bout à bout toutes les pièces par terre afin de vérifier que toutes avaient été générées. Puis nous avons monté sur place les nœuds sur lesquels il y avait les vis de la grille bois qui ressortaient. En parallèle, nous avons monté au sol certaines pièces entre elles (uniquement les pièces ne contenant pas un nœud, afin d'avoir moins de rivets à fixer une fois sur la grille. En réalité, cela n'a pas été si facile de monter ces pièces "pré-assemblées" (pour des raisons de trop grande rigidité) et nous avons dû en séparer à nouveau certaines pour pouvoir les monter.

## **IV) Produit final réalisé**

L'un des objectifs de la construction de ce gridshell était de le couvrir par des quadrangles plans. Dans la pratique, il y avait près de 20 cm de différence entre la hauteur prévue et la hauteur réelle de la structure. Il aurait donc fallu pour s'adapter à une telle déformation par rapport à la théorie des panneaux extrêmement ajustables. Ces difficultés ont donc été compensées par le fait que le matériau utilisé pour la couverture avait la qualité d'être relativement souple.

Cependant, le fait de contraindre le plastique de la couverture a induit des contraintes plus importantes dans celle-ci. Les rivets utilisés n'étant pas particulièrement solides, il a parfois été difficile de les fixer. Par ailleurs, la durabilité de la couverture en a pâti puisque certains rivets ont sauté quelques jours après le montage de la structure.

Notre couverture manquait donc de jeu par rapport aux différences observées entre la structure théorique et la structure concrète. La marge de manoeuvre de la couverture étant essentiellement reprise par les languettes des pièces de liaisons, il aurait peut-être fallu concevoir des languettes plus hautes (ce qui aurait probablement encore été au détriment de l'aspect esthétique de la couverture).

## Conclusion

Le premier objectif de notre système de couverture était de faciliter le montage de la couverture directement sur la structure. Il est bien sûr difficile de comparer avec ce qu'aurait été le montage si nous avions opté pour le système originel mais le montage de notre structure a tout de même été relativement difficile (avec les contraintes imposées au plastiques, les rivets ne se montaient pas facilement).

Cependant, l'augmentation de la hauteur de vis disponible aux noeuds de la grille bois nous a été particulièrement utile puisque les pièces de liaisons se positionnant aux noeuds de la grille bois furent les premières à être montées : pendant le montage, elles ont donc repris à elles seules les contraintes imposées par les pièces en cours de montage.

Le second objectif important était d'améliorer l'étanchéité de la couverture. De ce point de vue, sans prétendre que la couverture était totalement étanche, nous avons évité les trous entre les différentes cassettes grâce à notre système de rigole de liaisons. En ce sens, le système a donné les résultats attendus.

Enfin, il a manqué une certaine souplesse à notre couverture au vu des différences importantes entre la grille bois théorique et la grille bois pratique. Nous n'avions cependant pas prévu qu'il y aurait un tel écart à reprendre.