

Golf Club House

Shigeru Ban



Ferreira	Nicolas
Lombardo	Domenico
Pascalis	Jean-Yves
Rougeron	François
Sauthier	Sarah

Le bâtiment du Golf Club House a été construit en 2008 par l'architecte Shigeru Ban, aidé par le cabinet d'ingénieur SJB Kemper Fitze, assisté du maître d'ouvrage Haesley Nine Bridges Golf Club.

La construction se situe à Yeosu, en Corée du Sud, non loin de la capitale, Séoul.

Ce bâtiment est réalisé avec une grille de poutres se déformant pour former les poteaux qui tiennent le bâtiment.

Il y a donc une continuité entre la structure horizontale et la structure verticale, ce qui entraîne une grande complexité dans la conception et la réalisation de celle-ci.

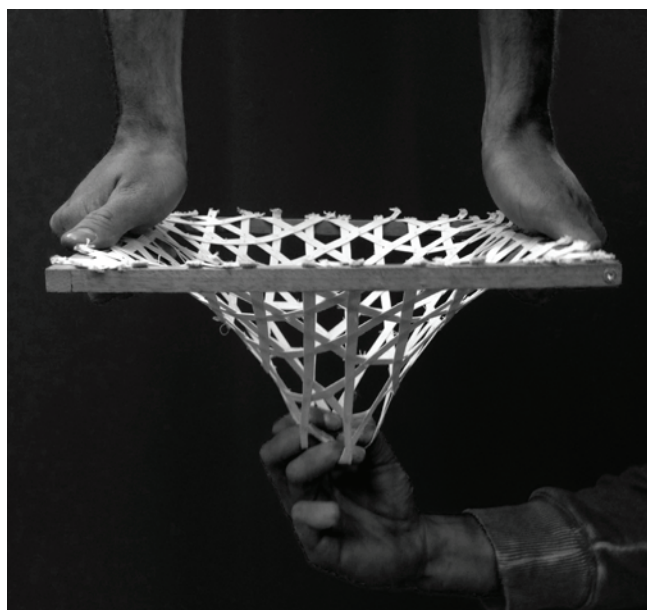
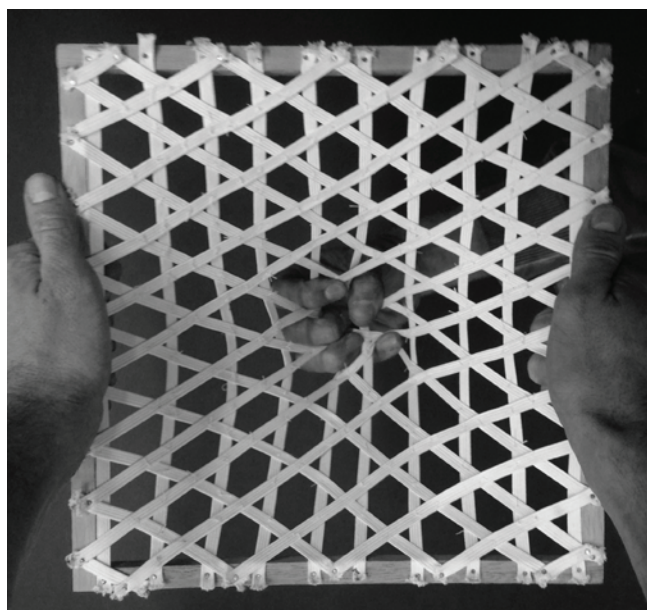
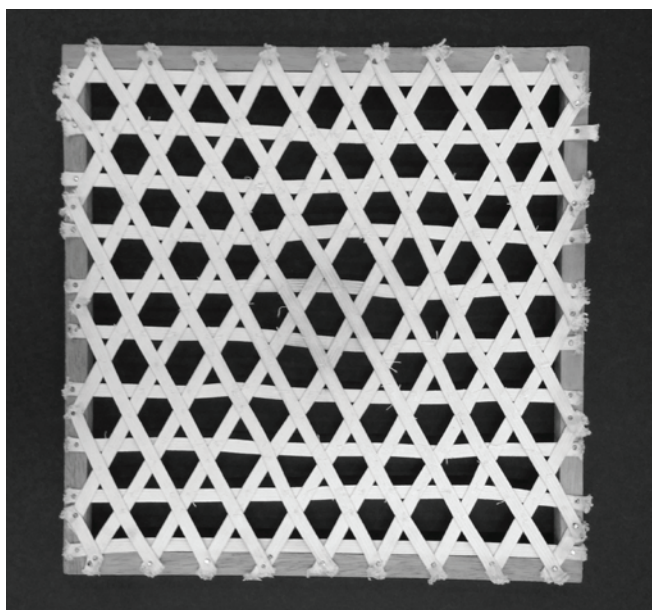


La couverture du bâtiment est simplement posée sur la grille de poutres composant l'ossature. La façade quant à elle vient s'accrocher sur les côtés, laissant ainsi une partie extérieure en porte-à-faux.

Grâce à la conception très élancée, la hauteur sous plafond permet de pouvoir y placer trois étages ayant chacun une perception différente de la structure ainsi qu'un rapport de plus en plus intime. La transparence de la façade ainsi que la luminosité apportée par la couverture du toit, allié à la légèreté de la structure donne une forte sensation d'extériorité.

Cet édifice est conçu à partir d'une grille de base qui est ensuite projetée sur la géométrie dessinée par l'architecte. Pour créer cette grille et la volumétrie initiale de chaque module, Shigeru Ban s'est inspiré de l'image d'un chapeau de paille.

Lors de la projection de la grille sur la géométrie, elle se déforme légèrement au niveau des poteaux, où s'opère un resserrement de façon à réunir 12 poutres en un poteau. La projection induit aussi une déformation des poutres avec une double courbure, ce qui complique énormément la structure et sa réalisation. Le bâtiment a donc été conçu sur une base modulaire par poteau, avec une forme « d'arbre ».



Photos maquette conceptuelle

Pour la réalisation du bâtiment, la structure a été découpée différemment.

En effet, les poteaux ont été montés au sol, jusqu'à une certaine hauteur, puis une coque, formée par la grille de poutres préalablement assemblée a été montée sur les poteaux.

Cette coque prend appui sur 4 poteaux, ce qui simplifie le montage, au niveau statique général du bâtiment.

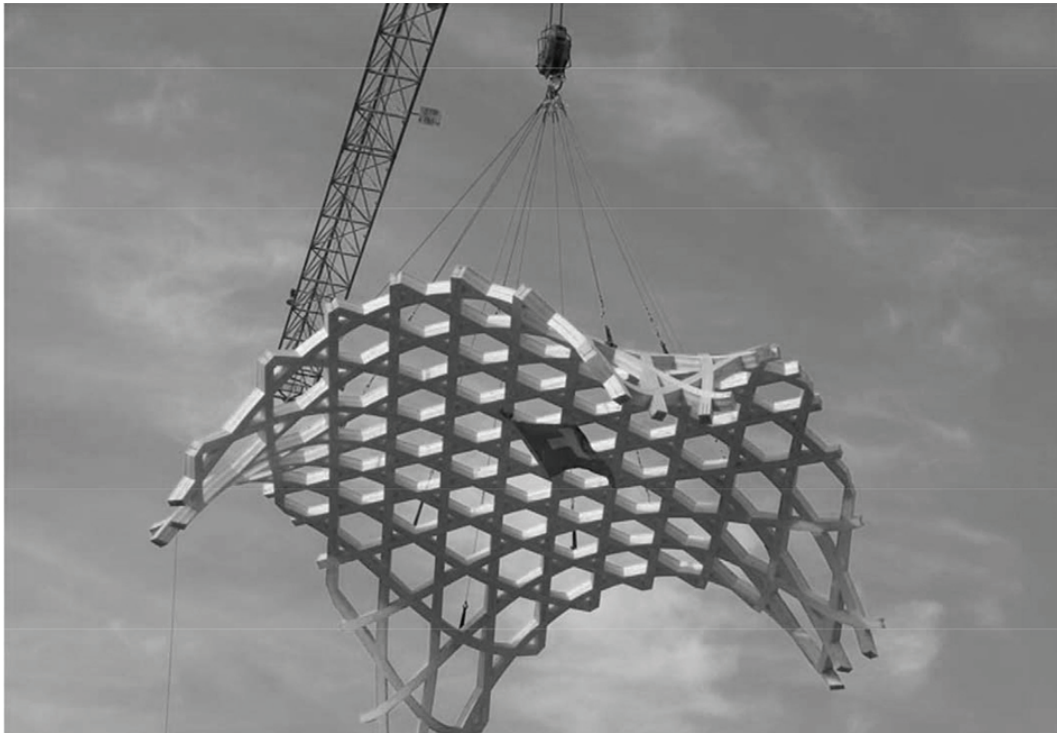


Photo du montage du bâtiment

Les poutres de ce bâtiment viennent se fixer ensemble grâce à un système de mi-bois, pour former un tressage résistant.

Le tressage est fait par trois poutres d'orientations différentes. Chacune de ces poutres est composée de deux éléments, exception faite de celle du centre, sur laquelle viennent se refermer les deux autres poutres.

Chaque poutre à un rôle différent dans le tressage:

Les poutres rouges (dans le diagramme suivant), centrales, servent de lien entre les deux autres orientations.

Les poutres vertes viennent se refermer autour des poutres rouges, assurant un premier tressage.

Les poutres bleues, elles, rigidifient le tressage total en venant autour des deux premières. La troisième direction dans le plan empêche ainsi la surface de se déformer, rendant la structure stable.

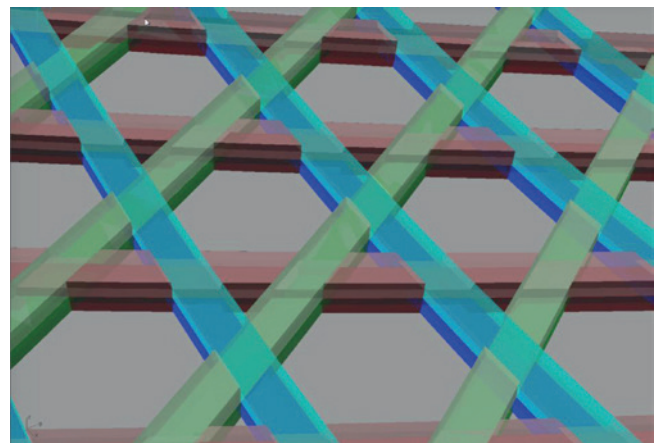
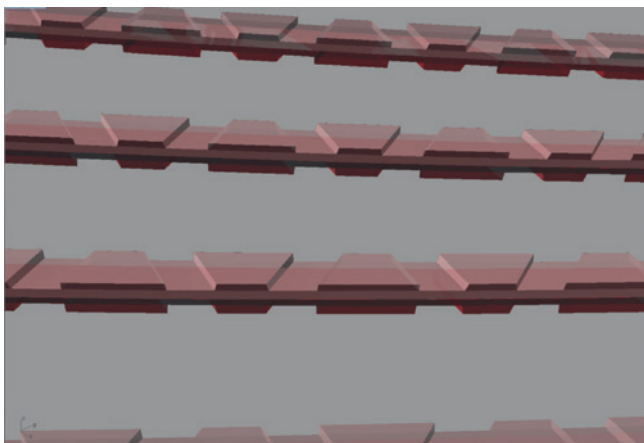
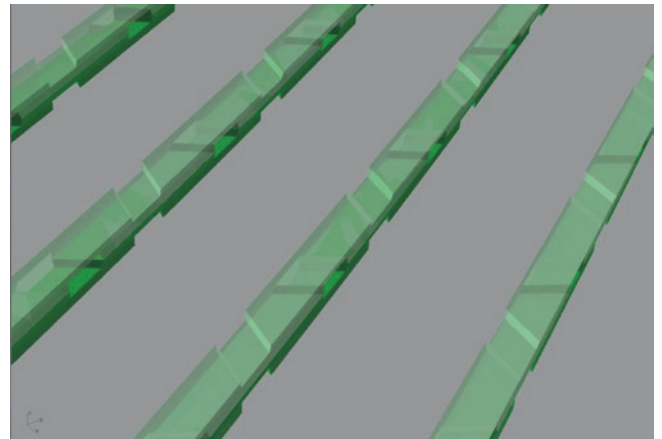
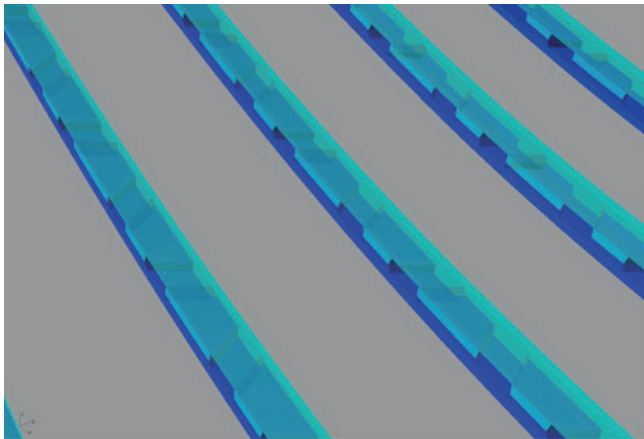


Diagramme de fixation des poutres pour le tressage

Cependant la grille a aussi une volumétrie tridimensionnelle spécifique, due aux doubles courbures des poutres. Le tressage acquière ainsi une rigidité supplémentaire qui empêche les déformations intempestives dues aux charges de poids propre.

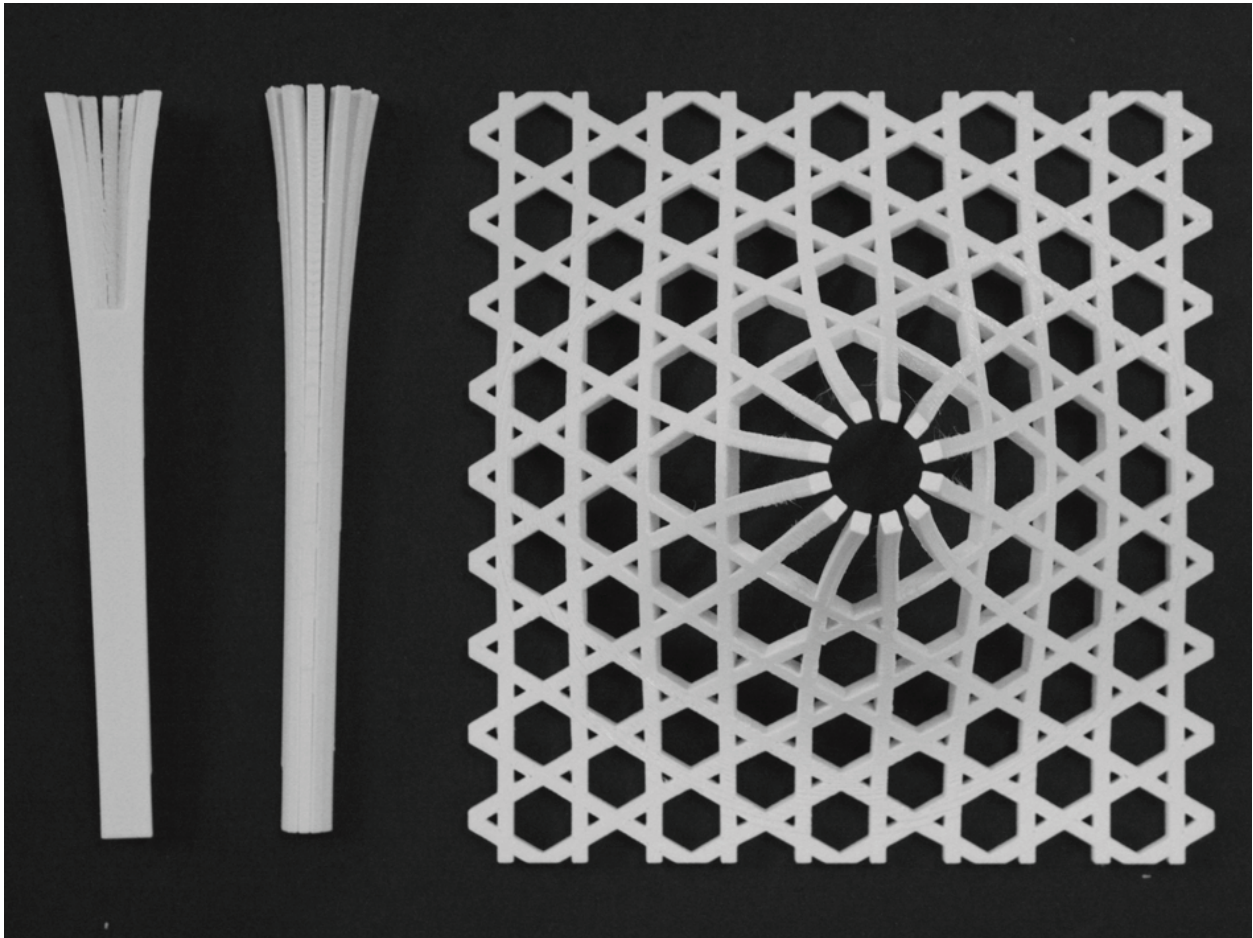
Ce mode de réalisation est contraire à la conception de l'architecte, mais a plusieurs raisons structurelles pour remplacer cette dernière.

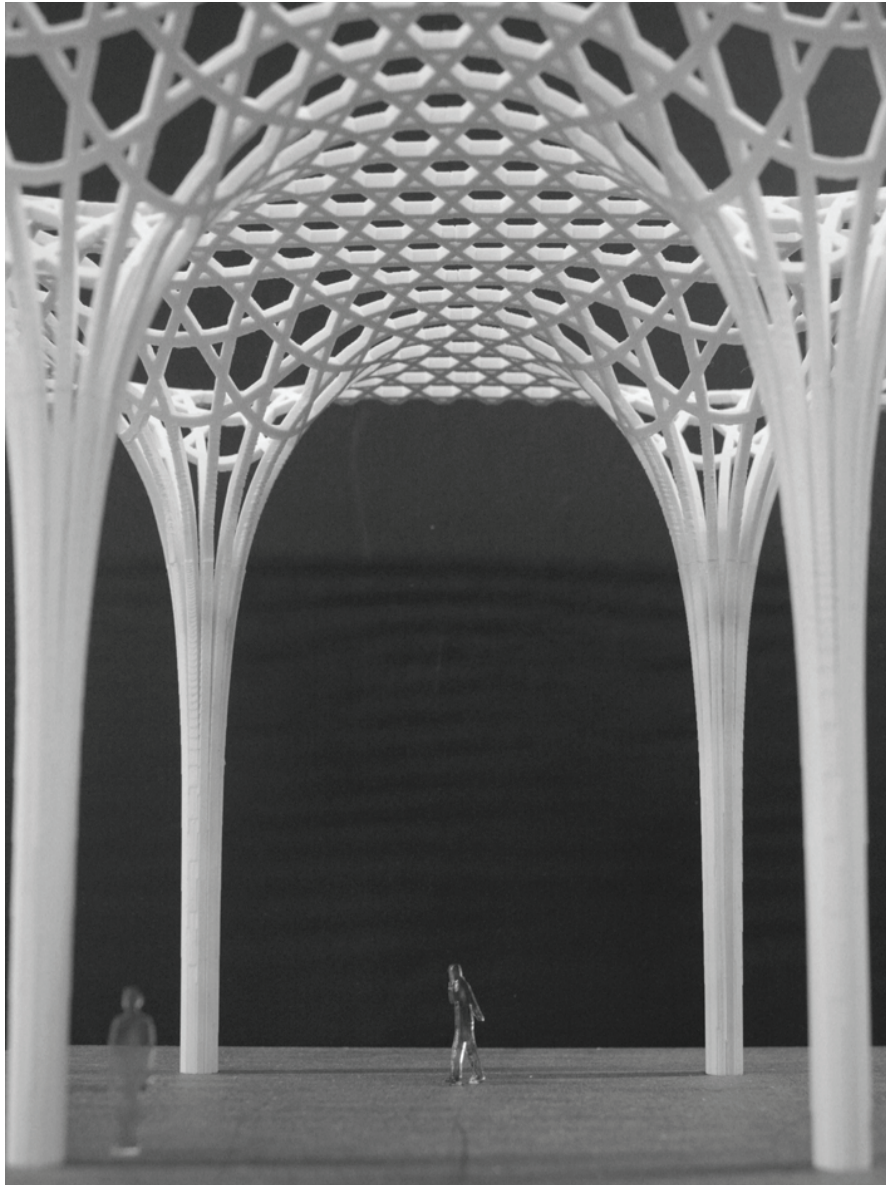
La réflexion constructive donne une approche différente de la réalisation. En effet, lors de la construction, le montage des poteaux sur lesquels vient se poser le tressage donne des éléments autoportants.

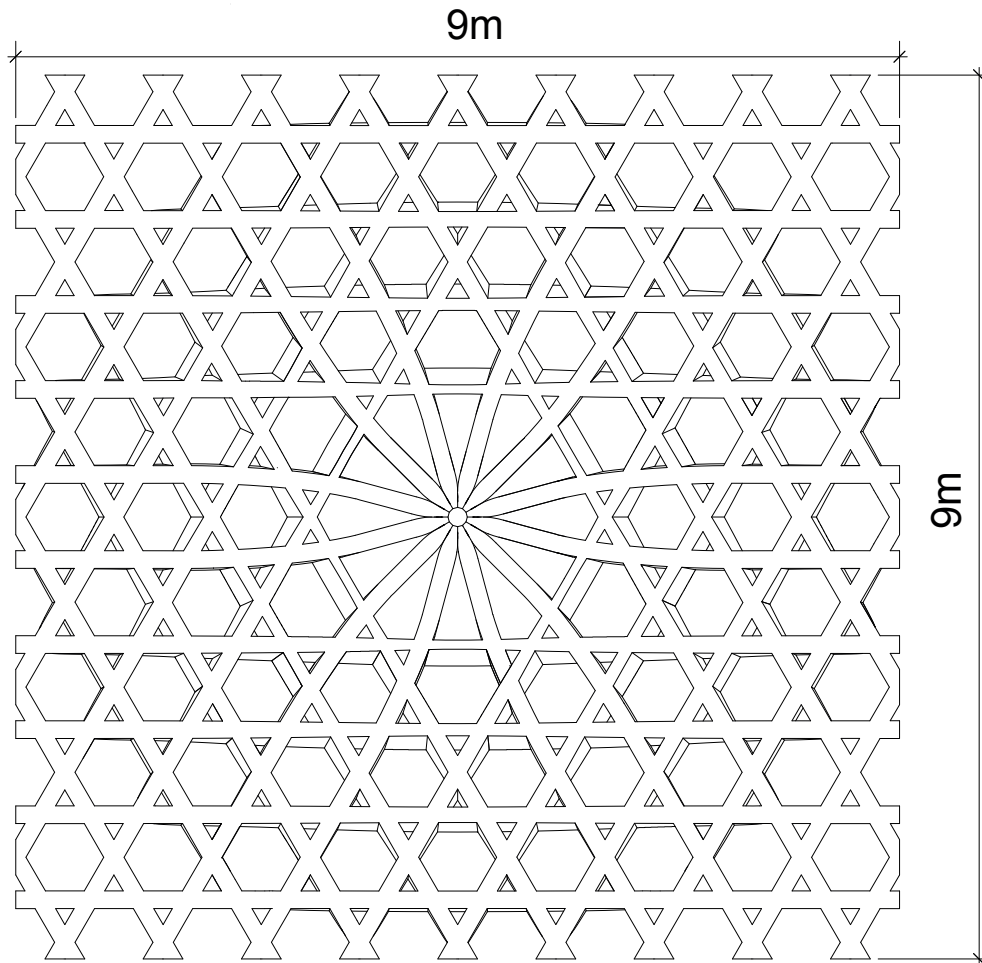
La jointure de chaque élément de construction se fait alors à un endroit moins critique au niveau structurel, car il y a moins d'efforts tranchants au niveau des poteaux. Les modules tels qu'ils étaient pensés ont une jointure au sommet, ce qui pose un problème de fixation, à cause de la rupture de la continuité du bois. La jointure ne supporterait pas les charges asymétriques.

Notre maquette a pu être construite selon la conception architecturale car nous avons travaillé avec du plastique, qui permet un assemblage plus résistant.

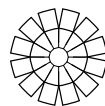
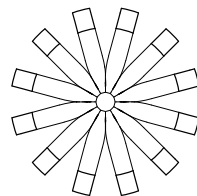
De plus, notre maquette n'a pas à reprendre de charges variables, telles que la neige ou le vent.

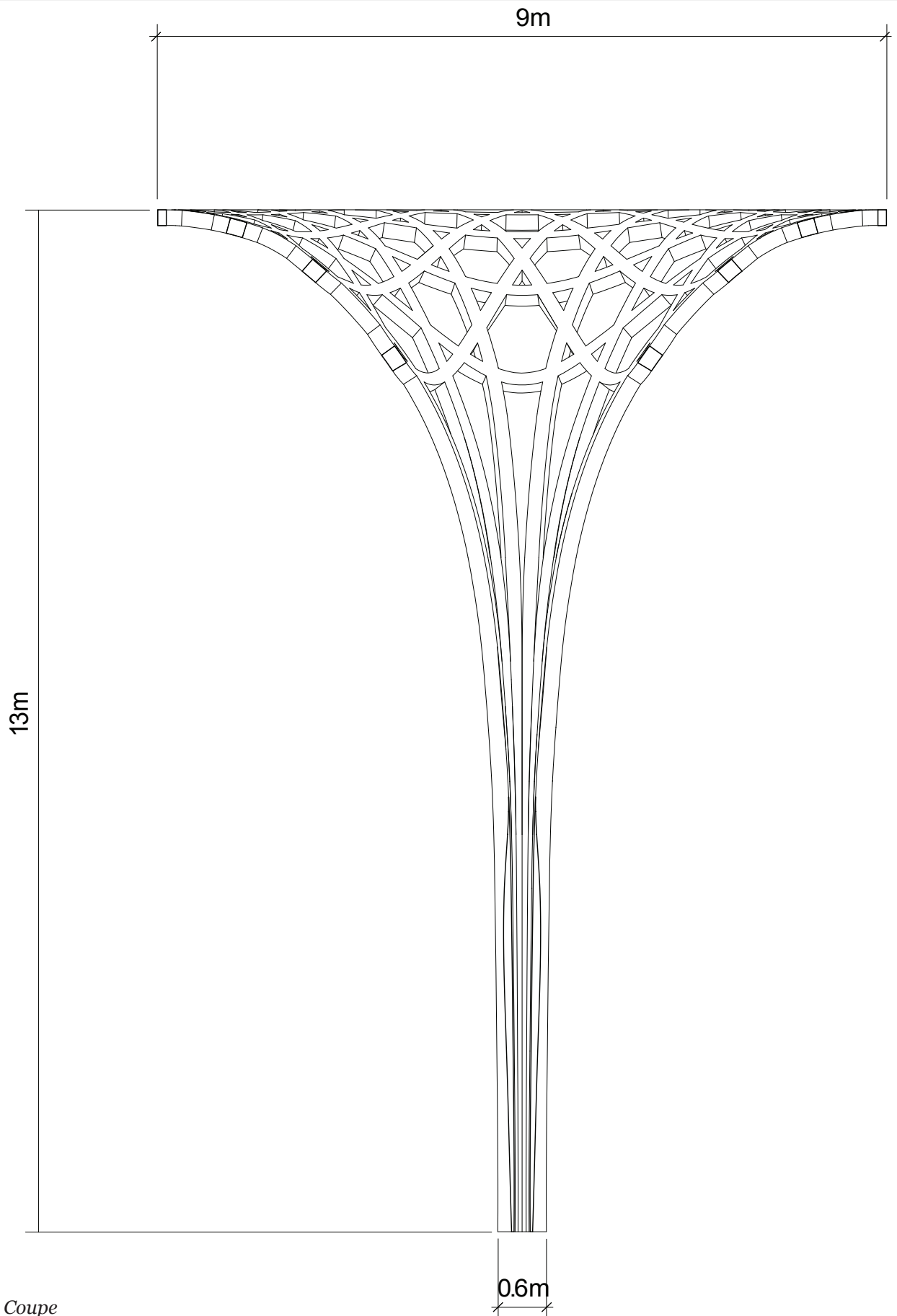






Plans

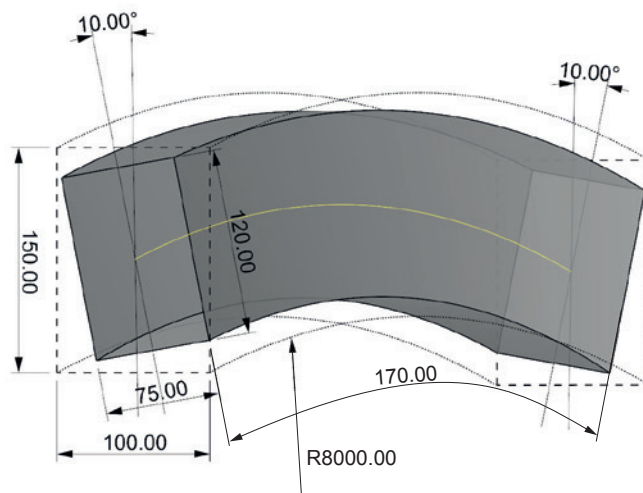




Dans la structure telle qu'elle est conçue, la géométrie introduit une double courbure dans les poutres. Celle-ci, en plus de la difficulté technique de réalisation (et donc de surcoût) entraîne un autre problème.

En effet, pour réaliser une poutre à double courbure, celle-ci doit être dans un premier temps courbée dans un sens, puis, après cela, fraisée à l'aide de machines réservées aux professionnels. Ce fraisage, pour obtenir la bonne courbure, fragilise la poutre et réduit sa résistance car le procédé implique de couper les fibres du bois. Ainsi, la section utile de la poutre est d'autant réduite que les courbures sont importantes.

Dans notre processus d'étude, nous avons, nous aussi, construit une poutre à double courbure.

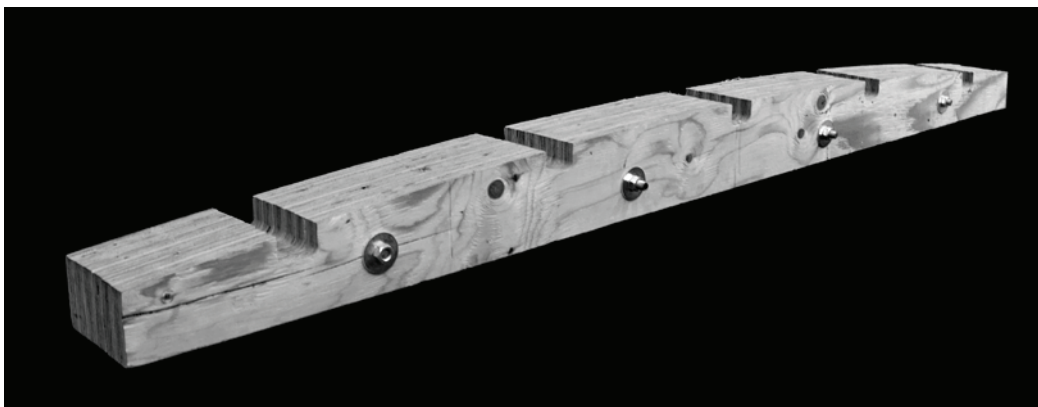


Dimensions et forme pour la fabrication de la poutre

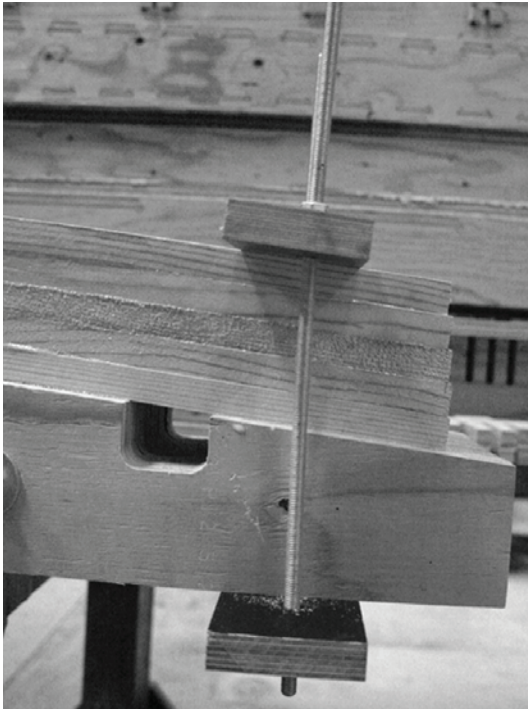
Plusieurs étapes ont été nécessaires pour la fabrication de cette poutre.

La première étape a été l'assemblage de la poutre originale en lamellé-collé.

Pour cela, nous avons dans un premier temps construit un socle. Celui-ci sert par la suite à donner une première courbure à la poutre.



Socle de la poutre



Une fois ce socle réalisé, nous avons pu coller les planches de bois, chacune d'une épaisseur de 18 mm. Cette épaisseur nous a été donnée par le rayon de courbure de la poutre voulue. Celui-ci est de 8 m, et l'épaisseur maximum d'une planche selon une courbure est de $\sim h = 1/400$.

Les planches sont donc collées sur le socle directement, pour leur donner la bonne forme dès le début du processus. Nous les avons serrés sur le socle grâce à un système de planches à intervalles réguliers, des deux côtés de la poutre et du socle, boulonnées ensemble pour assurer le maintien de la poutre et du socle en un tout solide. A l'image du serre-joints, ce système de plaques boulonnées permet un accrochage plus homogène.

Une fois la poutre collée avec la bonne courbure grâce au socle, la poutre a été placée dans la CNC dans laquelle elle a été découpée suivant le fichier 3D que nous avons fait auparavant.

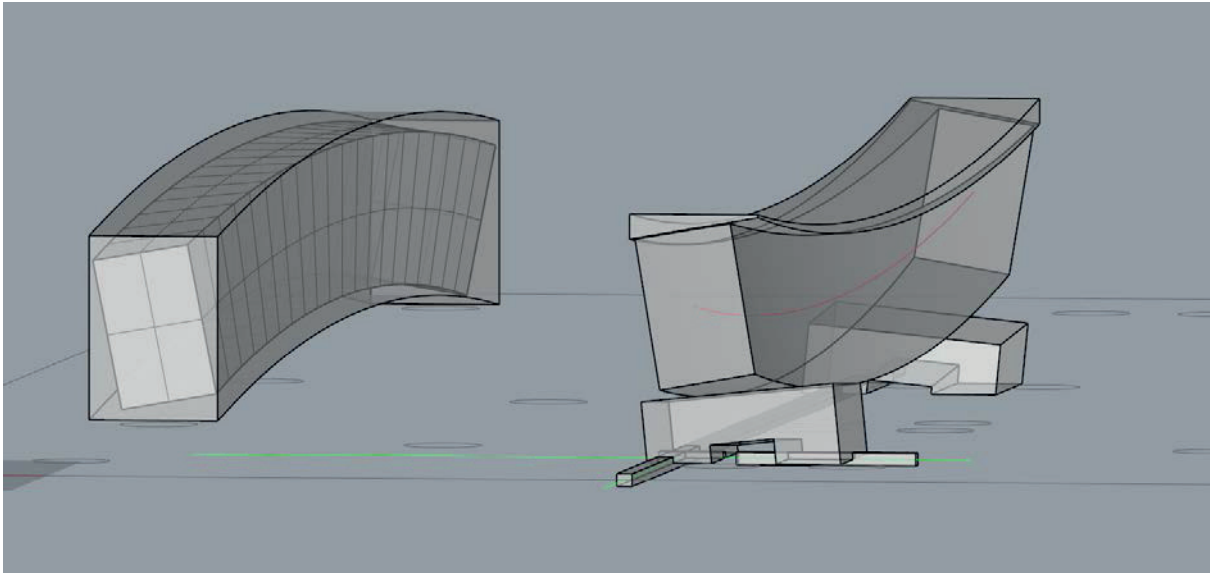
Ce fichier 3D a été fait de telle façon à ce qu'il n'y ait que des sections droites, pour que la forme cylindrique du rabot puisse l'usiner.

La première étape a été de fraiser la courbure des deux côtés, ainsi que celle de l'extrados de la poutre initialement courbée. Pour pouvoir faire le second fraisage, nous avons fait deux petites cales, disposés à chaque extrémité de la poutre pour reprendre la courbure préalablement fraisée, et ainsi permettre le retournement de la pièce plaçant ainsi l'extrados double courbé à plat sur la table de la CNC.

Ainsi, la courbure de l'intrados a pu être réalisée de façon correcte.



Poutre à double courbure réalisée



Représentation virtuelle pour la découpe 3D



Cale vissée sur la poutre, avant l'usinage de l'intrados

Suite à l'analyse de cette structure, nous avons pu nous faire un avis sur ses principales caractéristiques, les points positifs et ceux qui nécessiteraient une amélioration.

Pour essayer de remplacer au mieux le système créé par Shigeru Ban, nous avons alors réfléchi à des variantes, plus ou moins convaincantes.

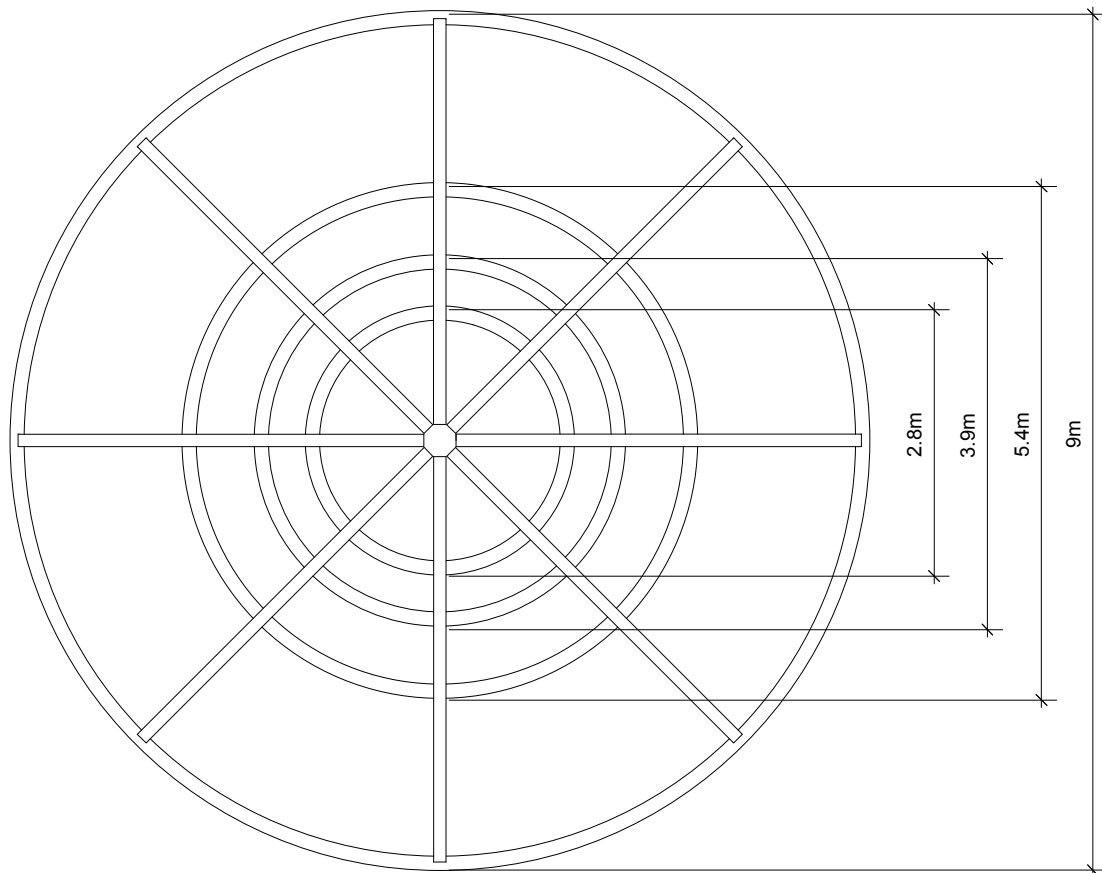
Celles-ci sont au nombre de trois, allant de la plus simple à la plus complexe.

Variante 1

La première variante constructive à laquelle nous avons pensé une fois la maquette de la proposition réelle sous les yeux était une variante ayant pour caractéristique principale une simplification maximale de tout le système constructif.

Une simplification, en effet, mais qui conserverait toutefois la géométrie globale d'origine, ce qui était très important pour la bonne compréhension de la structure.

La première étape consistait à travailler, du moins retravailler la verticalité de la structure. La verticalité se compose alors de 8 poteaux, reprenant la courbure originelle, placés tous les 45° d'un cercle. Lorsque l'on compare, en élévation, cette première partie de proposition à la structure complexe de Shigeru Ban, on constate que le caractère qui en ressort est une bonne base pour continuer à travailler sur cette variante car l'idée de simplification que nous recherchions se trouve respecté.

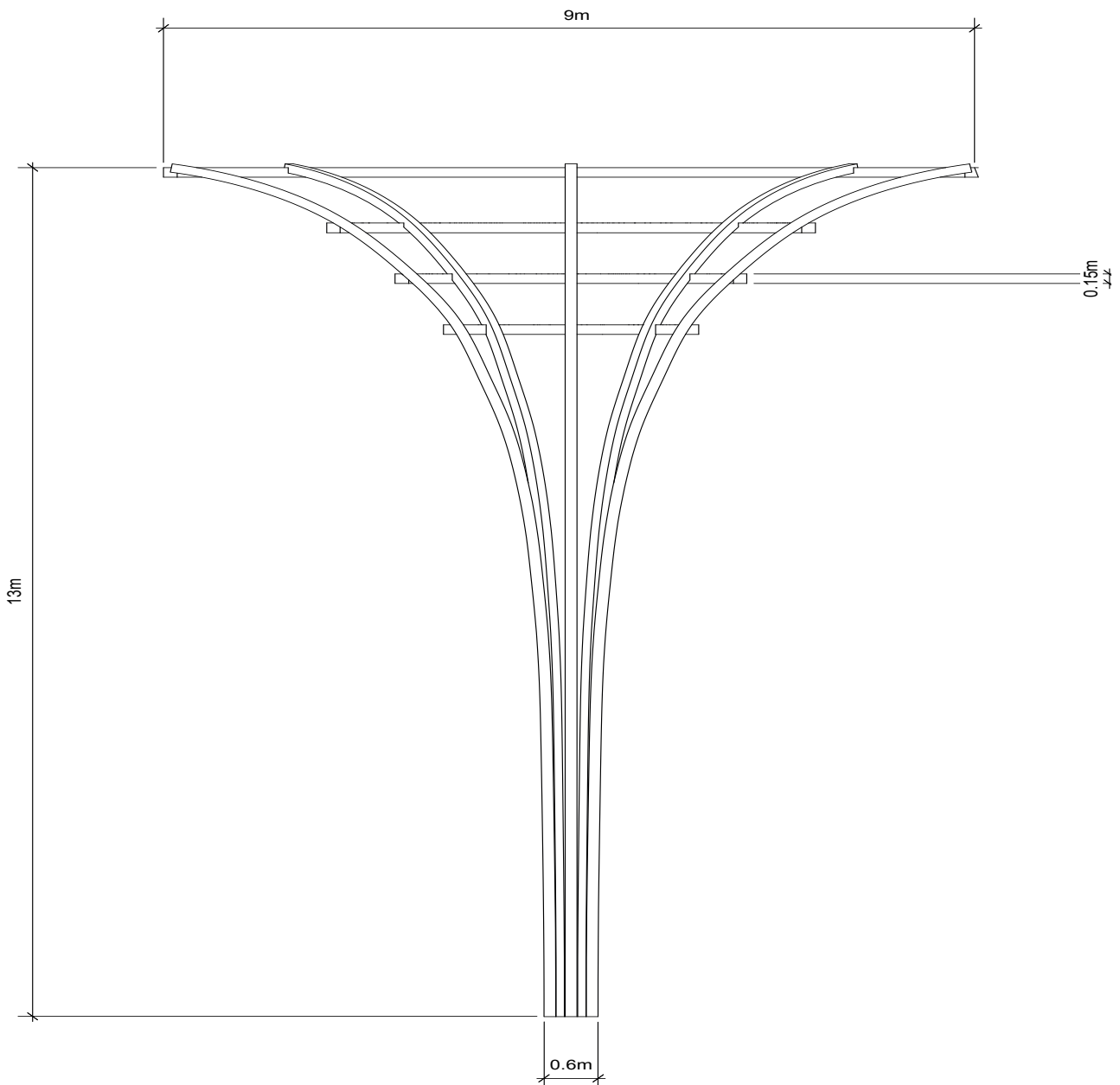


Plan

Mais c'est dans l'horizontalité de la structure que l'on trouve une grande simplification. En effet, la déformation des poutres ainsi que la grille ont disparu pour laisser place à de simples poutres en anneaux.

Les poutres en anneaux se trouvent au nombre de 4, placées de manière régulière depuis le haut de la structure, sur une distance respectant la hauteur de déformation de la grille d'origine.

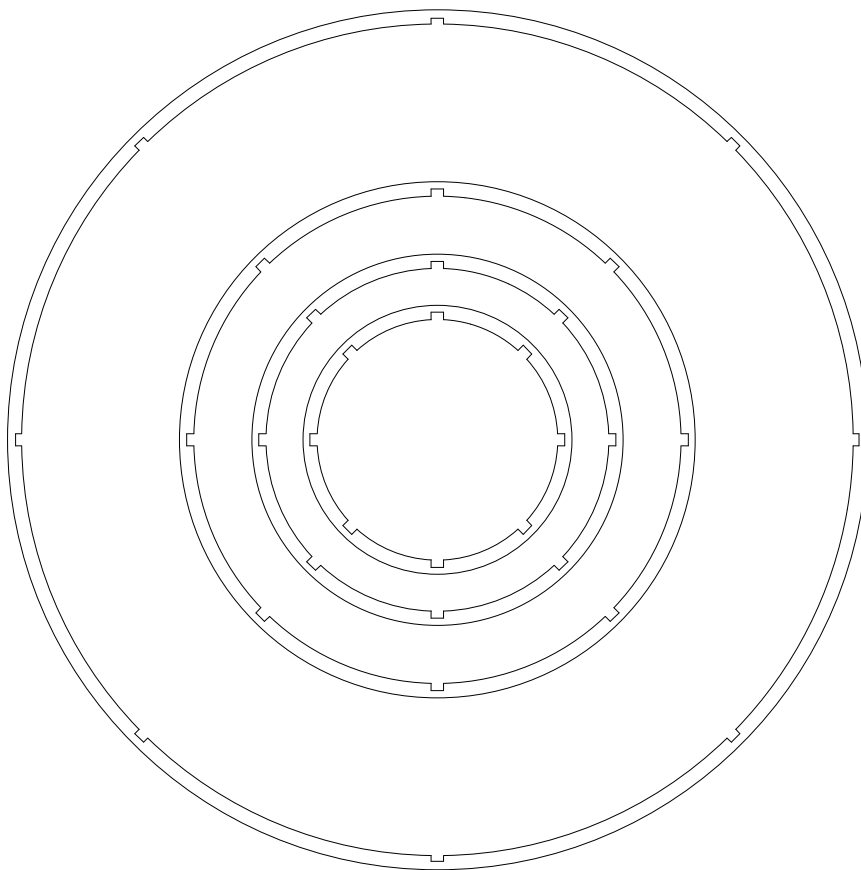
Les éléments horizontaux et verticaux étant maintenant présents, nous disposons de toutes les pièces nécessitant la construction de cette variante.



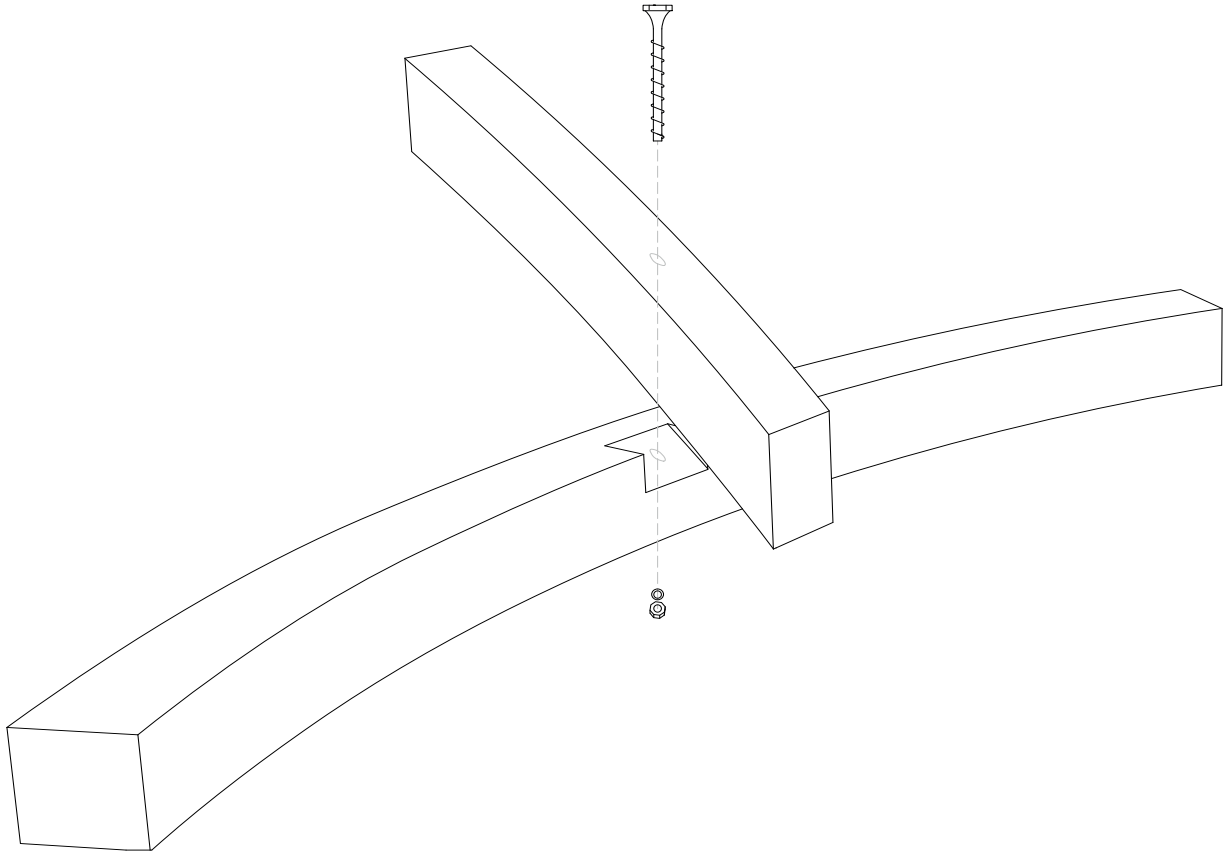
Coupe

La mise en œuvre a également un caractère très élémentaire. La volonté de proposer une variante simple nous pousse à utiliser un assemblage facile à mettre en place.

Pour ce faire, les anneaux horizontaux sont coupés à mi-bois à l'endroit de la jonction avec les parties horizontales de façon à générer une première accroche. L'assemblage par vis nécessite très peu de moyens et s'inscrit de façon efficace dans le système simple ressortant de cette variante.



Plan des anneaux horirontaux



Détail

La variante que nous proposons offre des avantages comme nous l'avons expliqué précédemment au niveau structurel. Elle offre également des avantages financiers, puisqu'une structure de ce type demande extrêmement moins de moyens que la structure réelle.

Bien que ces avantages soient séduisants et poussent à prendre cette variante au sérieux pour une réalisation réelle, nous avons constaté des désavantages par rapport à la structure originelle. A commencer par le manque esthétique de notre variante. Bien que le caractère simplifié soit respecté, le design que l'on retrouve dans l'œuvre de Shigeru Ban est entièrement perdu. De plus, la stabilité que nous offrons n'est pas optimale et ne permettraient pas de travailler sur des dimensions similaires à la structure réelle.

Ces désavantages nous pousseront à réfléchir à une nouvelle variante.

Variante 2

La seconde variante à été développée en maquette principalement. Celle-ci se basait sur le dessin de la grille projetée sur une maquette ayant la géométrie des modules de la structure du Golf Club House.

Le principe directeur pour cette recherche a été de suivre au maximum les tracés de la grille originale, mais de garder toujours des poutres à courbure simple.

Cette recherche nous a finalement donné un résultat avec deux parties très différentes.

Le haut de la structure, le tressage, est plus efficace que celui de la structure construite, avec une image qui se rapproche plus encore de la référence du chapeau de paille utilisée par Shigeru Ban. A contrario, le bas de la structure, sa colonne, est nettement plus inefficace, avec des parties porteuses se réduisant aux poutres droites, celles ayant un courbure étant uniquement décorative pour des raisons de rayon de courbure.

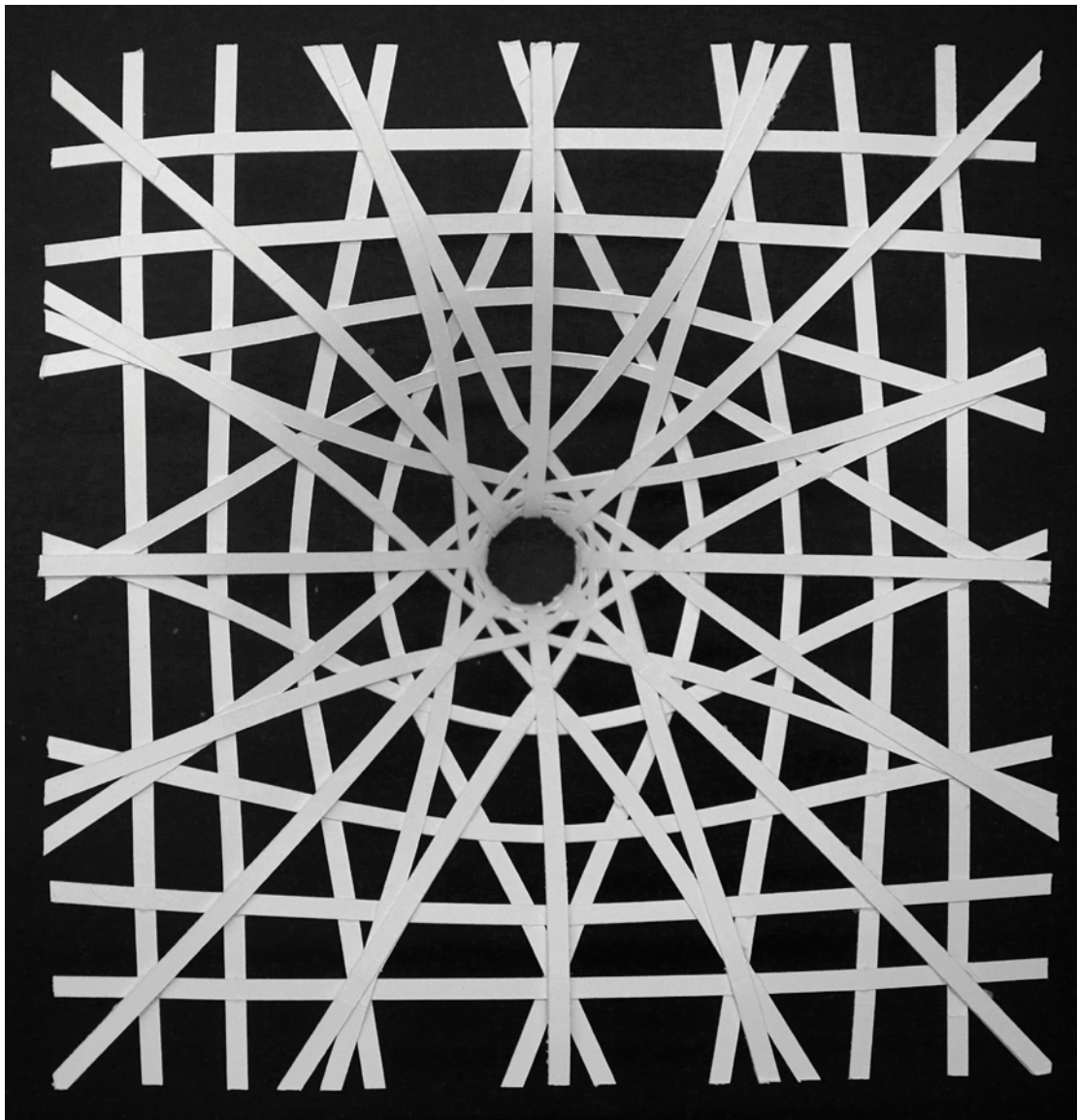


Photo en plan

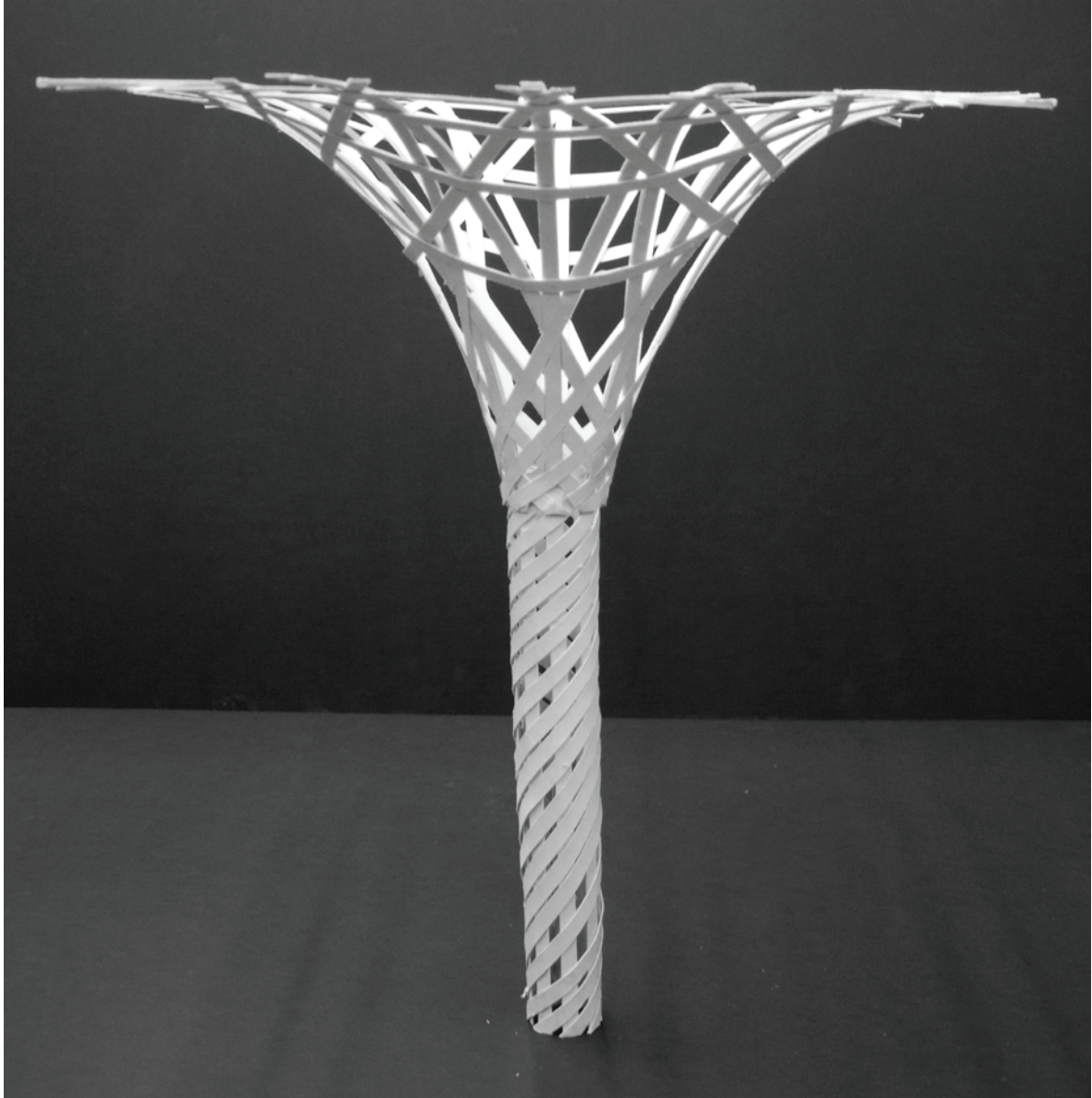


Photo en élévation

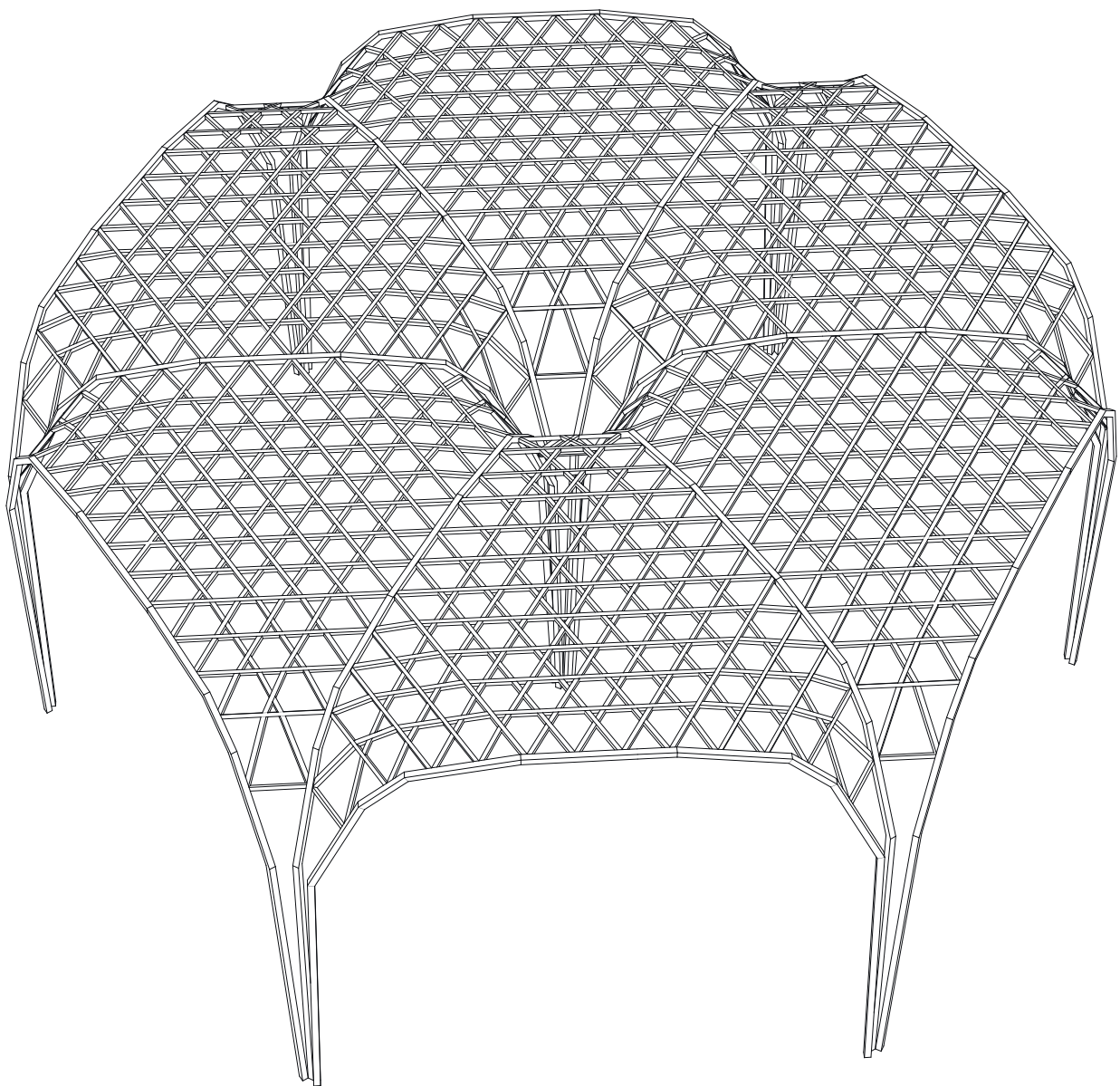
Les avantages de cette structure sont d'avoir une simple courbure dans toutes les poutres, ce qui facilite la mise en oeuvre et réduit les coûts de fabrication, ainsi qu'une partie de la structure qui gagne en efficacité.

Les inconvénients sont une courbure tellement importante dans la colonne que cela en devient décoratif, et une perte de la grille de base pour le tressage.

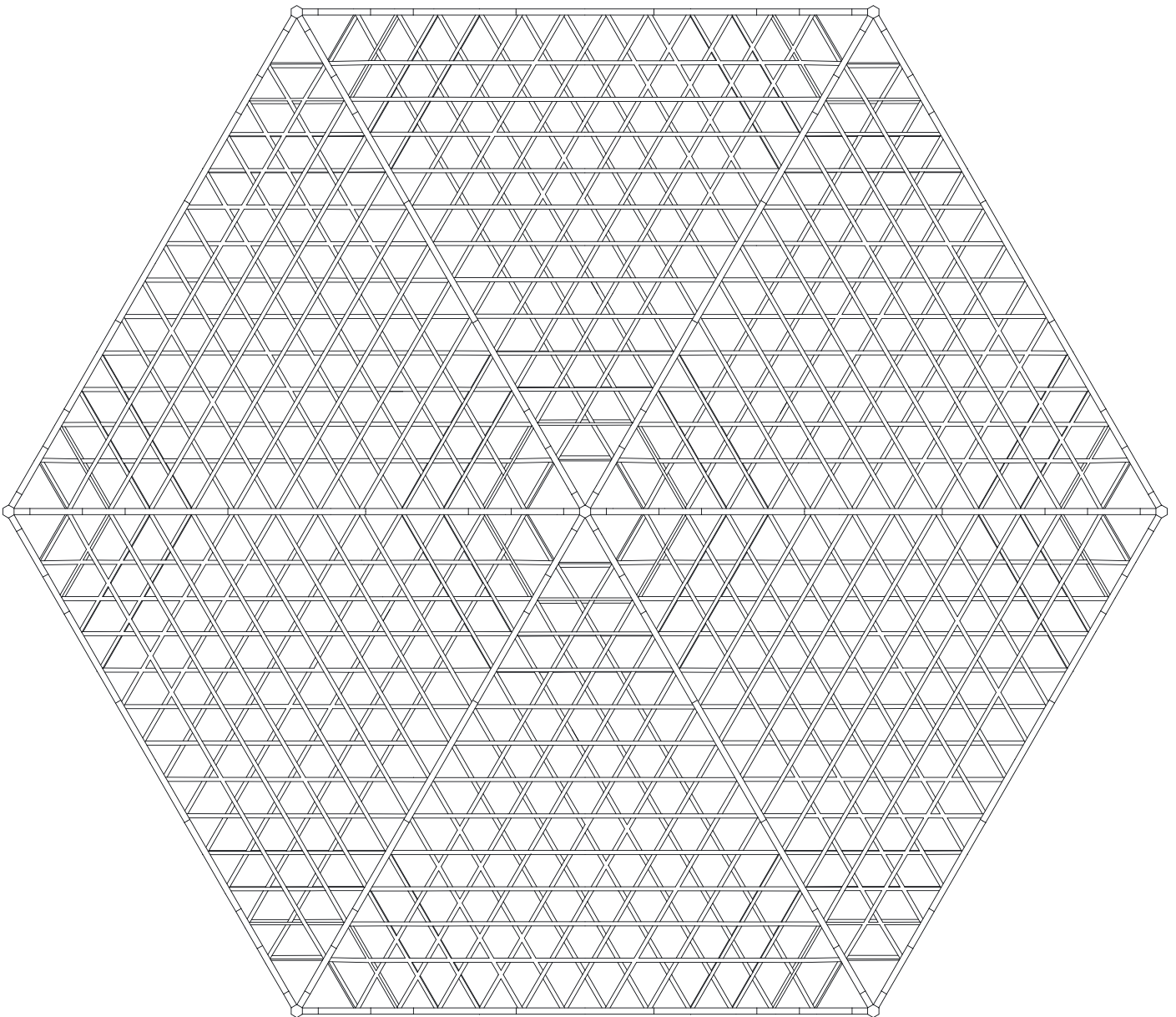
Variante 3

La troisième variante que nous avons construite est celle qui ressemble le plus fortement à la structure étudiée initialement.

Pour la développer nous avons décidé de reprendre la grille de base, et de ne faire que des poutres rectilignes, de manière à simplifier la réalisation de cette structure, tant au niveau de la mise en oeuvre que de la fabrication préalable des poutres nécessaire à la construction du bâtiment, car nous pourrions utiliser du bois équarri.



Axonométrie d'un module entier



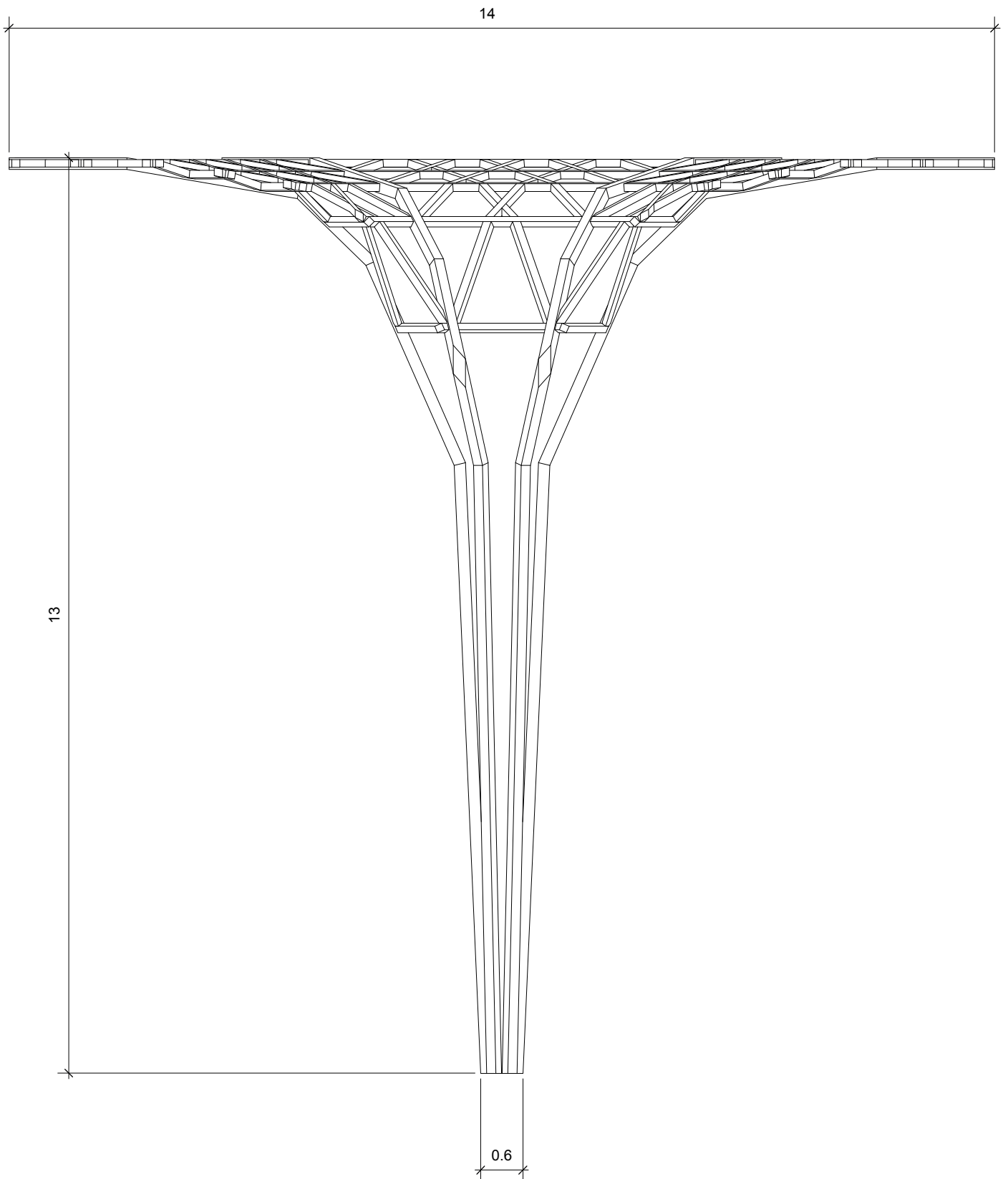
Plans

Pour dessiner la variante, nous avons d'abord dessiné les poteaux, car il s'agit de la partie structurale qui détermine le reste du dessin, en fonction de la courbe originale de ceux réalisés.

Les inclinaisons ont été choisies de façon à être au plus proche de celles d'origine, mais aussi de manière à ce que les poutres formant le tressage soient dans le même plan que les poteaux auxquelles elles sont rattachées.

Dû au fait que, dans cette variante, les poteaux sont rectilignes, ils ne se séparent pas en deux à une certaine hauteur, comme ce que l'on peut observer sur la structure de base. Cela induit donc une légère déformation de la grille, mais qui n'a pas d'impact marqué sur celle-ci.

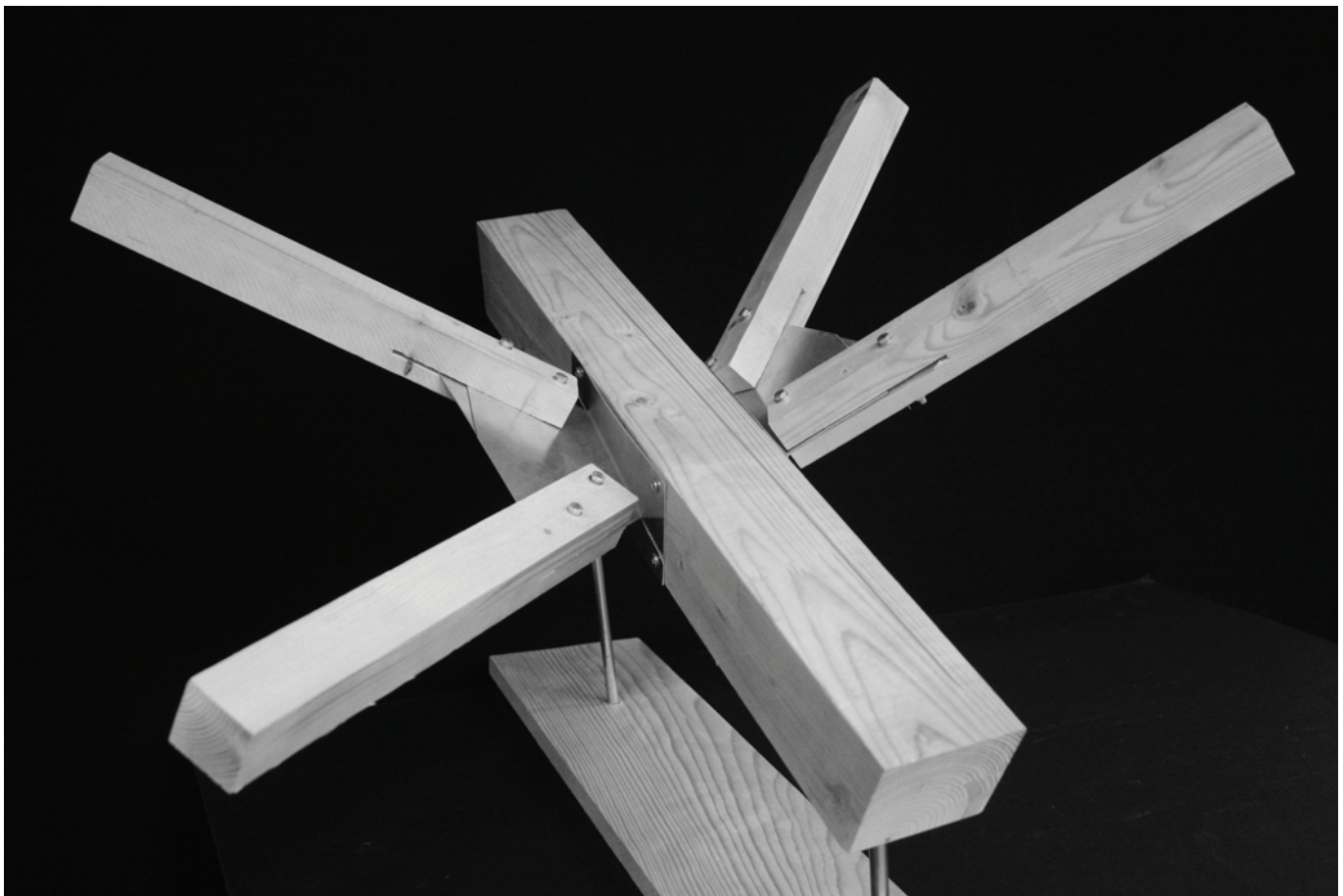
L'impact principal que cela a sur la structure est la déformation du module de base, qui passe d'un carré à un hexagone.



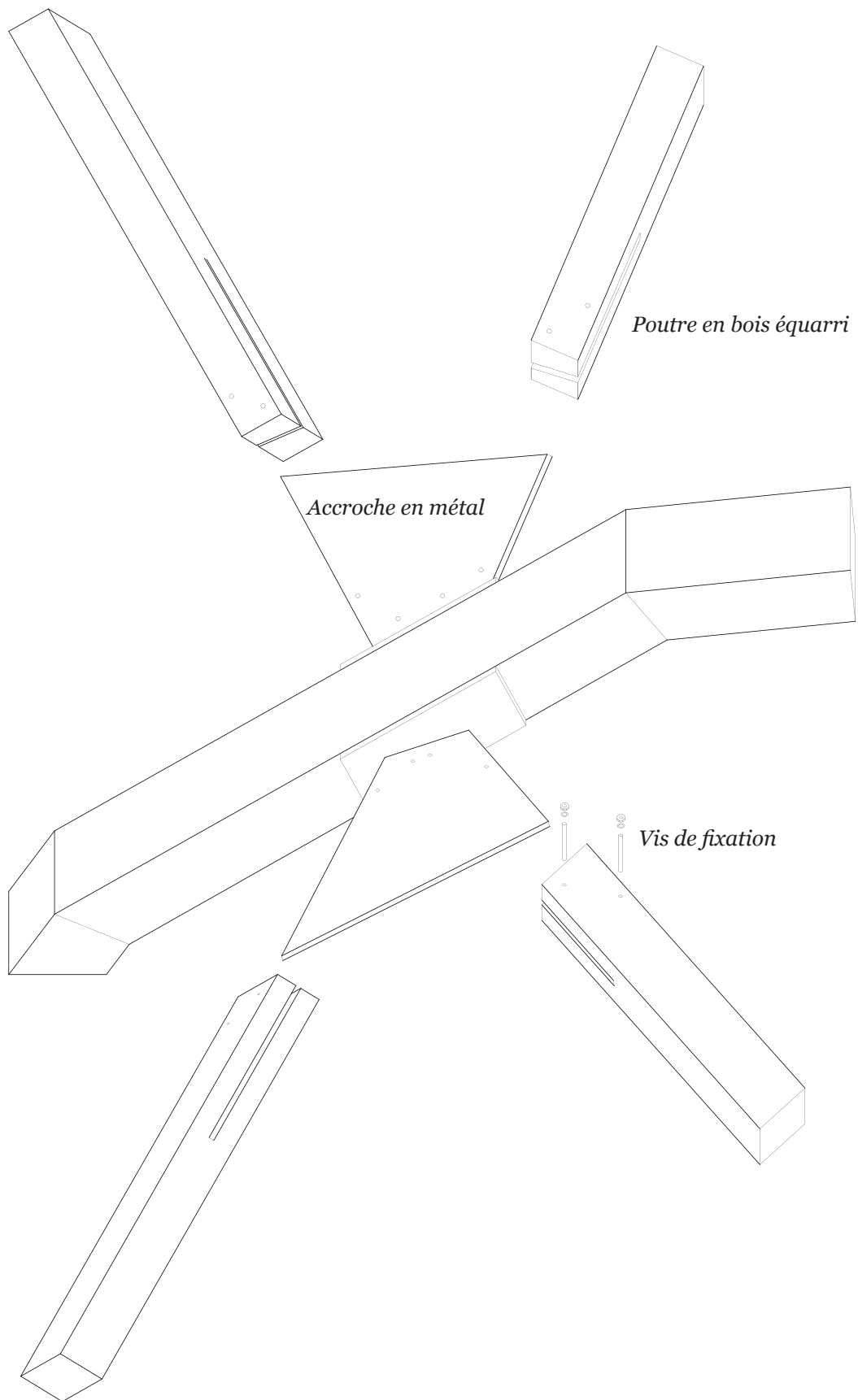
Coupe

Pour recréer le tressage, la grille utilisée à l'origine a été projetée sur les plans formés par les poteaux préalablement dessinés.

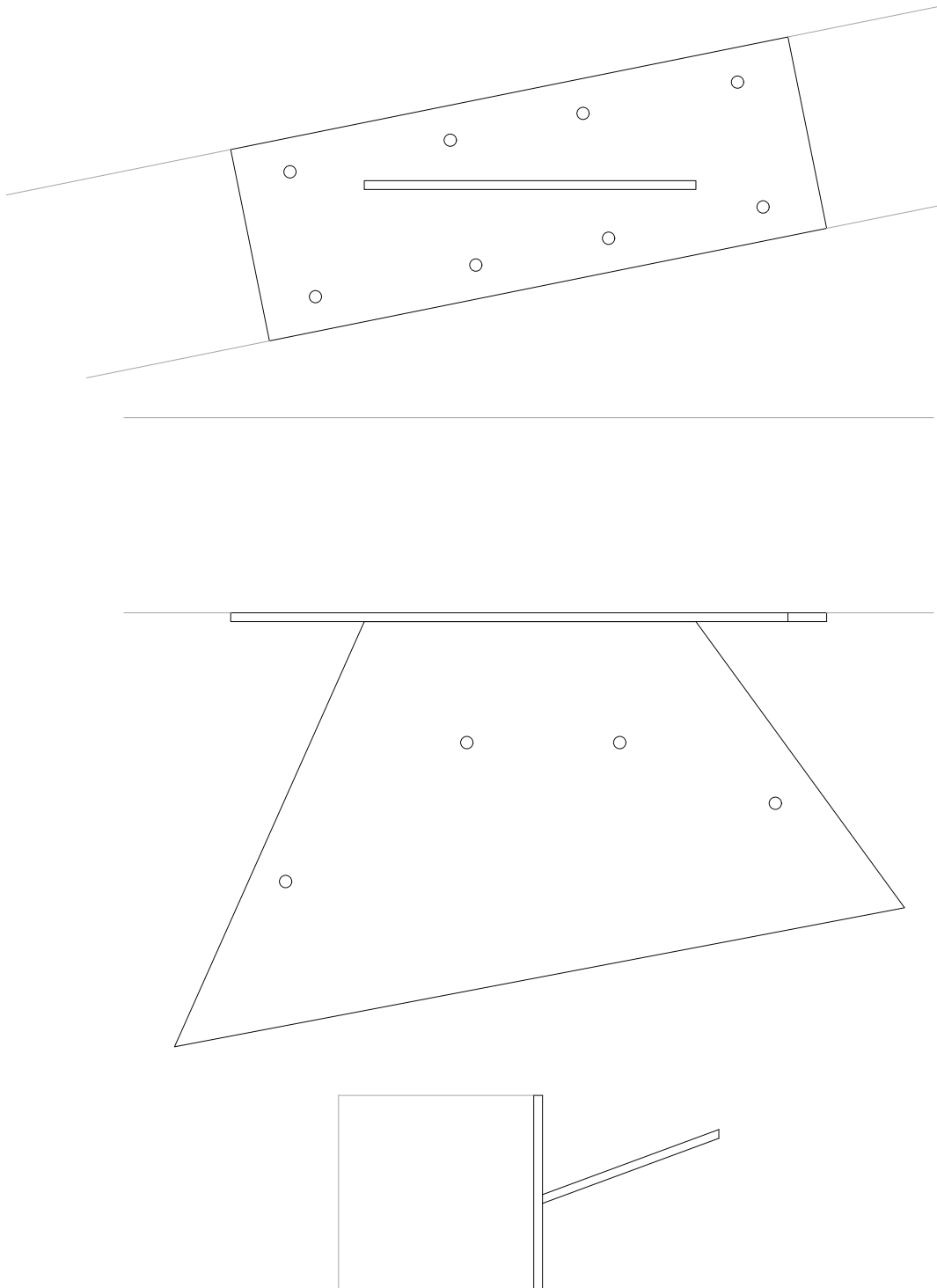
Pour que les poutres du tressage puisse venir se fixer aux poutres principales, nous avons du réduire un peu la section de celles-ci. Nous avons alors des sections de 15 cm pour les poutres principales, formant les poteaux, et 10 cm pour les poutre du tressage.



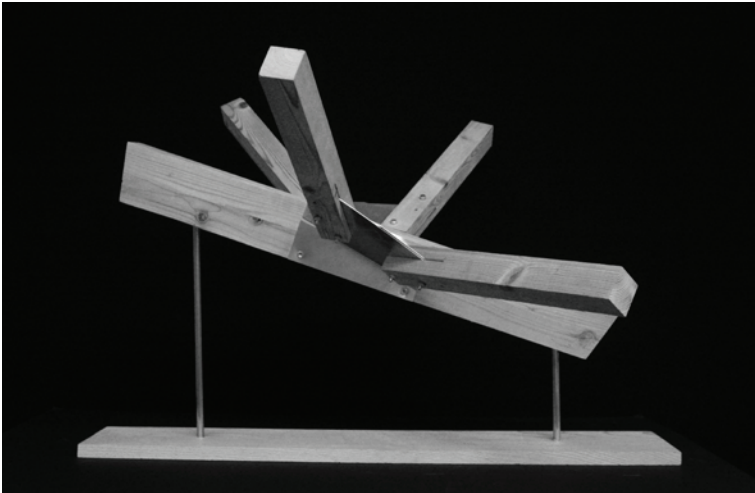
Les accroches de cette variante se font en bois et métal, avec une plaque de métal apparente venant se fixer dans les poutres secondaires, et fixée sur les poutres principales



Axonométrie du détail d'accrochage

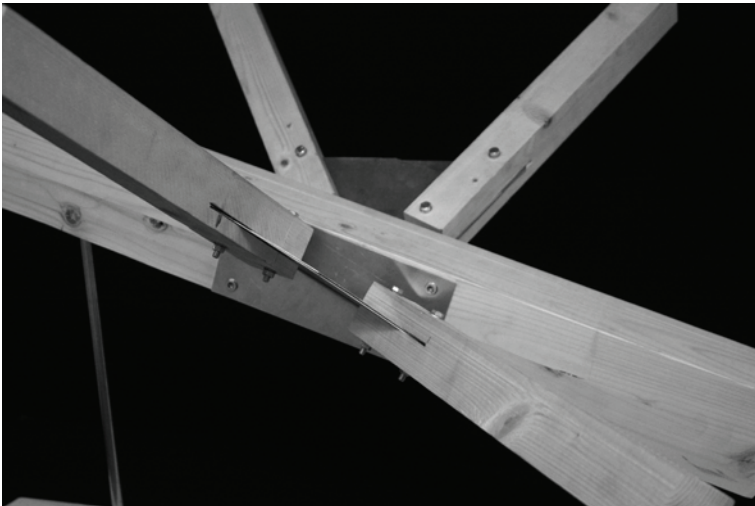


Plans et coupes précises du détail d'accrochage



Les plaques en métal sont réalisées en deux parties soudées ensemble, l'une formant le trapèze, qui vient s'ancrer dans les poutres, l'autre étant le rectangle fixé sur les poteaux.

Les efforts se transmettant uniquement par le métal, nous avons dessiné les poutres secondaires sans découpes spécifiques à leur jonction avec l'armature principale, pour des raisons de facilité de construction et de coût.



Pour simplifier encore plus l'assemblage, l'utilisation de vis auto-perçantes permettent de ne pas devoir pré-percer la plaque de métal et les poutres.

Les avantages de cette variante sont de différents ordres.

Le premier est une simplification de la structure, ce qui facilite nettement la construction.

Le second est dû à l'utilisation de poutres droites. En effet, celles-ci permettent l'utilisation du bois équarri, et donc un gain de temps de fabrication très important et de coûts qui ne sont pas négligeables non plus.

Le troisième est que le montage pourrait être fait au sol, pour ensuite être monté à sa hauteur finale.

Finalement, cette dernière variante reprend la géométrie de la grille de Shigeru Ban, ce qui donne un résultat graphiquement assez proche de la structure initiale.

Le seul inconvénient, bien qu'assez mineur, est la changement de forme du module, passant d'un carré à un hexagone.

Conclusion

	Avantages	Inconvénients
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> - Structure simple - Simplicité de mise en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> - Structure instable - Perte de la grille de base
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> - Simple courbure - Système performant dans les parties à faible courbure 	<ul style="list-style-type: none"> - Courbure trop importante dans la colonne (décorative) - Perte de la grille de base
Variante 3 (choisie)	<ul style="list-style-type: none"> - Structure plus simple - Assemblage au sol possible - Poutre droite (bois équarri) - Reprise de la grille de base 	<ul style="list-style-type: none"> - Module hexagonal

Nous avons choisi la variante n°3 car c'est celle qui nous paraissait être la meilleure, tant au niveau constructif et au niveau de la fabrication, qu'au niveau des coûts. En effet elle n'utilise que des poutres en bois équarri rectiligne qui peuvent être assemblées à plat. Aucune double courbure, donc aucune machine complexe n'est nécessaire.

En plus de ces avantages, elle garde la géométrie globale de base, tout en gardant la grille dessinée par l'architecte.

