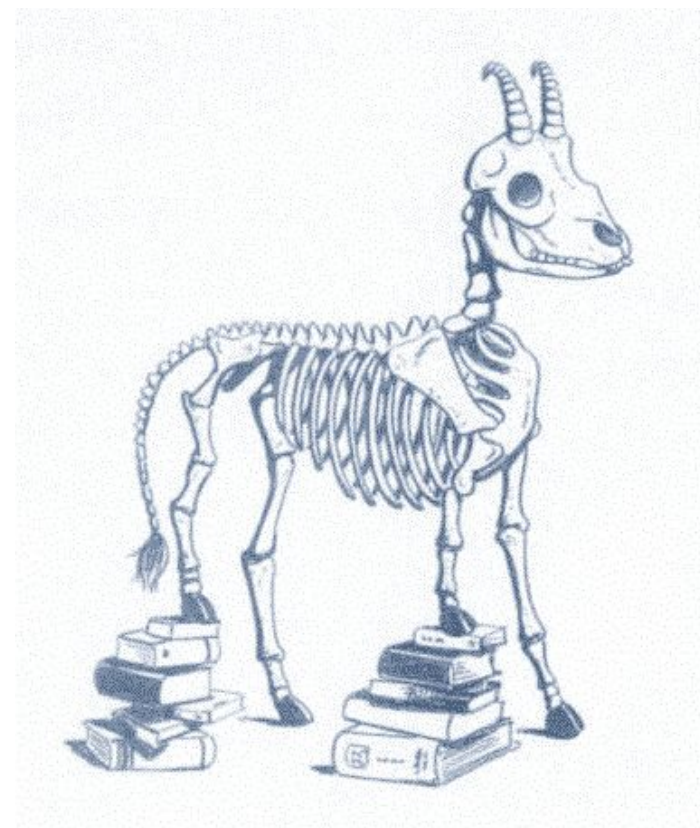


CONSTRUIRE UNE ARCHE 2018

De gauche à droite :
Antonin Colau
Aroa Gonzalez Rodriguez
Cyril Morane
Gwendoline Stroobandt
Giulia Di Stefano



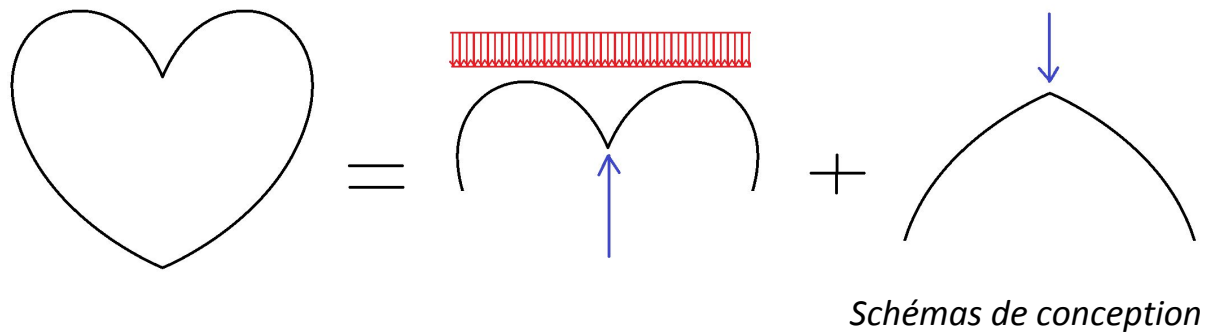
Le Dahu Arqué



Recherche de concept

Option 1 : Les cœurs imbriqués

Un cœur (cf. Figure) est constitué de deux parties d'arches classiques. La partie courbée du cœur est une double arche arrondie, soumise à une charge répartie; la partie inférieure est une arche soumise à une force ponctuelle. En mettant deux cœurs tête-bêche, on peut obtenir un concept cohérent structurellement.



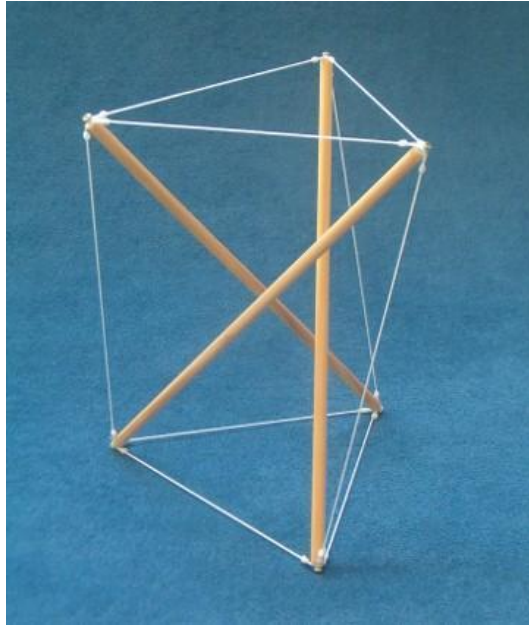
Pour former une double arche, une force ponctuelle s'opposant à la charge uniformément répartie est nécessaire. On peut lier l'une à l'autre les extrémités du cœur par des câbles tendus.



Modélisation du projet

Option 2 : La tensegr-arche

L'idée est de revisiter un concept connu en architecture, la tensegrité. Le système est composé de barres comprimées (ici nos arches) et de câbles tendus. Trois arches distinctes composent notre structure, sur une base d'un triangle équilatéral. Les schémas ci-dessous présentent le concept.



Principe de tensegrité

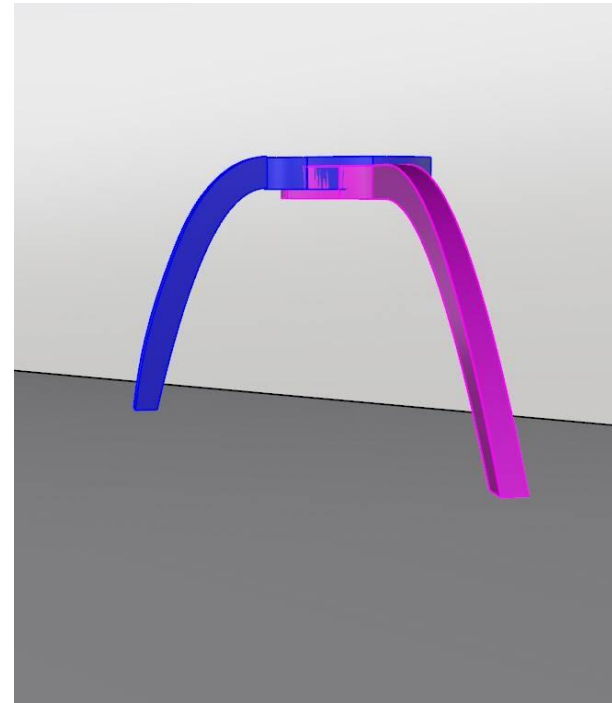
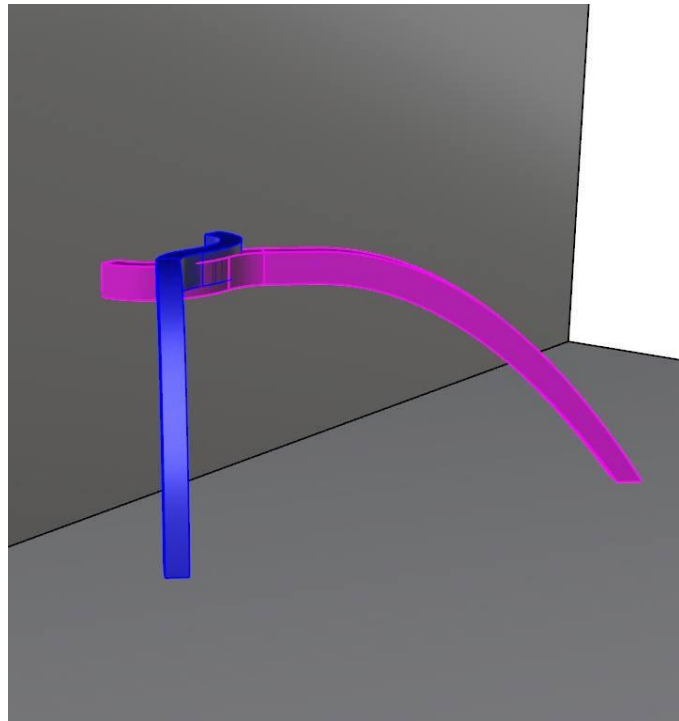


Modélisation du projet

Après le développement des équations de la statique, nous avons décidé d'arrêter le concept devant l'ensemble des problèmes qui se posaient (torsion, couplage forme/forces, complexité de montage).

Option 3 : Le Dahu Arqué

Le concept était le suivant : deux demi-arches dissymétriques viennent s'appuyer sur un demi-tore, lui-même appuyé au mur. Le demi-tore est disposé à l'horizontale. Les arches qui viennent directement s'appuyer sur lui l'empêchent de tomber, le poids du demi-tore étant repris par le frottement coulombien.



Modélisation sur Rhinoceros du projet

Finalement nous avons choisi de développer le dernier concept.

La hauteur du feuillet moyen du demi-tore a été fixée à 2.15 m. Cette hauteur nous semblait correcte, puisqu'elle permet à une personne de passer en dessous. Étant supérieure à la taille humaine, la structure ne donne pas l'impression d'être une maquette.

Pour rendre l'idée et la réalisation plus difficile à lire, nous sommes parti sur un concept de trompe l'œil. La patte courte arriverait au dessus du feuillet moyen du tore, et la patte longue en dessous. La résultante des forces de pression des deux arches arrive, elle, à hauteur du feuillet moyen. On a donc la fausse impression d'avoir une arche passant au dessus de l'autre. Pour augmenter l'effet, les voussoirs du cercle central ne sont pas d'épaisseur constante.

Pour rendre la structure plus difficilement lisible, nous avons eu l'idée de deux pattes de longueur et portée différentes. La stabilité de la structure est cependant plus difficile à obtenir dans ce cas-là.

2.15 m

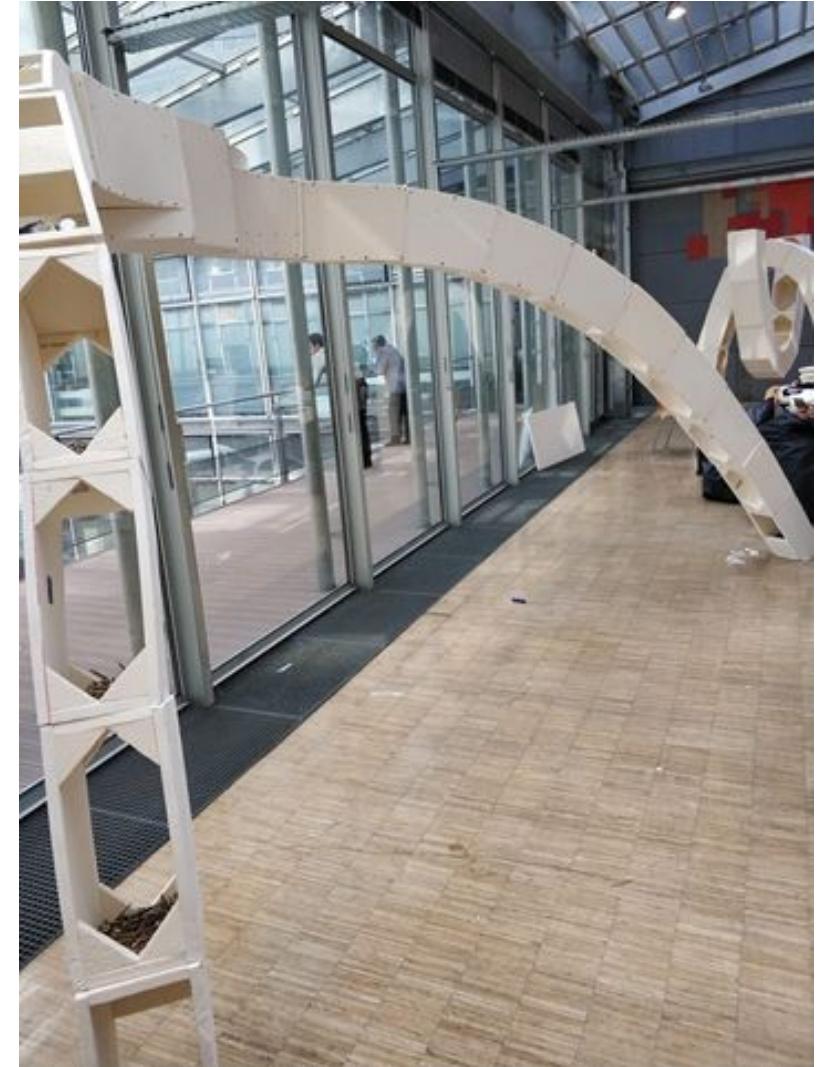


Photo des arches

L'équilibre global de la structure

Pour assurer l'équilibre global de la structure, il faut que la résultante horizontale globale au niveau des deux arches soit suffisante pour empêcher le demi-tore de tomber. En effet, plus cette résultante est élevée, plus le frottement au niveau du mur est élevé (Coulomb).

De plus, le polygone funiculaire doit passer à l'intérieur du demi cercle. Les deux arches n'étant pas de même dimension, la résultante horizontale n'est pas la même. En effet, la poussée horizontale de l'arche longue est quatre fois supérieure à celle de l'arche courte. Dans ce cas là, le funiculaire ne rentre pas dans la forme du demi-tore. On doit pourtant conserver cette forme par souci d'esthétisme, et pour garder l'effet visuel du concept.

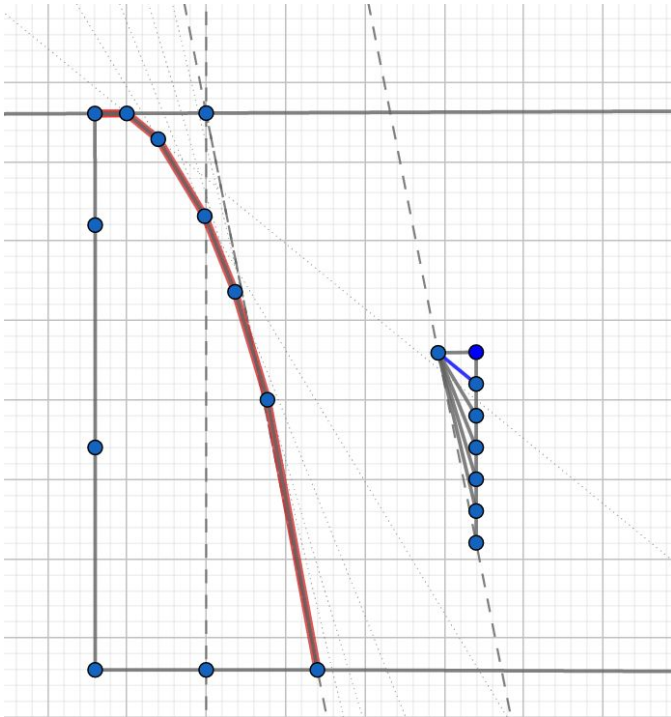
En testant avec différents rapports de forces horizontales, on trouve qu'un funiculaire peut passer si le rapport entre les deux forces horizontales est de 2. Il nous faut alors lester la petite arche (avec une charge uniformément répartie pour ne pas modifier la forme du funiculaire) afin d'augmenter sa résultante horizontale. Cela permet ainsi de stabiliser le demi-tore. Nous avons utilisé le poids des clous pour résoudre ce problème comme représenté dans la figure de droite.



Equilibre global de la structure

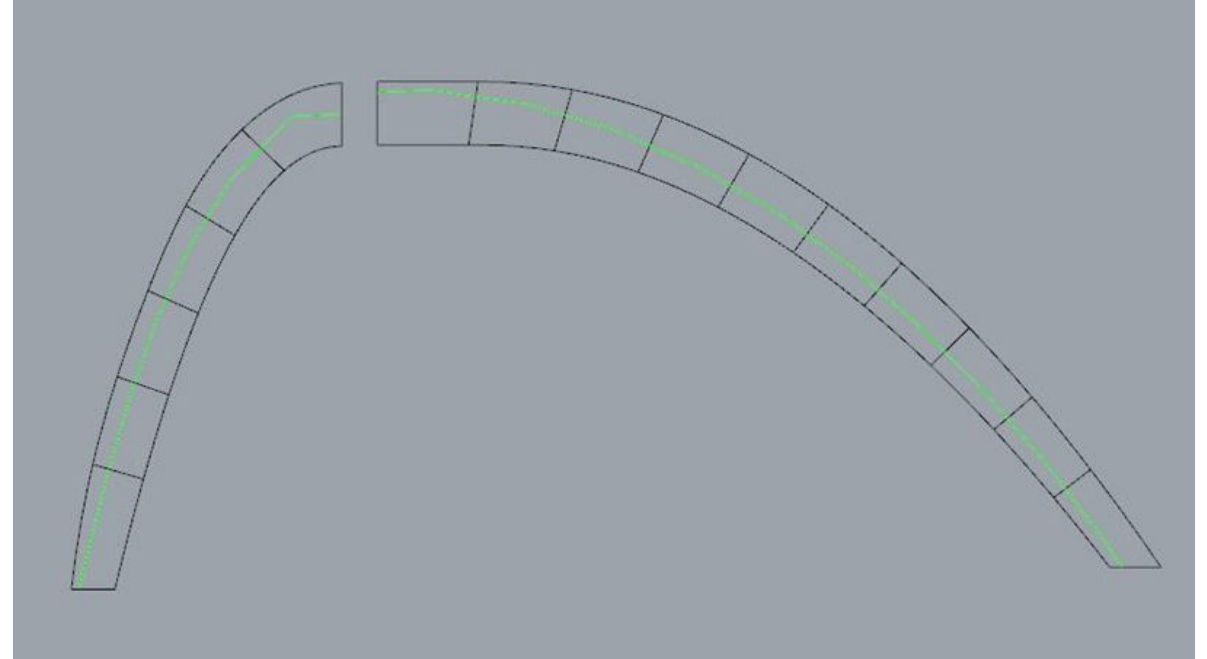
Calcul du funiculaire

La méthode de statique graphique est utilisée pour calculer le funiculaire. Pour les deux arches, on considère que le chargement est réparti uniformément (poids propre). On discrétise celui-ci pour dessiner le diagramme des forces. Cela donne le funiculaire en parabole sur la figure ci-dessous.



Construction du funiculaire sur Géogebra

Funiculaire des pieds



Élévation des deux arcs

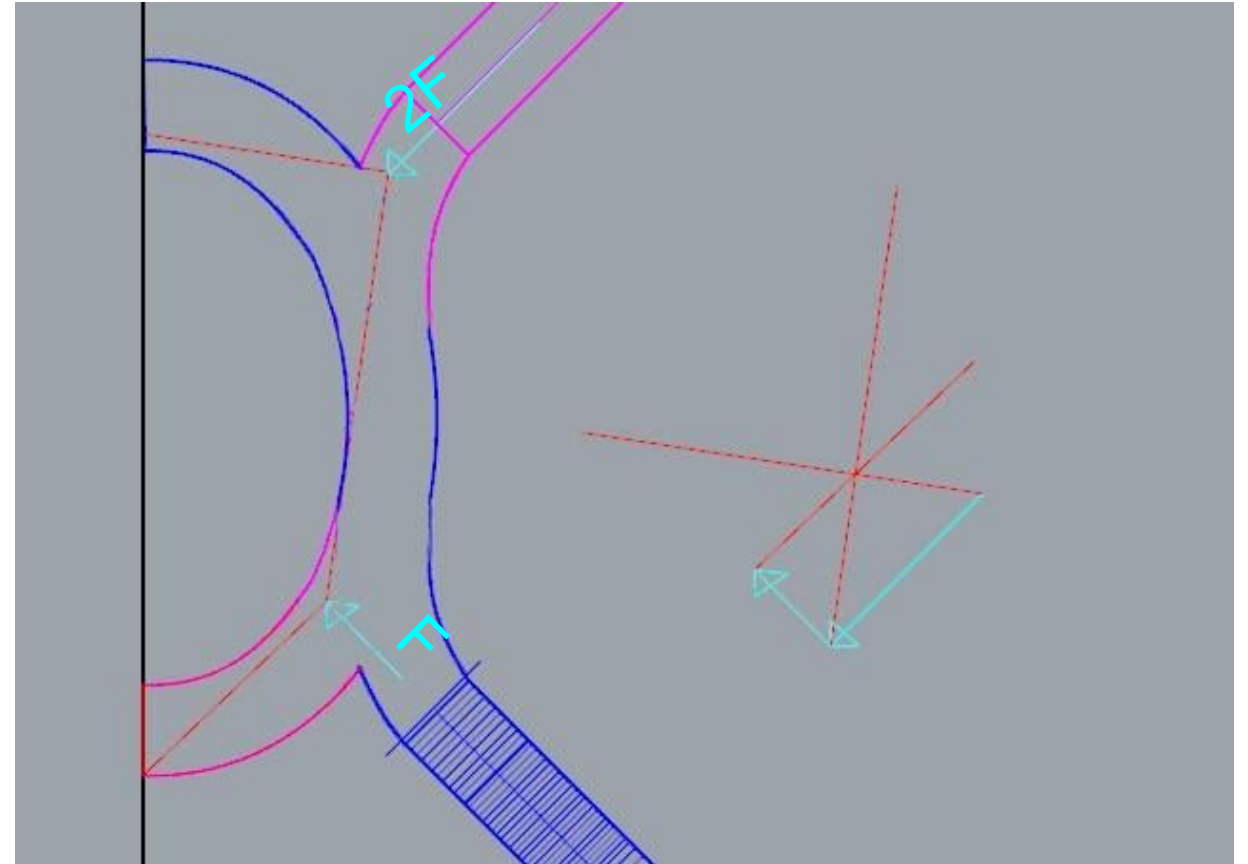
Le dessin des funiculaire des deux arches (au dessus) permet de faire la découpe des joints. Ceux-ci sont découpés perpendiculairement à la ligne des centres de pression : cela permet de n'avoir qu'un effort normal à la jonction de deux voussoirs. Dans notre situation où il existe des frottements d'environ 60° entre les plaque de polystyrène, ces formes de découpe ne sont pas forcément nécessaires. Néanmoins, cela permet d'éviter à coup sûr le glissement d'un voussoir par rapport à l'autre.

Funiculaire du demi-tore

La figure à droite est une vue de dessus du projet. Cette fois le chargement est constitué de deux forces ponctuelles, dues aux poussées des deux pattes. Les deux poussées ne sont pas identiques. L'image ci-contre montre un funiculaire passant dans l'arche pour un rapport de 2 concernant les poussées.

Un funiculaire passe par la forme dessinée. Cela signifie qu'au moment du montage, on devrait avoir une certaine marge de manoeuvre.

Il faut veiller cependant à ce que l'angle de frottement entre le polystyrène et le mur sur lequel est posé la structure soit suffisant.



Représentation du funiculaire au sein du demi-tore

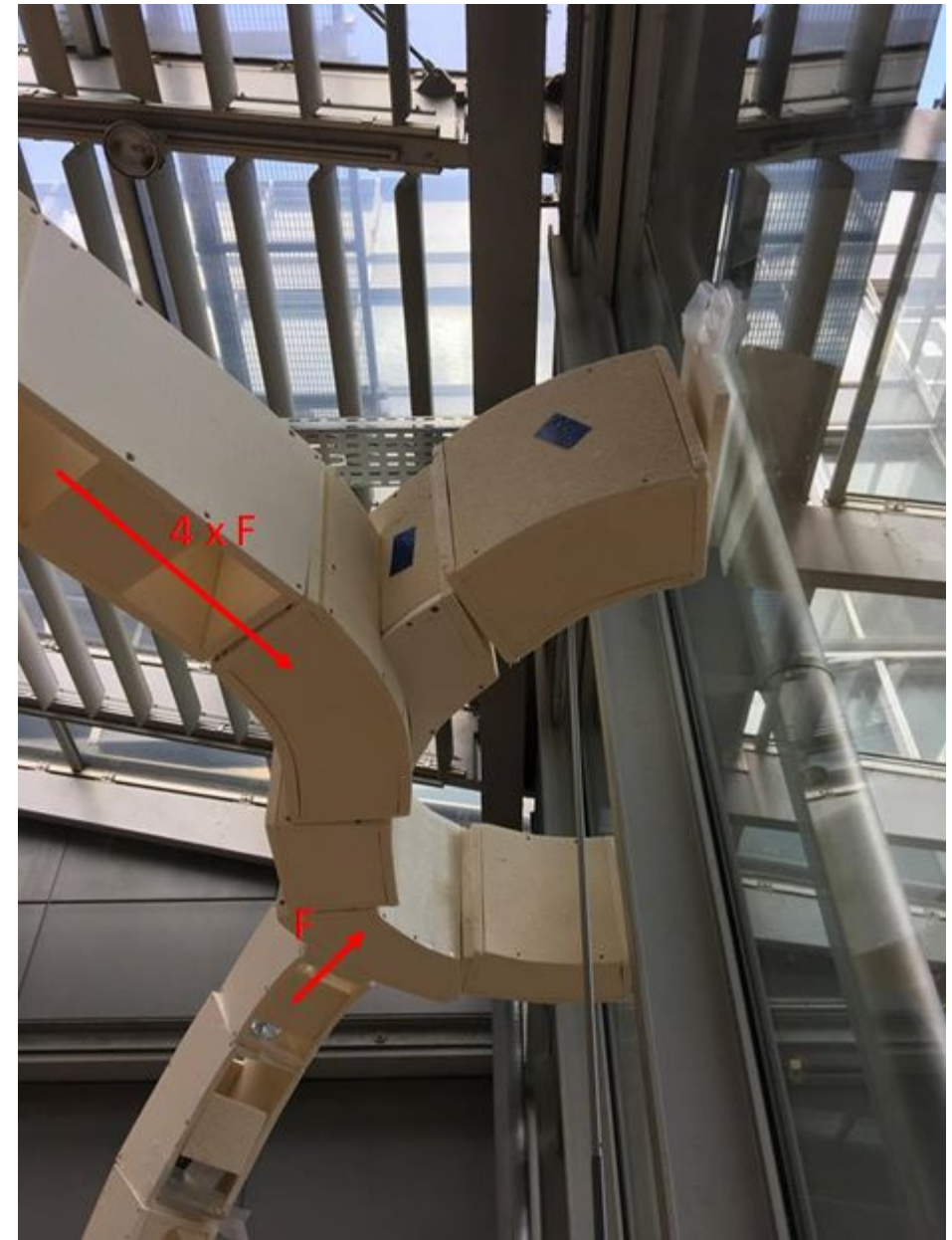
L'image à droite représente les résultantes horizontales en tête d'arche. Comme ce qui a été dit précédemment, sous poids propre, la résultante de poussée de l'arche longue est 4 fois supérieure à celle de l'arche courte : aucun funiculaire ne passe dans la forme.

Pour équilibrer la poussée, l'idée est de lester la petite arche.

Lest : divers
objets



Lest de l'arche courte



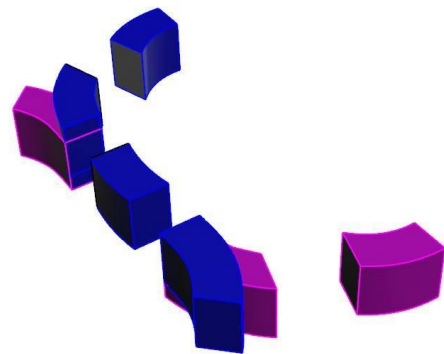
Répartition des forces au sein de la structure

La découpe

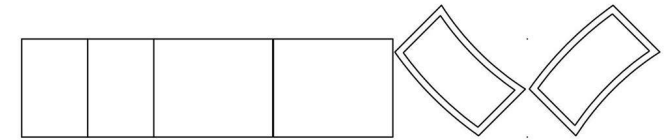
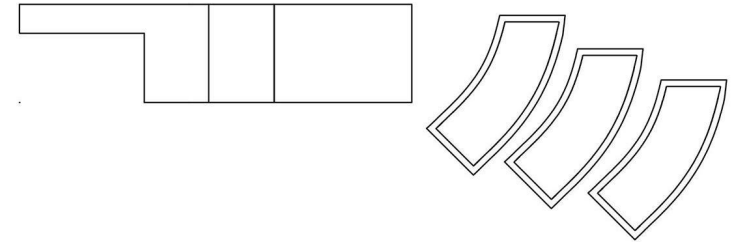
Certaines pièces du demi tore nécessitent une courbure. Or les plaques de polystyrènes sont plates. Il y a deux solutions pour résoudre ce problème.

La première est de discrétiser la courbe, afin de découper des portions de droites pour l'abscisse curviligne.

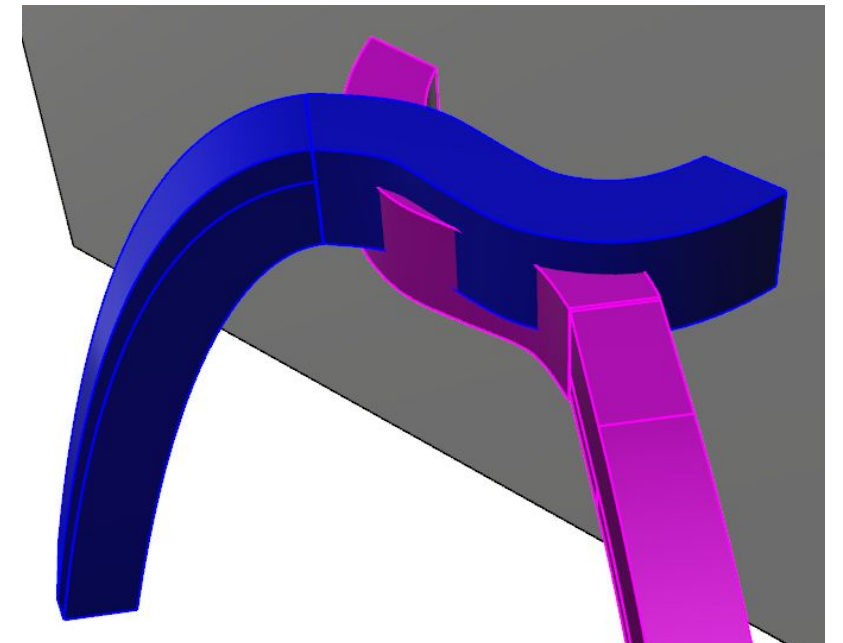
La seconde consiste à faire fléchir les plaques pendant le montage des voussoirs. Les plaques restent relativement flexibles, et permettent de fabriquer les voussoirs. Cependant il est nécessaire de faire attention et de bien mesurer sur les plans de découpe la longueur de l'abscisse curviligne.



Représentation des voussoirs



Découpe des doubles voussoirs



Courbure des arches

L'assemblage

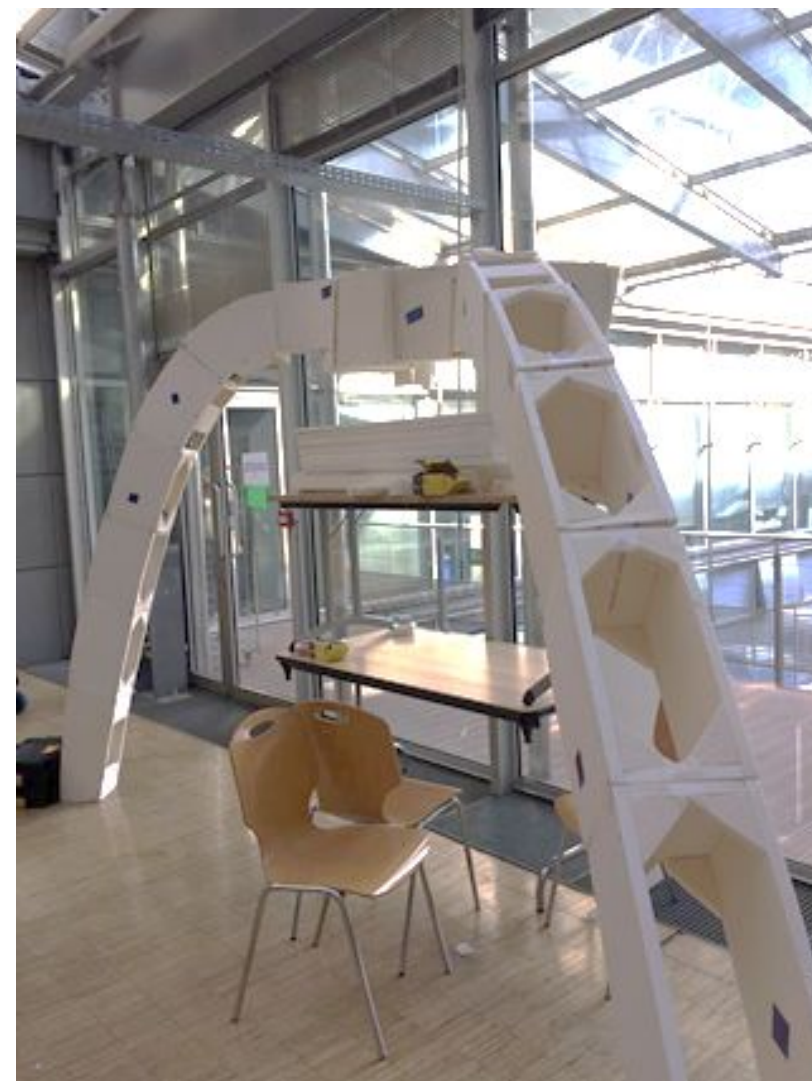
Pour l'assemblage, on vient scotcher les voussoirs des arches entre eux, afin de les déplacer plus facilement.

Le demi-tore est placé en hauteur sur une pile de tables et de plaques de polystyrène, afin d'être stable pendant la construction.

On déplace ensuite une par une les arches que l'on vient coller contre le demi-tore. La structure est complète, et un effort de compression passe dedans. À ce moment là, on enlève le montage de tables et polystyrène, et la structure est stable.



Arches scotchées au sol afin de les déplacer plus facilement



Processus de montage de la structure (appui provisoire du demi-tore)

Le résultat final



Conclusion

La construction de cette arche nous a permis de nous rendre compte de la relation complexe entre la phase de conception et de construction.

Par exemple, deux forces ponctuelles qui s'annulent par symétrie dans la phase de conception ne sont pas facilement reproductibles dans la réalité. En effet, des problèmes de réalisation sont apparus car il a été difficile d'être précis pendant la phase de lestage de la petite arche.

Cependant, il nous a été agréable de voir que les résultats de la méthode statique graphique ont fonctionné comme prévu. L'apprentissage de cette méthode peut se révéler très utile pour des futures phases de conception et de pré-dimensionnement de structures courbées.

Enfin, la conception et réalisation d'un projet de collaboration entre architectes et ingénieurs est toujours enrichissant et formateur.