

CONSTRUCTION : Structures légères



E.N.S.A.P.L.V. -M1/S7- Cours de Yves MAHIEU - Hiver 2012/2013



Funiculaire / Antifuniculaire

Définitions

Funiculaire :

Structure ne reprenant, du fait de sa forme, que des efforts normaux en Traction.

Antifuniculaire :

Structure ne reprenant, du fait de sa forme, que des efforts normaux en Compression (Funiculaire inversé).



Un des exemples les plus connus en Architecture de cette notion de funiculaire et d'antifuniculaire est sans doute la Sagrada Família à Barcelone, d'Antoni Gaudí. En effet, pour sa conception, Gaudí fabriqua -à l'aide de fils et de poids- une maquette (> Ensemble funiculaire), qu'il plongea ensuite dans la Cire puis la retourna. Il obtint ainsi une maquette antifuniculaire qui servit de modèle pour l'édifice final, dont la construction débuta en 1882 et est toujours inachevée.

Principe de conception

A l'aide de Planchettes et de Clous, nous avons fabriqué puis suspendu successivement plusieurs "Cadres" - à l'échelle- en faisant varier les longueurs des différentes Planchettes et ainsi laisser à chaque "Cadre" prendre une forme funiculaire par son poids propre.

Nous avons mesuré les longueurs et angles de chaque "Cadre" pour ensuite procéder à la modélisation informatique de l'ensemble, rendu alors antifuniculaire par un retournement (à 180°).



Forme funiculaire d'une chaîne en Bois - Liaison rotule

=> Travail en **TRACTION** uniquement



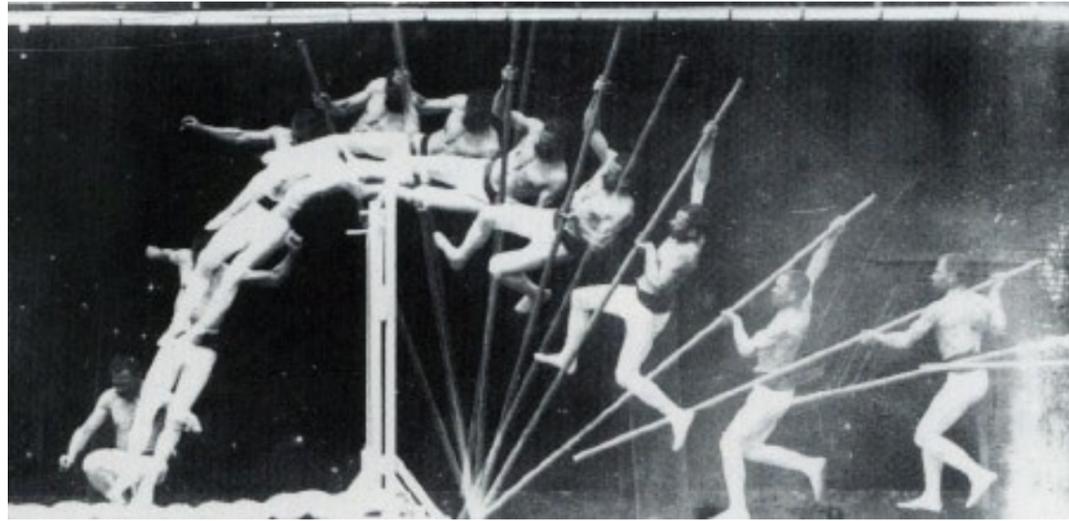
Système rigidifié puis retourné à 180° rendant le funiculaire antifuniculaire.

=> Travail en **COMPRESSION** uniquement



Génération d'une Structure antifuniculaire par succession de "Cadres" conçus sur le même principe.

=> Travail en **COMPRESSION** uniquement

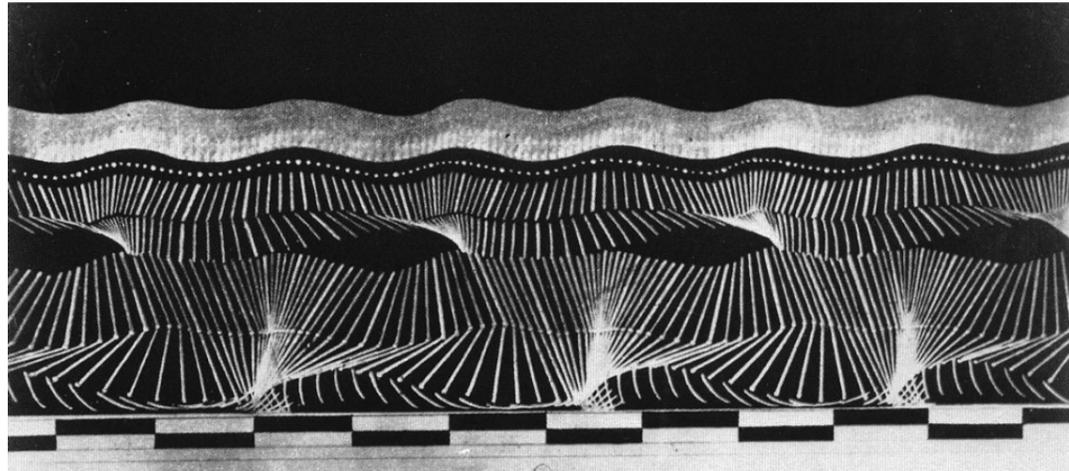


Passage Couvert *Funicul'AIR*

Ondulatoire et anti-funiculaire

L'idée principale est de faire vibrer notre Passage Couvert à l'instar d'une onde qui se propagerait de façon continuellement antifuniculaire.

Ce concept rappelle la Chronophotographie d'une part (Cf Images noir et blanc ci contre) et s'inspire des réalisations sous direction de Jean-Marie Delarue aux Grands Ateliers de Lyon, d'autre part. (Cf Photographie en bas à gauche)

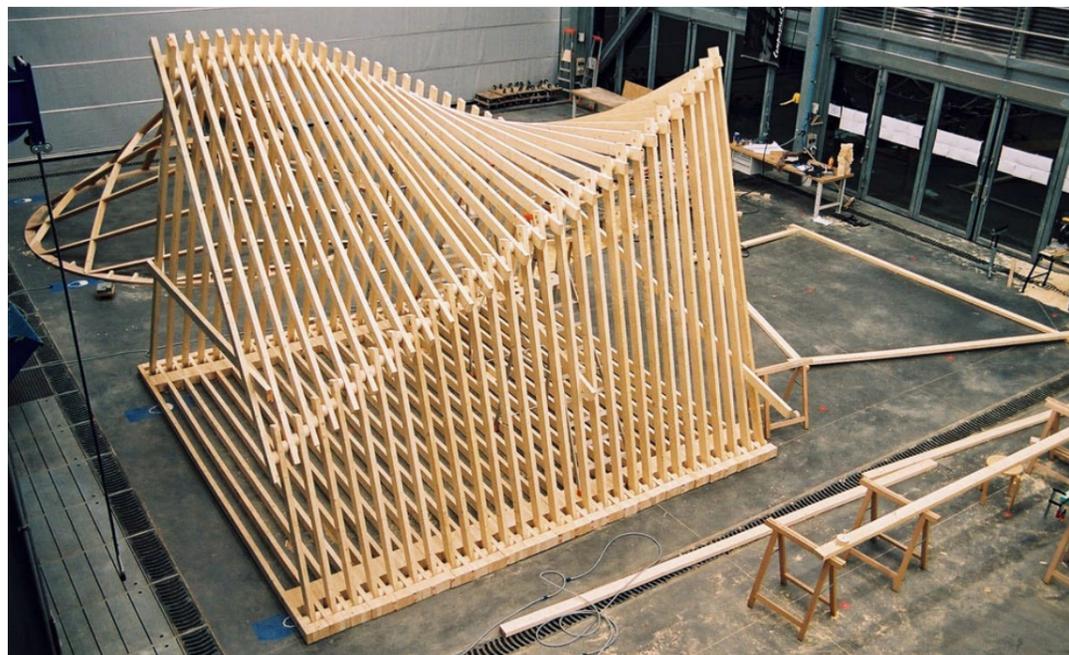
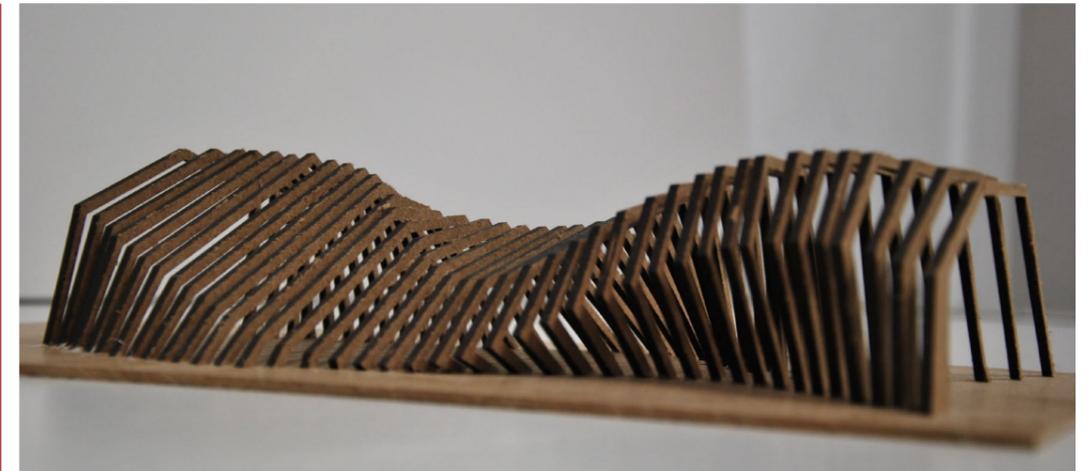


Parti Pris

Pour la "formation" de notre volume, nous avons choisi 3 "Cadres" générateurs anti-funiculaires (Le premier est un cadre de Porte, le second est libre et le dernier rappelle le pignon d'une Maison), à partir desquels on décline la forme en 25 "Cadres" intermédiaires, antifuniculaires également.

En outre, nous avons cherché à créer un jeu de contraction/dilatation du volume général, afin d'engendrer des sensations variées ainsi qu'une dynamique auprès des Usagers.

C'est précisément ce que l'on peut observer sur la présente Maquette d'étude (Cf Photographies ci-contre).
NB : Pour des raisons de recherche plastique, tous les "Cadres" ici ne sont pas antifuniculaires.





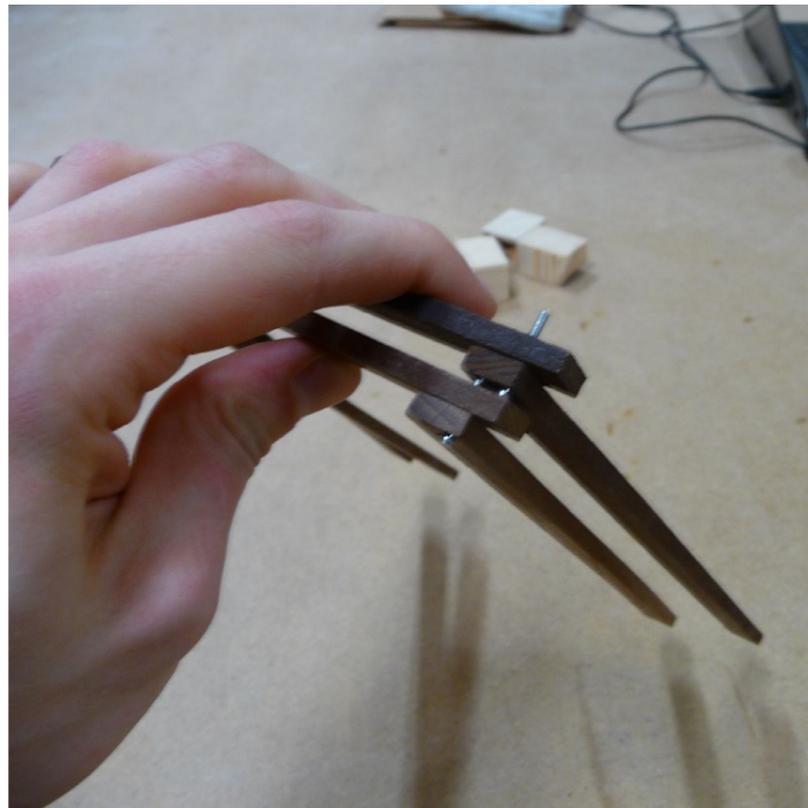
Essais :

De la Maquette à la Réalisation

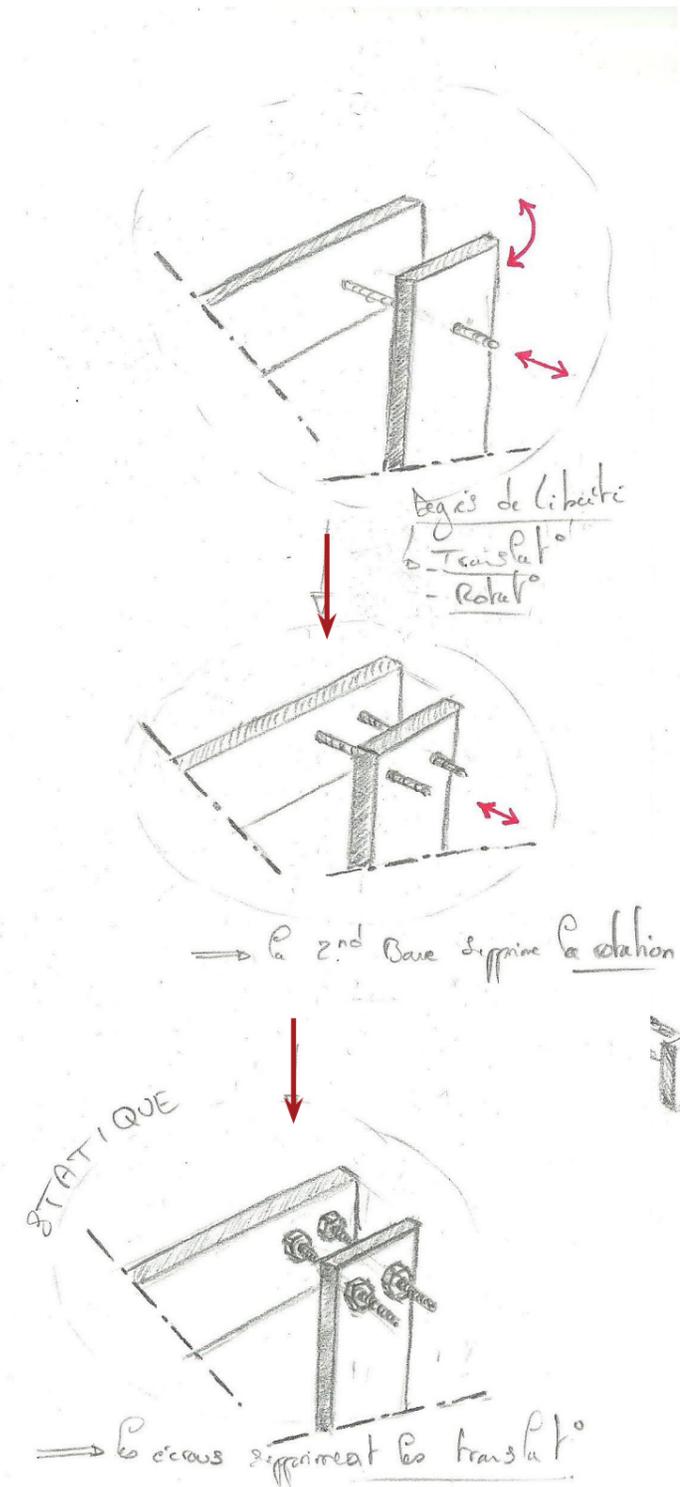
Principe et concept définis, s'est alors posée la question des assemblages et des liaisons.

Ainsi, nous avons premièrement fait des essais d'assemblages de "Cadres" à l'aide de Clous et des Planchettes de Bois. Nous avons constaté qu'un unique Clou -agissant alors comme une rotule 2D au niveau de chaque jonction- ne conférait aucune stabilité statique à l'ensemble, puisque demeurent encore 2 degrés de liberté ($b=2n-3$, or ici $2n-3 = 2 \times 5 - 3 = 7$ et $b=5$; Il manque 2 Barres pour bloquer le système). Notre choix a donc été de remplacer 2 liaisons rotulées par un encastrement afin de bloquer le système.

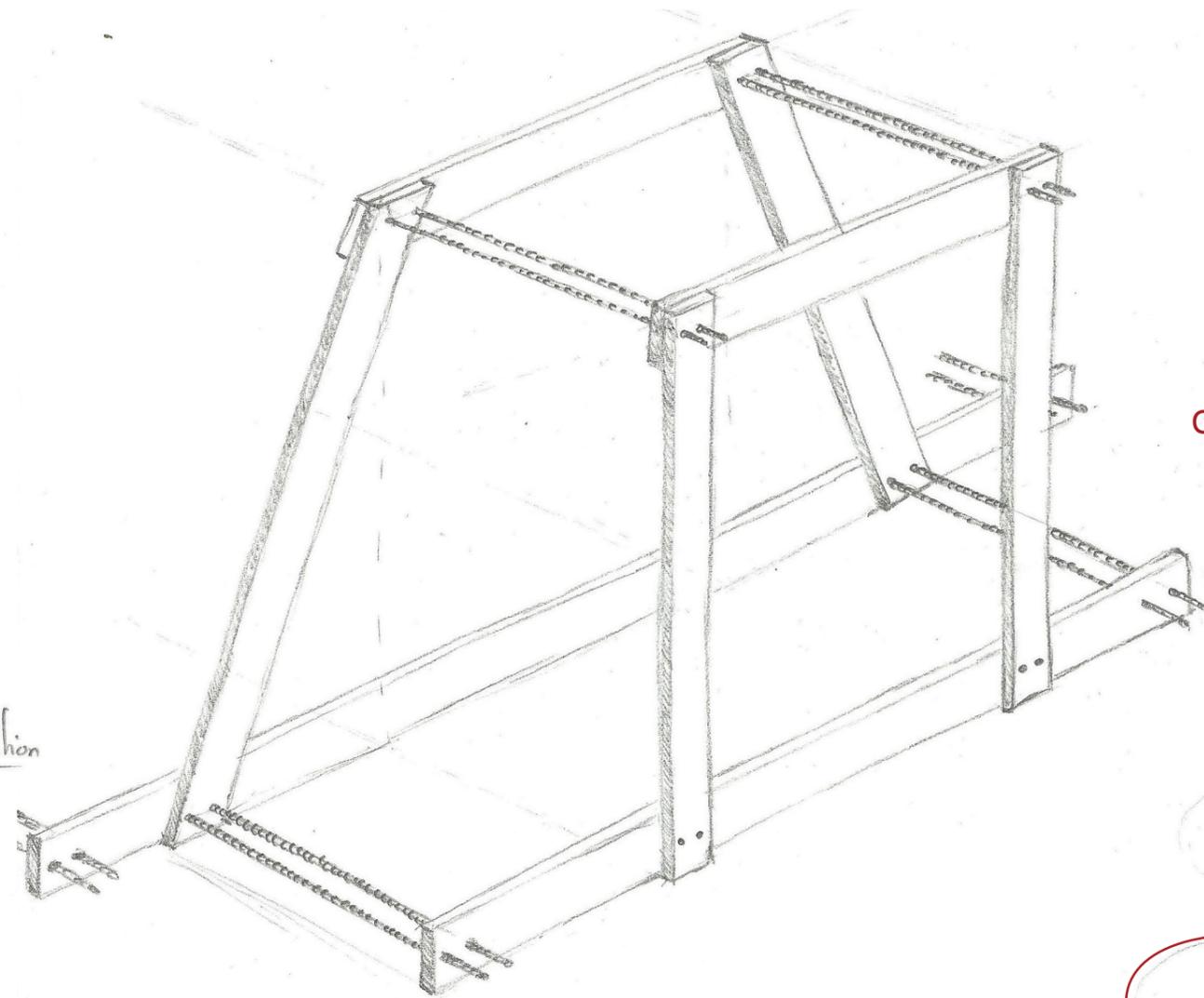
Nous avons donc choisi de faire traverser à chaque Clou non pas 2 Planchettes mais 3, afin de venir chaque fois bloquer le "Cadre" suivant (Cf croquis page suivante) ; cependant, en raison des limites et déformations des matériaux, nous avons opéré cela aux 5 liaisons au lieu des 2 nécessaires à l'isostaticité de l'ensemble.



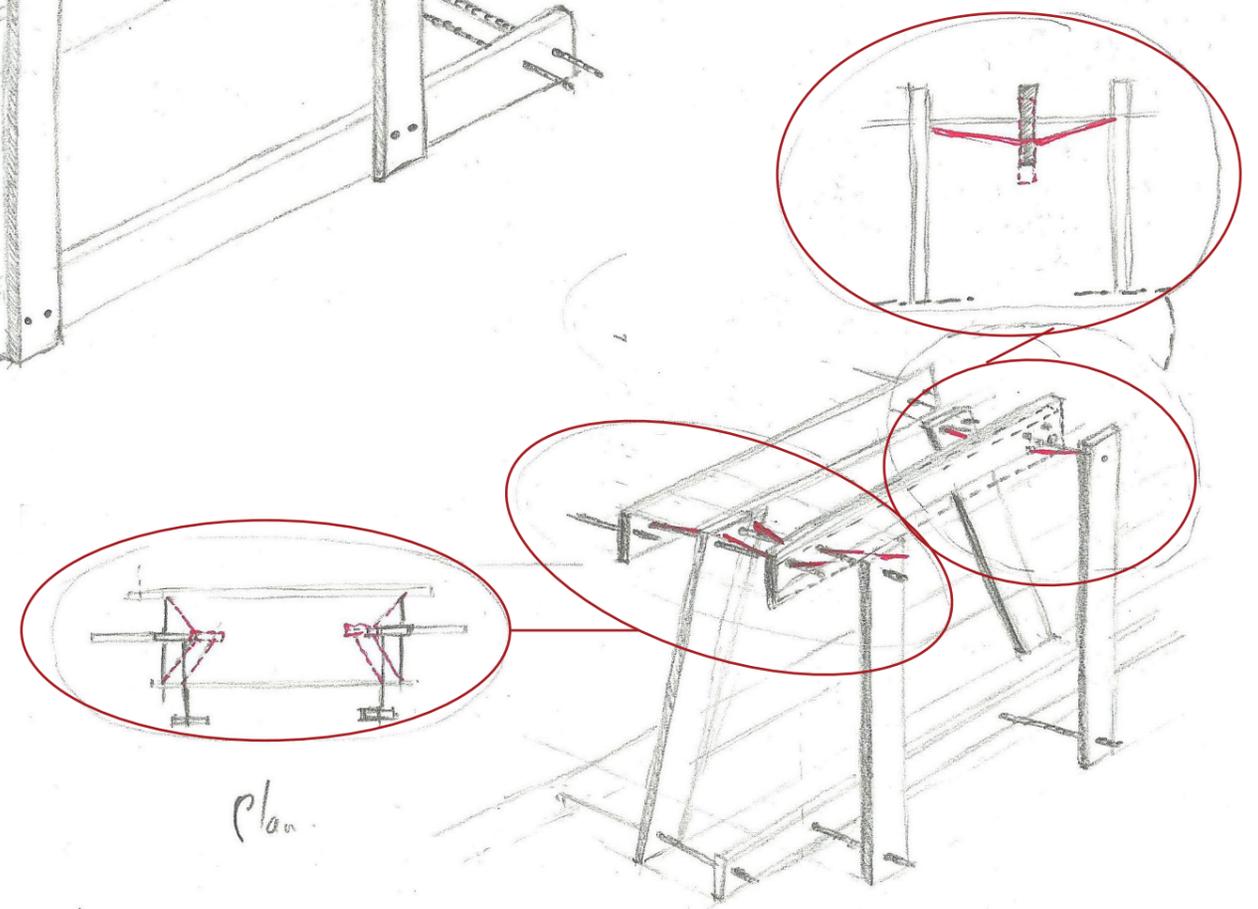
Croquis de principe de Structure -optimale-
(Optimisée pour limiter les efforts de Flexion
et n'induire ainsi que des efforts de Cisaillement)

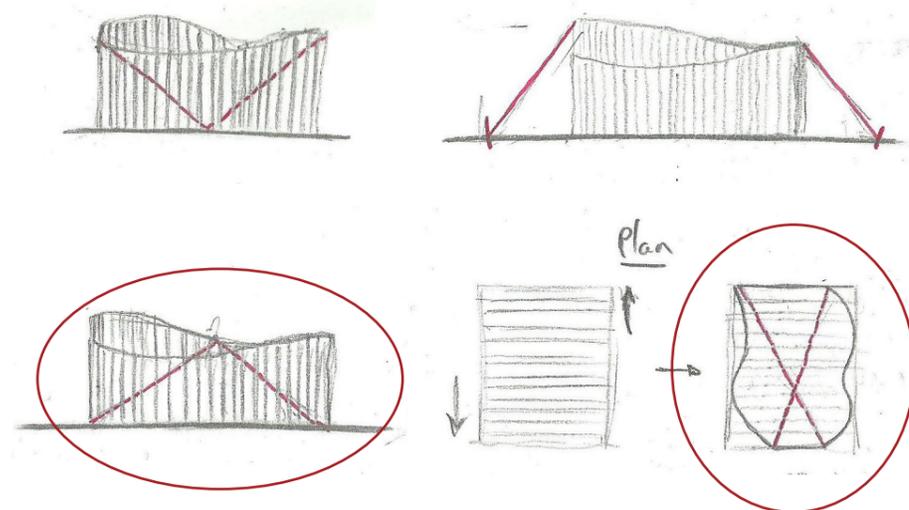


Croquis de principe d'assemblage
Blocage de chaque liaison par 2 axes
(Tiges filetées boulonnées)



Croquis de principe de Structure -retenue-
(Mise en évidence des efforts de Flexion ainsi générés)



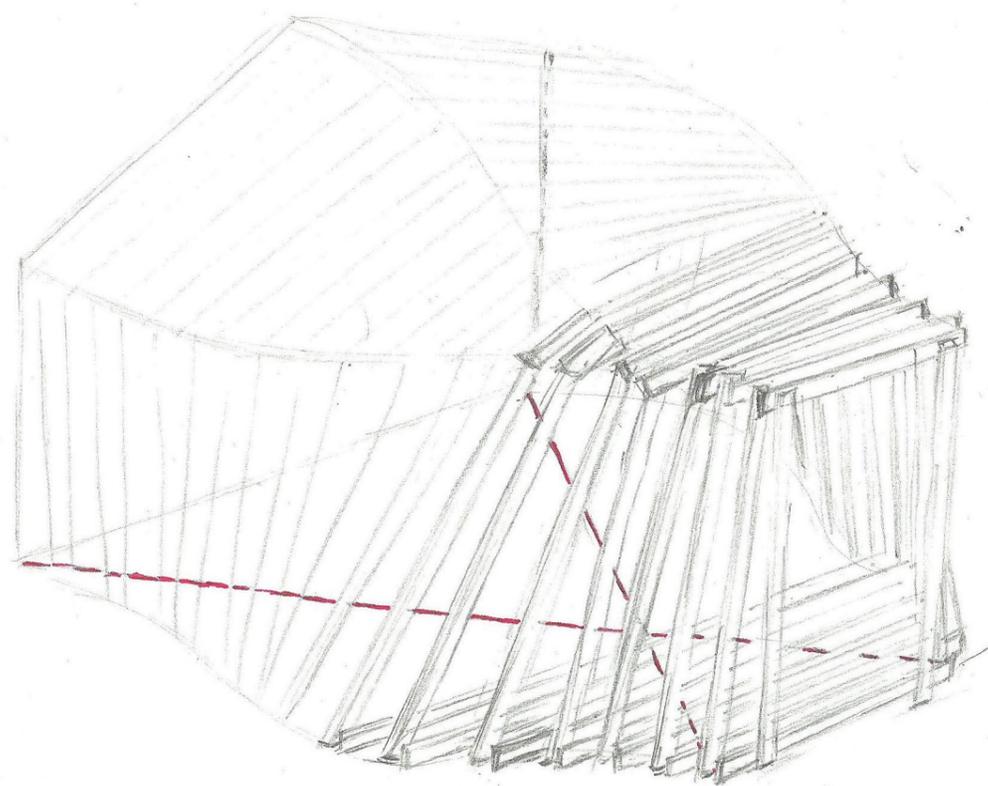


Principes structurels

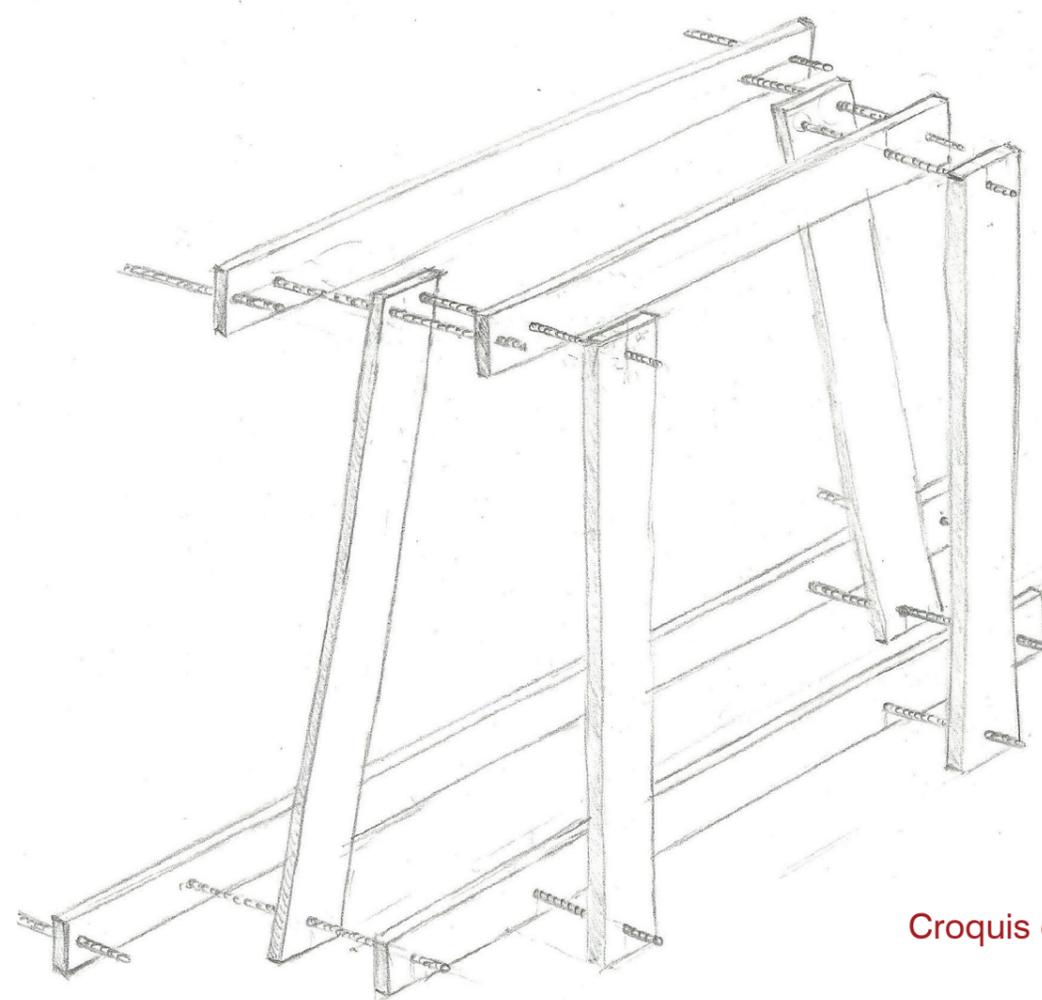
Entre Optimisation Structurelle et Conception harmonieuse

Comme précisé en page précédente, l'on a préféré une disposition en quinconce de nos "Cadres", impliquant certes des efforts en Flexion aux Tiges Filetées mais permettant un dédoublement plus harmonieux et plus fluide de l'enfilade ondulatoire des "Cadres". (Et permettant également de faire face à certaines difficultés de mise en oeuvre ainsi qu'à la quantité limitée de matériaux à disposition).

Le contreventement bas (Nécessaire car la Structure n'est pas solidaire du Sol) et vertical, quant à eux, seraient préférentiellement réalisés par un Platelage en OSB par panneaux par exemple, ou encore, dans un souci d'économie budgétaire, par des Tirants en Câbles d'Acier Galvanisé (A l'intérieur même de la Structure afin de pas en augmenter l'emprise - Voir croquis).

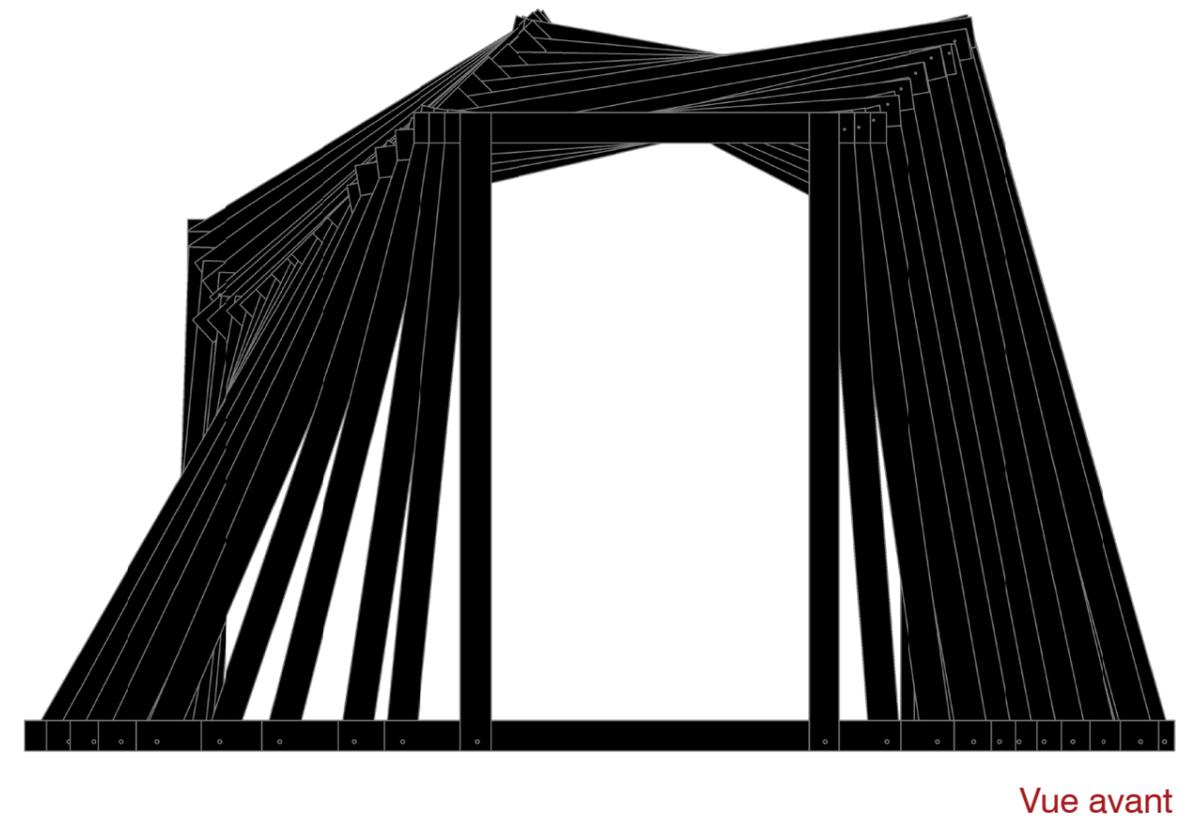
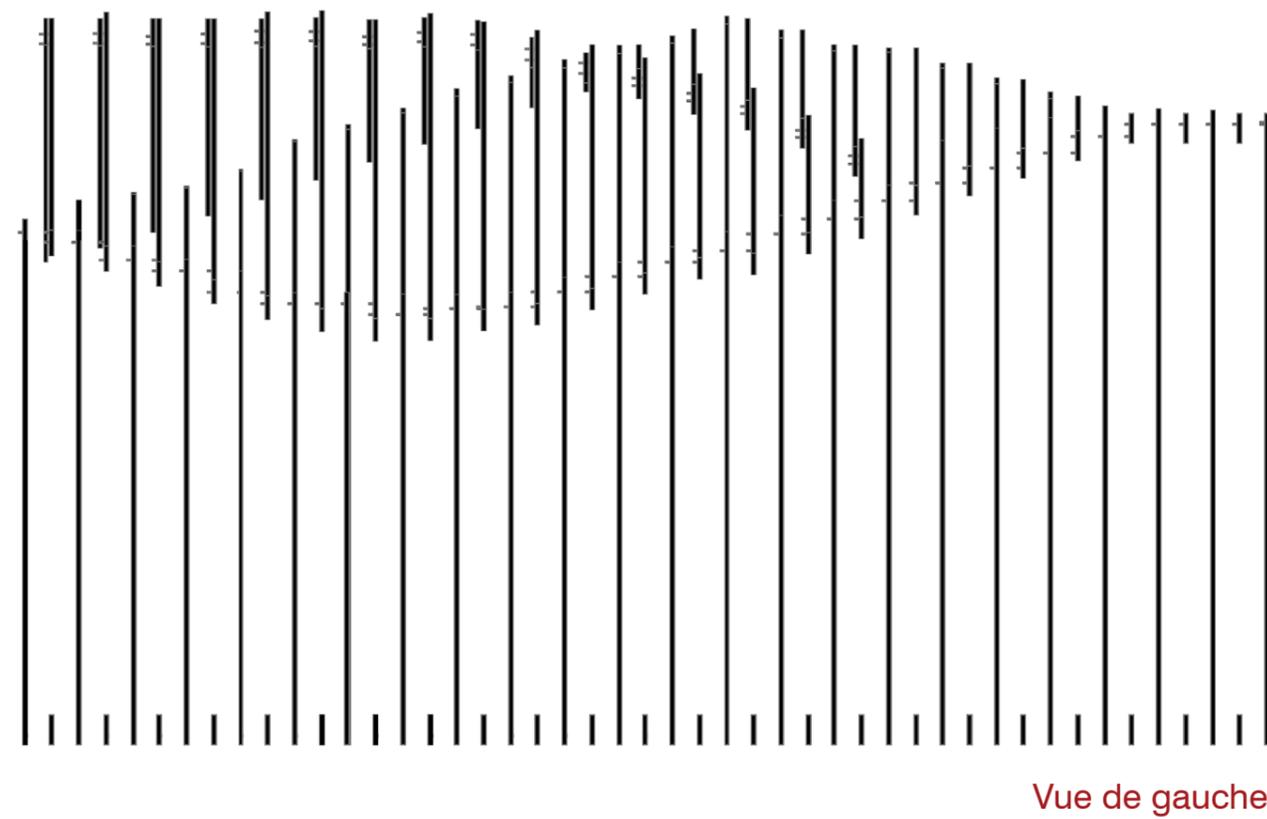
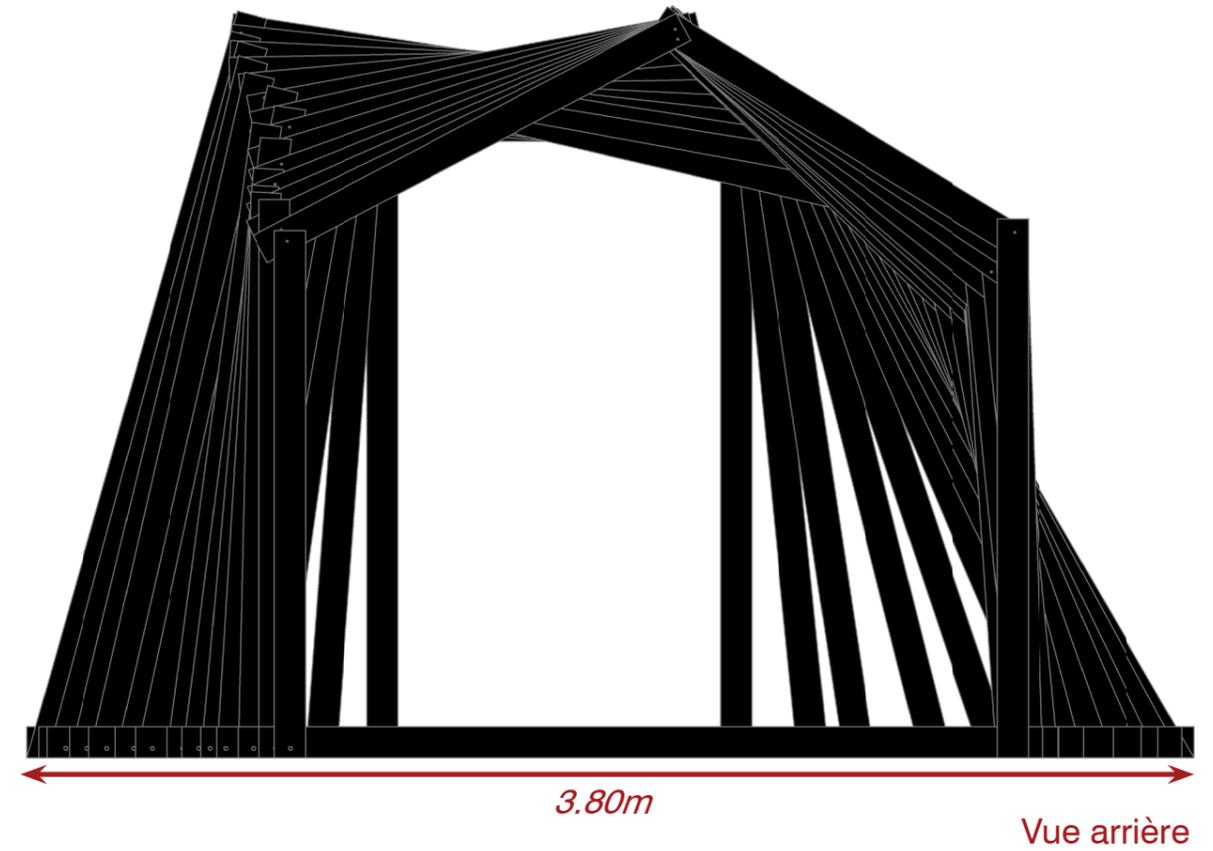
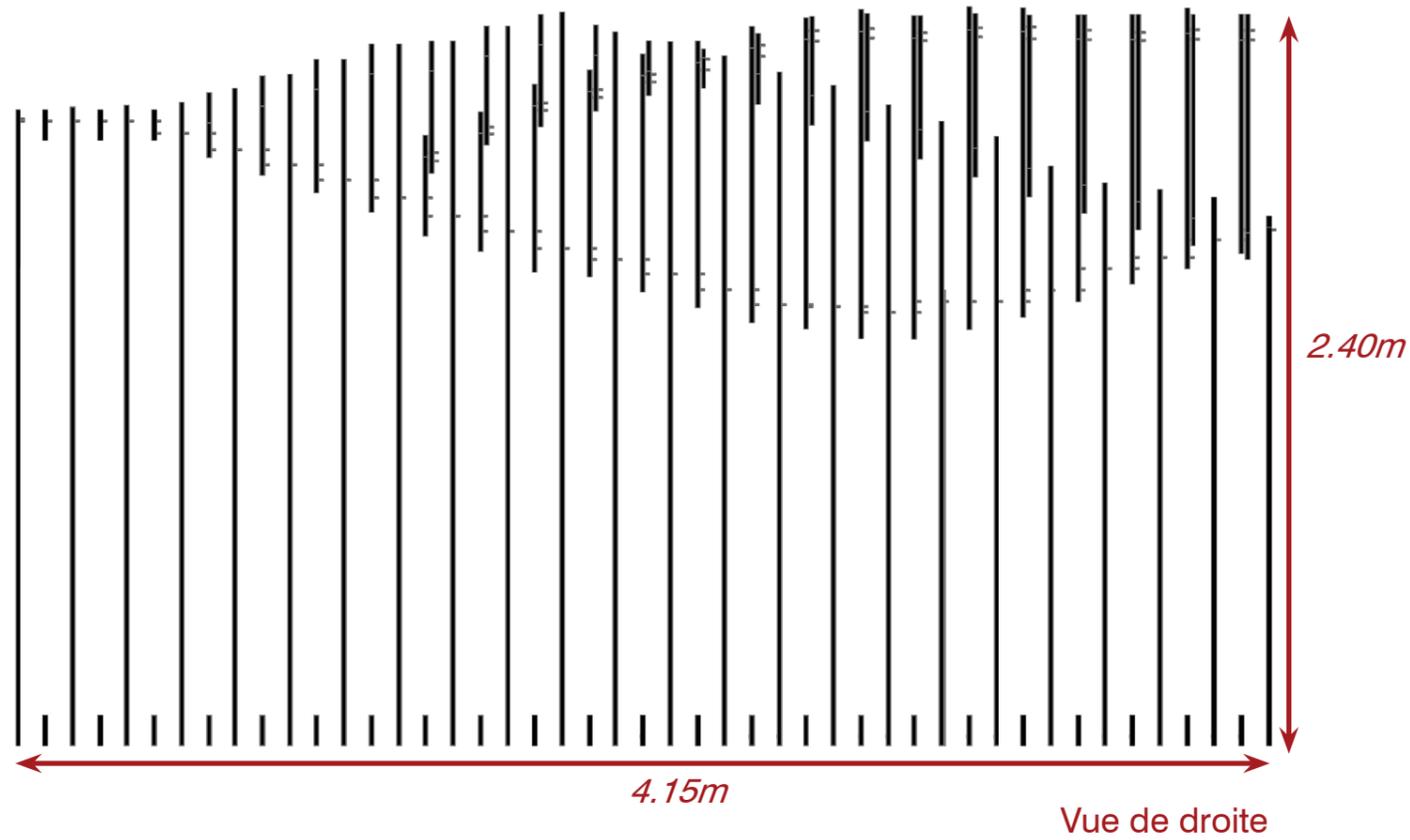


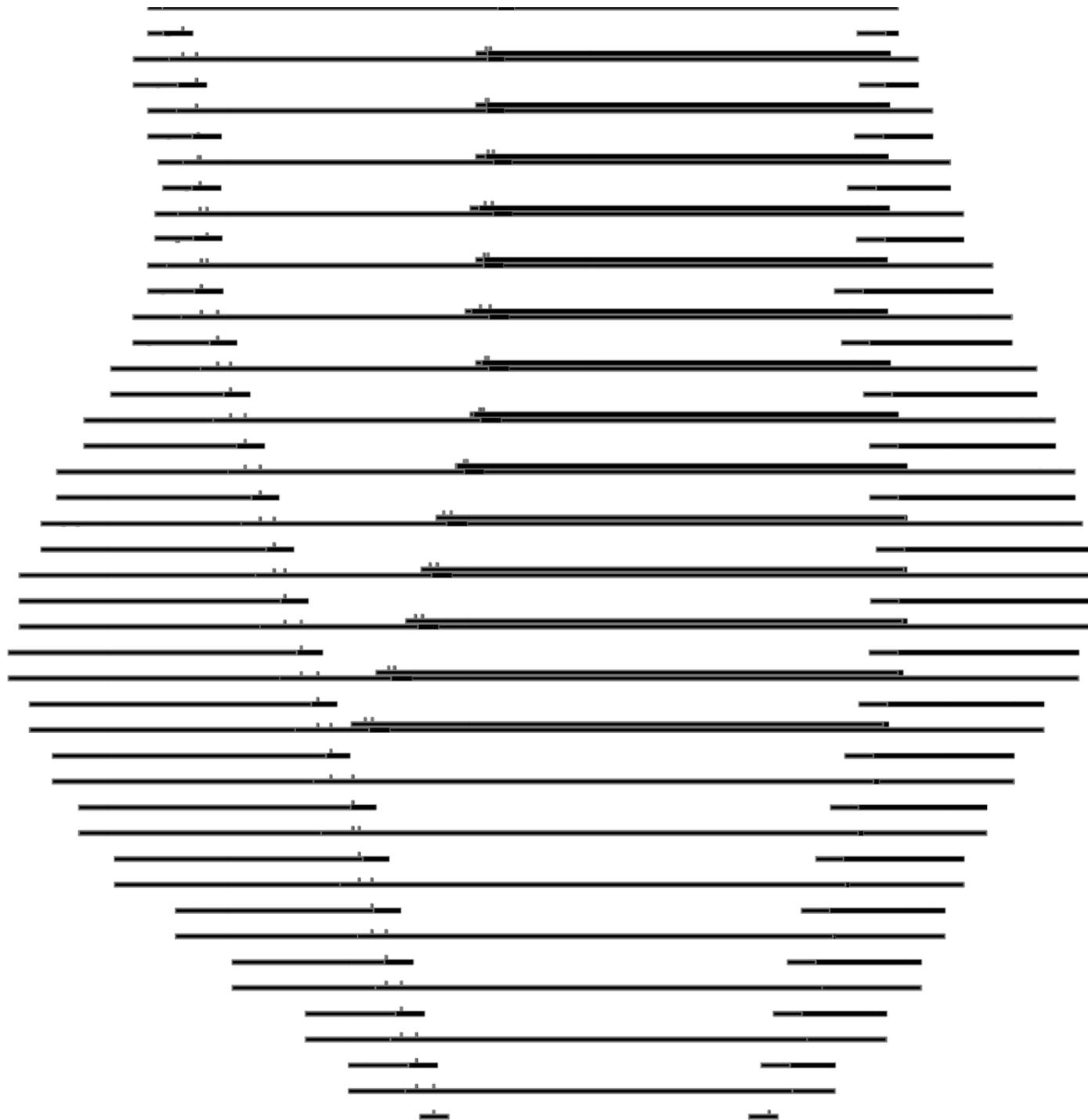
Croquis de dispositifs de contreventement
(Appliqués à la Structure dans son ensemble)



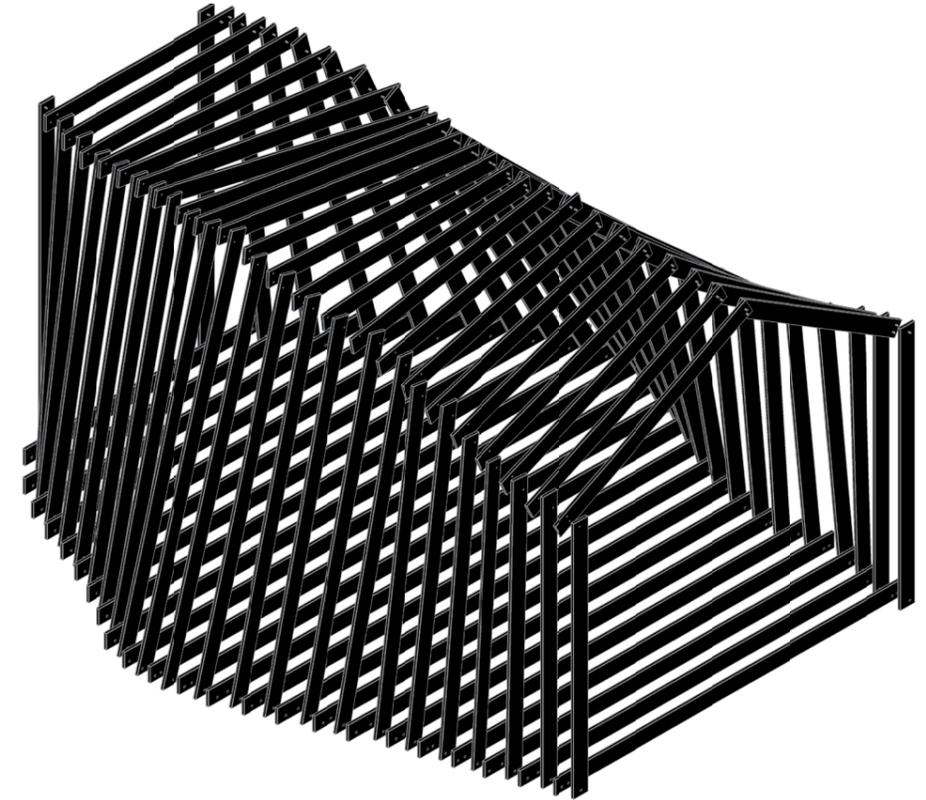
Croquis de principe de Structure
(Principe retenu)

E.N.S.A.P.L.V. - M1/S7 - Cours de Yves MAHIEU - Construction/structure - Hiver 2012-2013

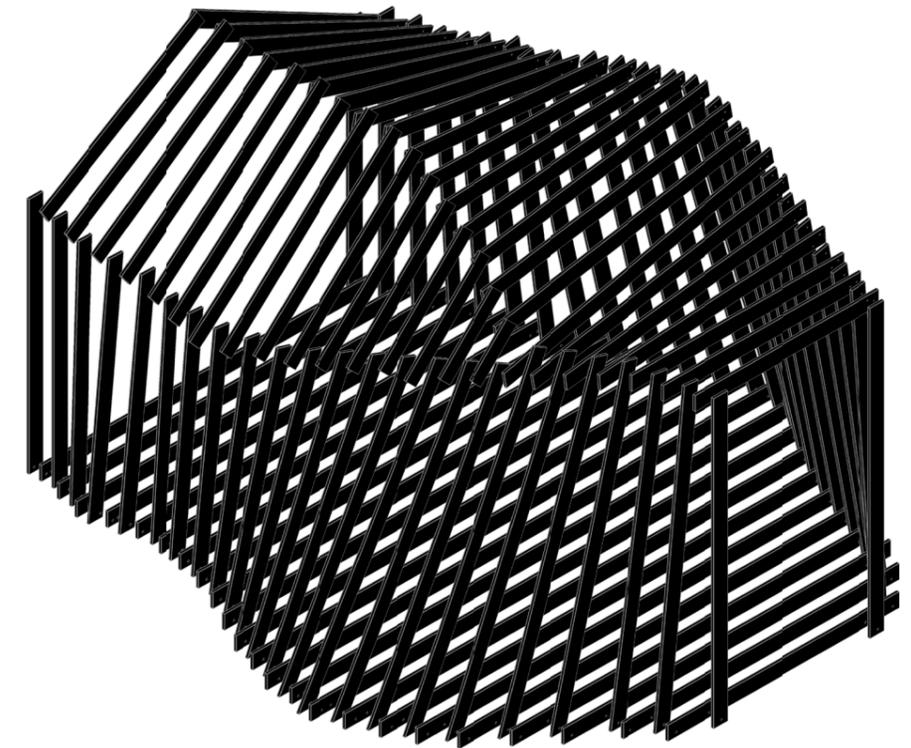




Vue en Plan

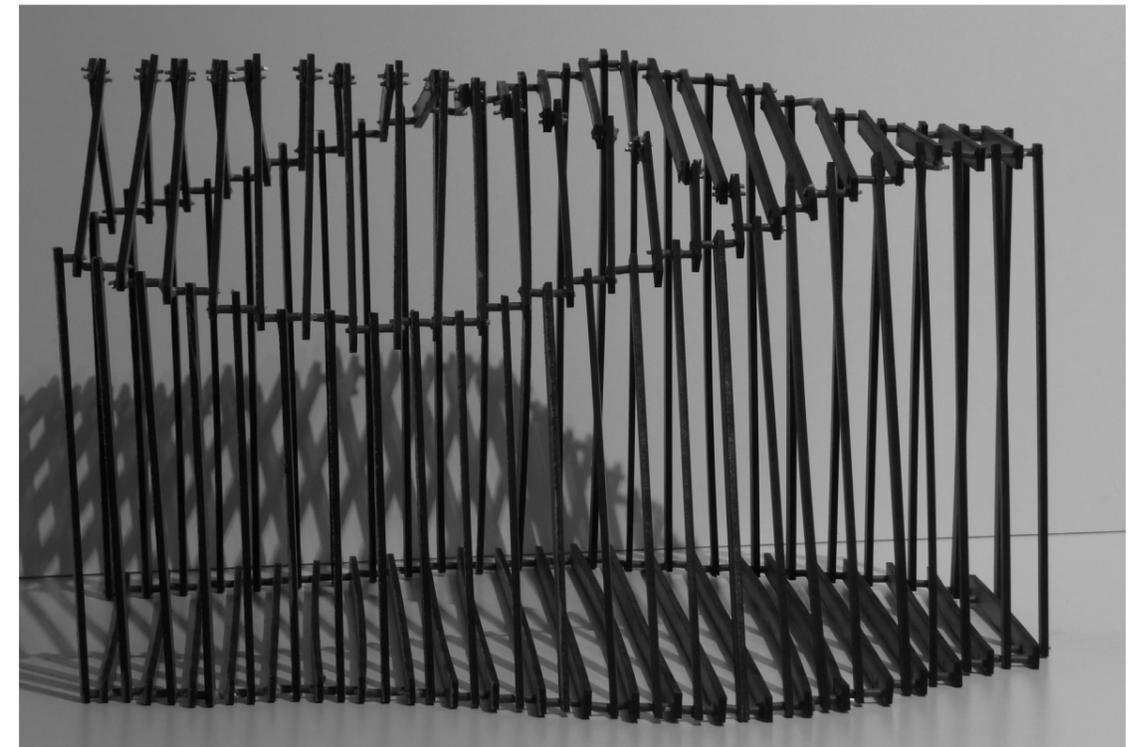
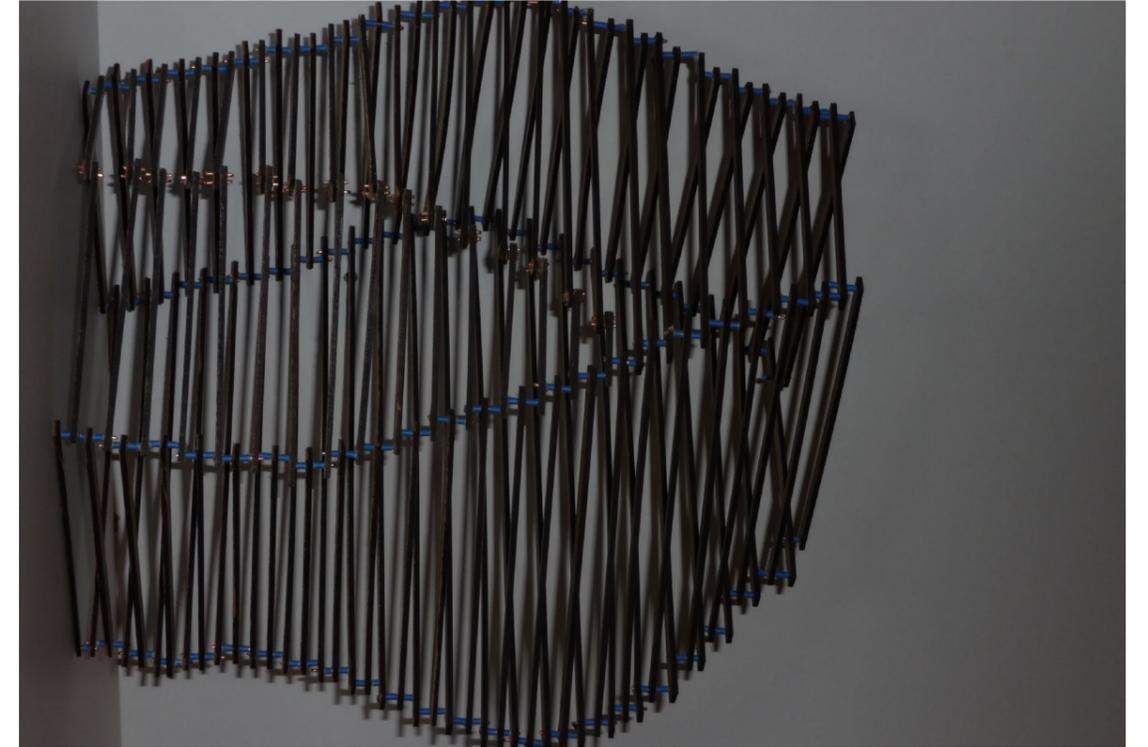


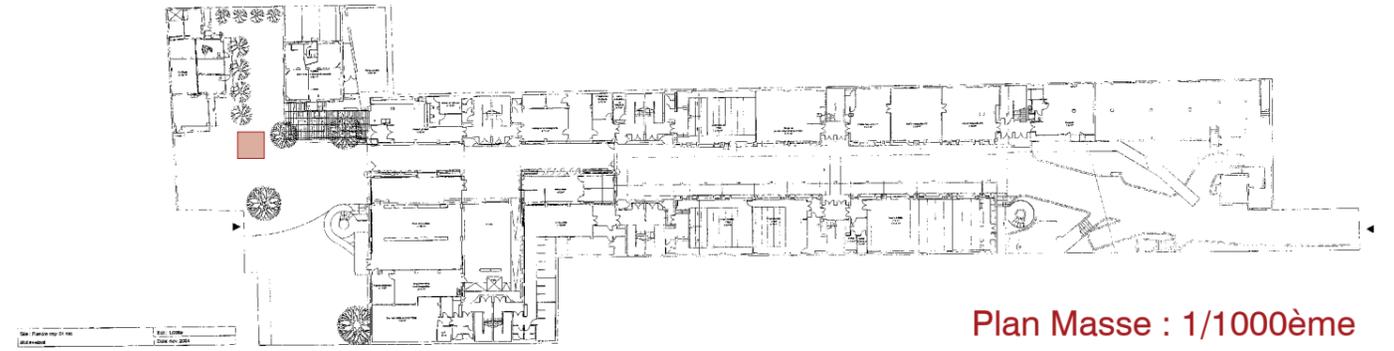
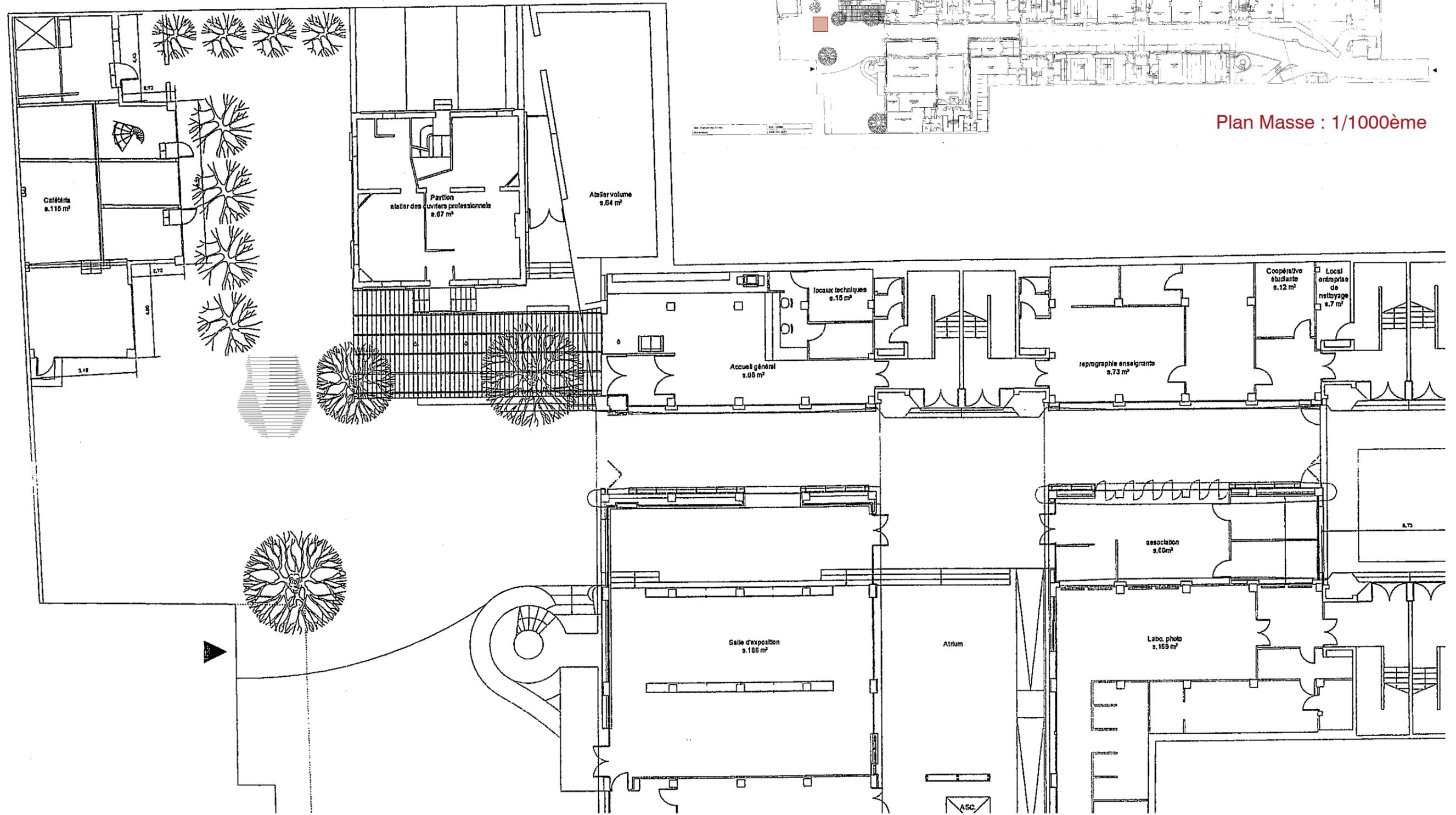
Isométrie arrière



Isométrie avant







Plan : 1/200ème



Matériaux

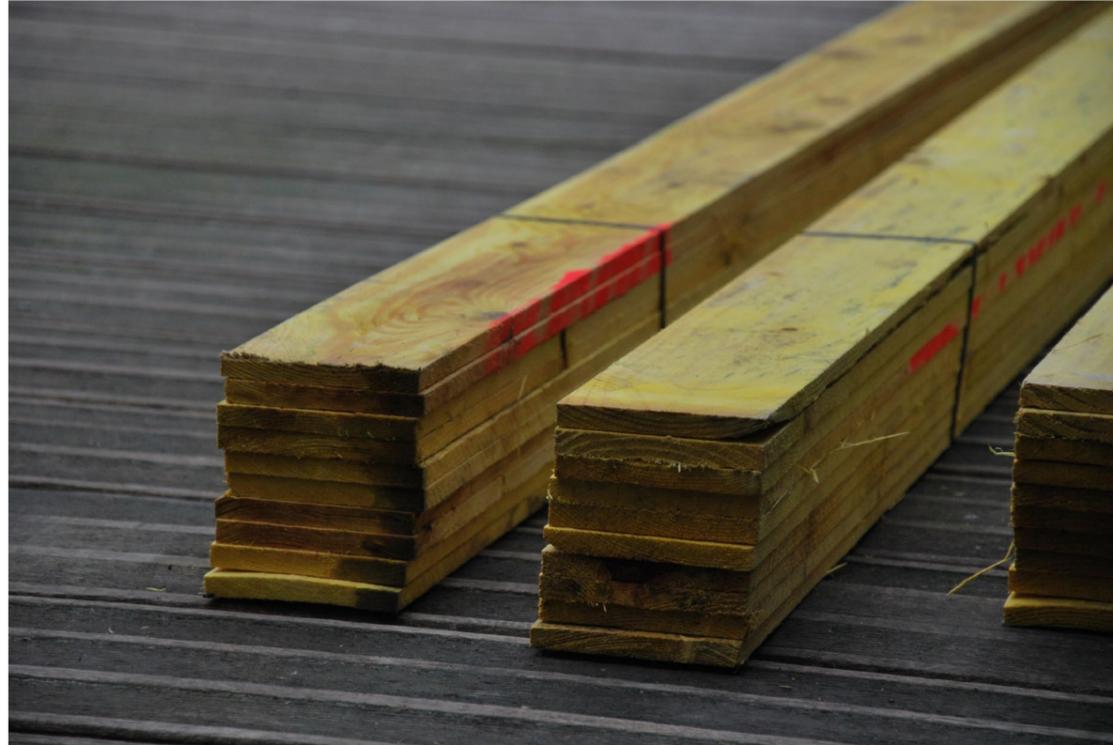
1.
Planches Sapin
(10.0 x 1.05cm x 4.0m?)

Le Bois nous paraissait être le plus esthétique et le plus accessible en ce qui concerne la mise en oeuvre. Cependant, un Bois plus dense voire plus épais aurait permis une moins grande élasticité de l'ensemble, mais notre budget ne nous le permettait pas.

2.
Tiges Filetées Acier (diam 6.0mm x 1.0m). Leur faible section permet de compenser les aléas du montage mais rend la Structure trop élastique.

3.
Ecrus Hexagonaux + Rondelles plates Acier

4.
Câble Acier Galvanisé (diam 0.9mm)
(Une section plus grande aurait été la bienvenue)



Amorce

1 Rappatriement du matériel sur place, avec sa répartition par poste de travail (Atelier tracés et perçage des planches / Atelier découpe des planches et tiges filetées / Atelier numérique pour la capture Photo/Vidéo / Espace stockage outillage)

2 Atelier de découpe des tiges filetées, tronçons de 21cm.

3 Démarrage du prototype, installation du premier "Cadre" antifuniculaire. Ici, la structure est rotulée et demande un encastrement. Les 2 tables permettent d'assurer la stabilité lors du montage. Le blocage par contreventement de la structure inachevée s'est réalisée par un cordage noué autour des planches verticales et du support (Tables).

4 Installation du 2ème antifuniculaire, par boulonnement des planches et liaison par tige filetée.



Montage

La progression lors du montage a permis de constater la faiblesse de la Structure, tant que celle-ci n'était pas achevée. L'exercice a consisté de ce fait, à supporter la Structure au fur et à mesure de l'avancement : 1. De "Cadre" à "Cadre" et 2. en venant supporter et stabiliser, grâce à des étaie-ments divers (Etais de chantier, planches afin de trianguler aux points de faiblesse).

Un cordage supplémentaire est visible sur la photographie 4. Il maintient la verticalité des portiques. En effet, le prototype n'a retrouvé sa stabilité qu'après un réglage minutieux des écar-tements (70 mm) entre les planches, par l'intermédiaire des boulonnements sur les tiges filetées.



Ateliers

1 Boulonnage et ajustement.

2 Etalement de la Structure et Ateliers nocturnes.

3 Mise en place de feuilles agraffées avec emplacement des percements à réaliser (A l'échelle 1:1 suivant Carnet de Montage édité au préalable).

Puis incrustation des tiges filetées dans chaque Planche et pré-boulonnage.

4 Sciage des éléments en excès en ce qui concerne les liaisons non jointes au "Cadre" précédent ou suivant.



Finitions

1 Mise en place d'un des derniers "Cadres".

2 Mise en place d'un passage en Plate-lage vissé, fait à partir du reste de Bois que nous avons, et avec comme support des Palettes de récupération.

3 Le sol étant irrégulier, les tiges filetées ont dû encaisser de grosses déformations, malgré l'installation de cales de Bois.

4 Tressage du Câble Acier Galvanisé car étant trop fin et trop fragile. (Voir "Matériaux" p.11).







Vue avant



Vue de droite



Vue de gauche



Vue arrière



Détails

Fixation des portiques un à un. Les tiges filetées traversent une planche, et viennent se fixer à leurs extrémités, aux 2 voisines. Ce schéma répété sur l'ensemble de la structure, permet un assemblage monobloc.

Ici, la faible section des tiges -pensée initialement comme un danger pour la rigidité de la structure- s'avère être un précieux atout, car cela confère à la Structure une certaine élasticité/flexibilité ; ainsi, ceci offre une tolérance compensant les écarts dus aux aléas de mise en oeuvre. L'installation du câble -torsadé pour parvenir à une plus grande résistance à la traction-, bloque la Structure dans l'espace, grâce au principe de croix de St-André. Fixé en 3 points - 2 en pied et 1 au sommet-, ce câble empêche toute déformation longitudinale.

