



HAL
open science

Flabellum

Maxime Bailly, Anaïs Dechamps, Quentin Debarbouille, Emmanuel Duval,
Maud Frys

► **To cite this version:**

Maxime Bailly, Anaïs Dechamps, Quentin Debarbouille, Emmanuel Duval, Maud Frys. Flabellum. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2012. hal-01873333

HAL Id: hal-01873333

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01873333>

Submitted on 13 Sep 2018

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.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

flabellum



Architectes

Bailly Maxime

Dechamps Anaïs

Ingénieurs

Debarbouille Quentin

Duval Emmanuel

Frys Maud

SOMMAIRE

- PARTIE 1 - NOTICE ARCHITECTURALE	2
1. UNE ARCHITECTURE DEPLOYABLE	2
2. UNE STRUCTURE EVENTAIL	3
3. DES AMBIANCES DE SPECTACLE	4
4. UNE ACOUSTIQUE DE QUALITE	6
- PARTIE 2 - MONTAGE DE LA STRUCTURE	9
1. DIAPHRAGME ET MISE A NIVEAU	9
2. SCENE & GRADINS.....	9
2.1. Scène.....	10
2.2. Gradins.....	10
3. PORTIQUES ET PANNEAUX DE TOITURE.....	12
3.1. Construction des portiques.....	12
3.2. Erection de la structure et mise en place des panneaux de toiture.....	14
4. ENTREE.....	18
5. BACHES LATERALES.....	19
6. PANNEAUX ACOUSTIQUES.....	19
7. PLANCHER.....	20
8. VARIANTE ETE.....	20
- PARTIE 3 - ETUDE NEIGE ET VENT	22
1. NORMES CTS	22
1.1. Résistance au vent et à la neige.....	22
2. ETUDE DE LA NEIGE.....	22
2.1. Hypothèses de calcul.....	22
2.2. S_n Action normale sur la toiture.....	22
3. ETUDE DU VENT	23
3.1. Modélisation du bâtiment.....	23
3.2. Détermination de la pression du vent en vitesse de pointe (calcul).....	23
3.3. Coefficients de pression extérieure sur les parois verticales.....	24
3.3.1. Coefficients de pression extérieur sur les parois verticales.....	24
3.3.2. Coefficient de pression extérieure sur la toiture.....	26
3.3.3. Résumé des coefficients de pression extérieur à appliquer.....	27
- PARTIE 4 - DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BOIS.....	29
1. HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT.....	29
1.1. Composition de la toiture.....	29
1.2. Charges appliquées.....	29
2. DIMENSIONNEMENT DES PORTIQUES.....	30
2.1. Pannes.....	30
2.2. Poteaux.....	30
2.3. Liens.....	31
2.4. Contreventement.....	31
- PARTIE 5 - DIMENSIONNEMENT DES GRADINS	33
1. HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT.....	33
1.1. Composition.....	33
1.2. Charges variables.....	33
2. DIMENSIONNEMENT.....	33
2.1 Sommier.....	33
2.1. Poteaux.....	34
2.1.1. Poteaux mur extérieur.....	34
2.1.2. Poteau mur intérieur.....	34
- PARTIE 6 - ETUDE DE PRIX.....	36

- PARTIE 1 - NOTICE ARCHITECTURALE

1. UNE ARCHITECTURE DEPLOYABLE

Les intentions de notre travail s'attachent à développer une architecture déployable. En effet, le principe du déploiement est une réponse aux nombreuses contraintes issues du programme. Ce concept architectural possède plusieurs qualités, notamment esthétiques et pratiques, en regard du montage/démontage/transport du projet :

- La concentration des efforts permet d'avoir moins d'appuis au sol.
- Le montage au sol est possible (confort et rapidité).
- L'esthétique est originale et élégante.

La démarche s'inspire également de références matérialisant ce principe. L'image de l'éventail reflète cette volonté. L'analogie devient réelle puisque « flabellum » est la traduction latine de ce dernier. L'idée est donc de créer une structure articulée qui se déploie au fur et à mesure de son montage.



2. UNE STRUCTURE EVENTAIL

Toujours dans cette même optique de répondre aux différentes attentes du maître d'ouvrage, l'idée est donc de concevoir une forme simple s'adaptant au programme, à ses contraintes et au principe structurel choisi.

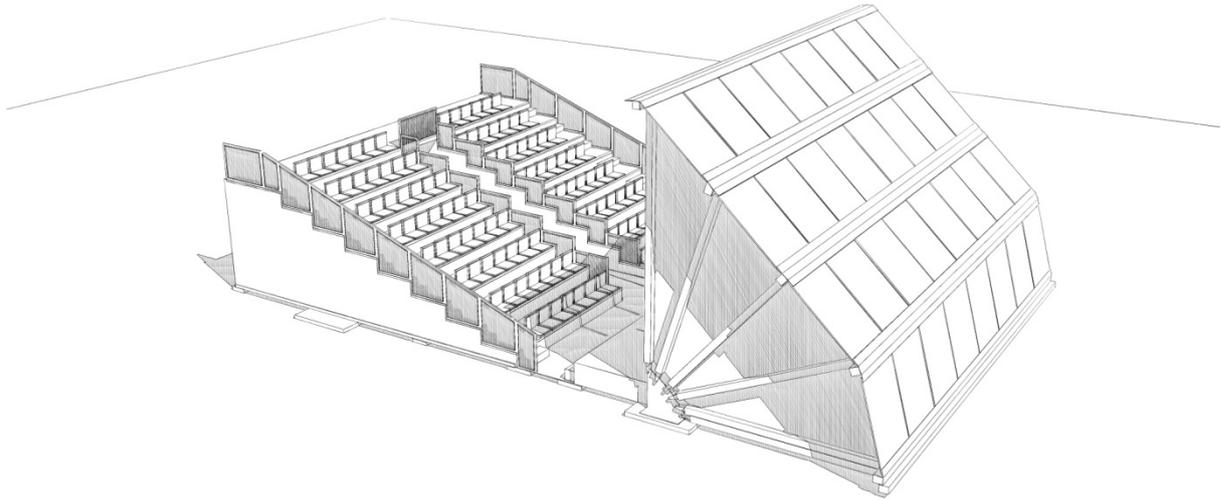
Dès lors, on retrouve une structure composée d'éléments semblables (portiques similaires, panneaux identiques, système de montage répétitif) formant un ensemble homogène. La base du bâtiment est rectangulaire se dissociant volumétriquement par une hauteur plus conséquente au niveau des gradins et décroissante jusqu'à la scène. Cette géométrie permet également un écoulement des eaux pluviales en toiture et une acoustique de la salle de qualité.

Deux structures en éventail composées d'éléments d'ossature sont positionnées de part et d'autre de la salle. Elles sont reliées entre elles par des pannes et forment alors des portiques. Ils assurent la mécanique du projet et s'articulent sur des ferrures. Le contreventement et la couverture se font par des panneaux en bois recouvert d'une protection étanche (voir notice technique). Par ailleurs la forme de l'ensemble se distingue par un auvent à l'entrée de la salle. En effet, la rupture de la continuité de la couverture jusqu'au sol participe à la mise en valeur de l'entrée et à l'élégance du projet.



Flabellum vue d'ensemble

Il est important de noter également que le projet dispose d'une qualité non négligeable, à savoir son adaptabilité formelle. En effet, suivant les conditions météorologiques et le type de spectacle, il est possible que la « structure éventail » ne se déploie seulement que sur une partie de la salle. La forme du projet devient donc évolutive suivant les besoins.



Flabellum avec un seul éventail pour les représentations estivales

3. DES AMBIANCES DE SPECTACLE

L'apparence extérieure du bâtiment est rythmée par le déploiement de l'ossature en bois. Elle est visible de l'extérieure et accentuée en profondeur par l'épaulement des portiques. Des soufflets en bâche sont fixés à l'ossature et assurent l'étanchéité latérale par recouvrement velcro. Un contraste de matière entre les portiques et la bâche participe alors à la mise en valeur des éléments structurels.

L'auvent créé par le premier portique met en évidence l'espace d'entrée. Il permet également un accueil confortable du public les soirs de représentation.

L'espace intérieur est à la fois fonctionnel et ergonomique. L'ambiance apparaît chaleureuse et se distingue par l'emploi du matériau bois (plafond, gradins, scène, plancher).



Gradins et entrée de Flabellum

L'espace s'organise en trois parties distinctes :

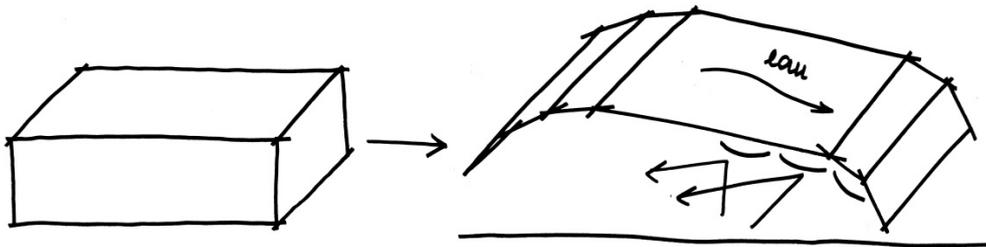
- La circulation : l'allée centrale conduit le spectateur aux gradins. L'accès aux places assises se fait par des escaliers latéraux.
- Les gradins : 112 places assises auxquelles vient s'ajouter la régie (entre les deux gradins du dernier rang). Des places handicapées sont aménageables.
- La scène : une espace scénique généreux de 60 m², idéal pour les représentations. Il est légèrement surélevé pour une meilleure vision.

4. UNE ACOUSTIQUE DE QUALITE

Le projet prend la forme d'une boîte rectangulaire améliorée.

Shoebox

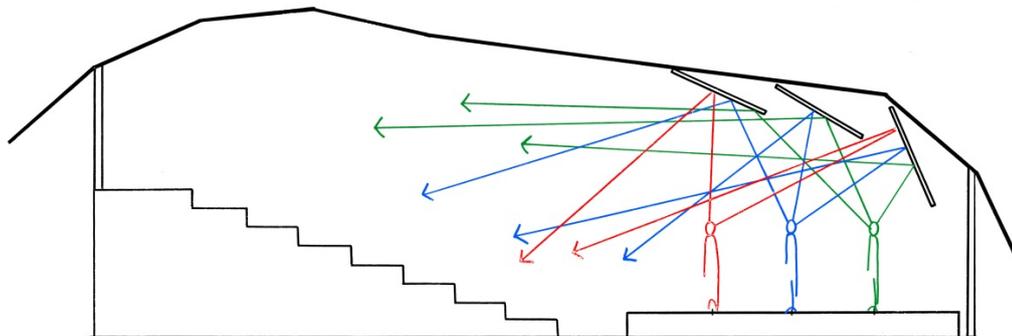
La « shoebox » est une enveloppe reconnue efficace en acoustique dans le domaine du spectacle. Nous la retrouvons ici agrémentée de pans coupés orientés selon les axes de rotations des deux éventails. Cependant, si la forme concave est idéale de l'extérieur pour l'écoulement de l'eau, une bonne diffusion du son à l'intérieur suppose des surfaces convexes.



Shoebox et écoulement des eaux pluviales

Réflexion

Côté scène, des plans diffuseurs sont fixés sur les panneaux de couverture afin d'optimiser la diffusion du son dans les gradins depuis la scène. Leur positionnement est calculé selon trois hypothèses de positionnement sur scène (fond, milieu, avant) et pour que les sons issus d'une première réflexion arrivent à tous les niveaux des gradins.



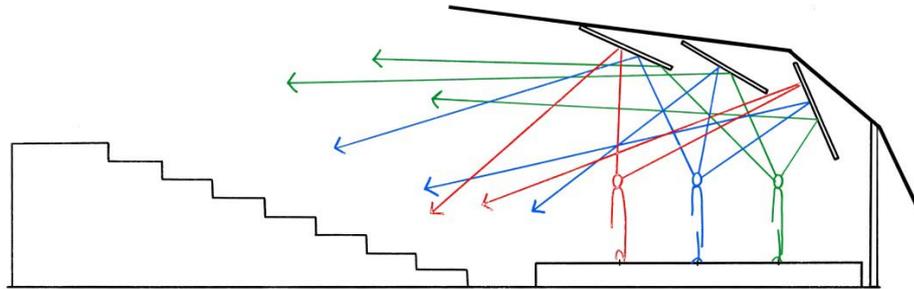
Réflexion du son par les plans diffuseurs

Absorption

Les réflexions secondaires sont évitées par un traitement absorbant des gradins. Les contremarches et la structure latérales des gradins sont constituées de panneaux de bois perforés. Les sièges sont recouverts d'un rembourrage épais en mousse afin que tout siège inoccupé soit aussi absorbant qu'un siège occupé. Sur les côtés, la bâche fait office d'absorbeur basses fréquences.

Acoustique modulable

Lorsque la météo est favorable, il est laissé libre aux intervenants de ne monter que l'éventail de la scène. Cette disposition originale propose une tout aussi bonne acoustique du fait des panneaux diffuseurs surplombant la scène et de l'absence de résonance au-dessus des gradins.



Réflexion du son par les plans diffuseurs en configuration été

Calcul du temps de réverbération

Le temps de réverbération est un indicateur de la qualité acoustique des espaces publics notamment dans le domaine du spectacle. Un faible temps de réverbération ($T < 1s$) permet d'obtenir de l'intelligibilité à faible distance et un confort de parole et d'écoute. Il se mesure de façon empirique grâce à la Formule de Sabine donnée ci-dessous :

$$T_{(f)} = (0,16 * V) / A_{(f)}$$

Avec :

$T_{(f)}$: temps de réverbération pour la bande de fréquence f [s]

V : Volume de la salle en m^3

$V = 620 m^3$ env.

$A_{(f)}$: Aire d'absorption équivalente (m^2) en fonction de la bande de fréquence f

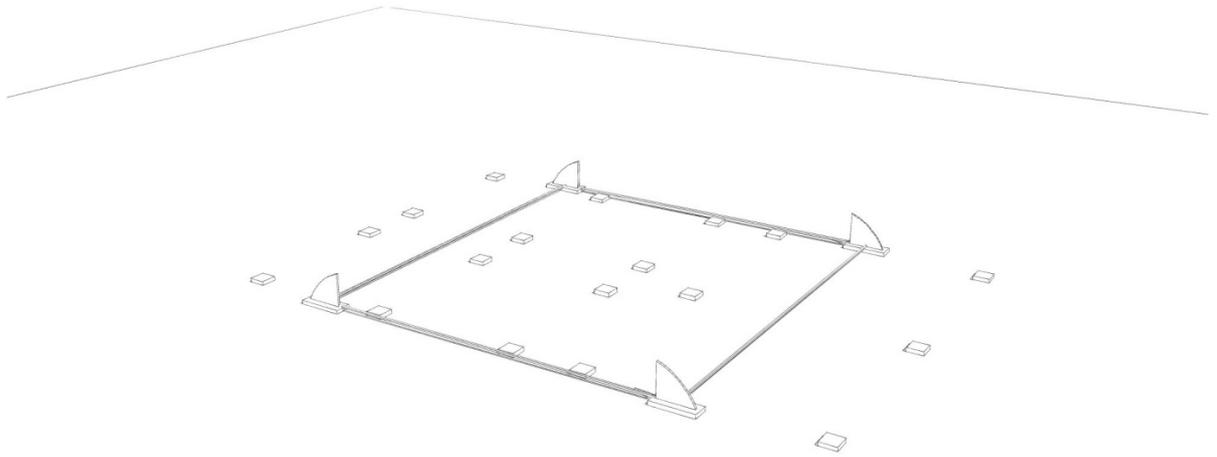
$$A_{(f)} = \sum \alpha_i \times S_i$$

Matériaux	Surface (m ²)	α sabine						α x S					
		Fréquences centrales d'octaves (Hz)											
		125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
Couverture + fond scène - contreplaqué 20mm	env. 180	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,07	7,2	9	10,8	12,6	10,8	12,6
Scène + plancher gradin	env. 117	0,25	0,15	0,15	0,10	0,07	0,05	29,3	17,6	17,6	11,7	8,2	5,9
Bâche	134	0,45	0,40	0,32	0,20	0,15	0,10	60,3	53,6	42,9	26,8	20,1	13,4
Fond gradins - Mur ossature rainuré	env. 20	0,26	0,72	0,54	0,42	0,63	0,51	5,2	14,4	10,8	8,4	12,6	10,2
Gradins : côtés + contremarches - panneaux bois perforés	env. 53	0,20	0,80	0,95	0,55	0,50	0,35	10,6	42,4	50,4	29,2	26,5	18,6
Sièges + rembourrage épais ou sièges occupés	env. 36	0,44	0,54	0,60	0,62	0,58	0,50	15,8	19,4	21,6	22,3	20,9	18
	env. 40	0,60	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85	24	29,6	35,2	38,4	37,2	34

A _(f)		1 52, 4	1 86	1 89, 3	1 49, 4	1 36, 3	1 12, 7
T _(f) en secondes		0 ,65	0 ,53	0 ,52	0 ,66	0 ,73	0 ,88

- PARTIE 2 - MONTAGE DE LA STRUCTURE

1. DIAPHRAGME ET MISE A NIVEAU

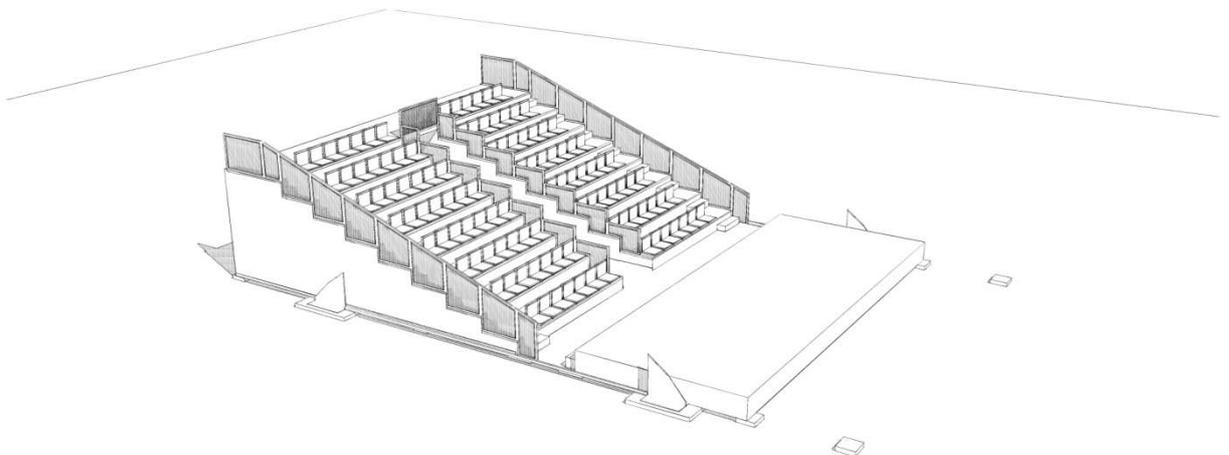


Diaphragme et points de niveau

La première étape du montage de Flabellum consiste à régler 16 points de niveau à différents endroits de la structure. Ce premier réglage est primordial. De sa finesse dépendra le bon déroulement du montage de toute la structure. Un réglage approximatif des points de niveau pourrait entraîner des jeux importants en tête de poteau, pouvant nécessiter un démontage et une réinitialisation de la construction. Les points de niveaux sont réalisés par des calages grâce à des éléments de différentes tailles. Leurs positions dans l'espace sont indiquées par 2 points et une diagonale sur le plan. Une lunette laser est indispensable.

Sur 4 de ces 16 points viennent reposer les ferrures de pieds, articulation principale du bâtiment. De ces ferrures de pieds partent des tubes métalliques, permettant de réaliser un diaphragme rigide.

2. SCENE & GRADINS



Scène et gradins

2.1. Scène

La deuxième étape du montage de Flabellum consiste à monter la scène. Il s'agit d'une structure constituée de 4 treillis en bois. Ces treillis sont assemblés entre eux. Viennent ensuite s'ajouter des solives de plancher par queues d'arondes métalliques. Enfin, il s'agit de placer les panneaux de contre-plaqué constituant le plancher. Ces panneaux sont assemblés par un système d'oeillet sur les solives de plancher. Notons que la partie la plus reculée de la scène sera montée suivant le même principe à l'issue de la construction de Flabellum, dans le but de libérer un espace nécessaire à l'érection de la structure.



Treillis et panneaux de la scène

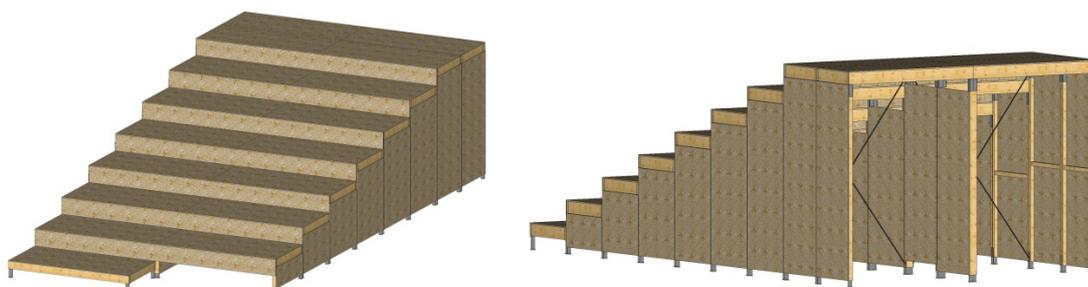
2.2. Gradins

Les gradins sont composés principalement de deux parties, d'un plateau horizontal (70 kg) où des sièges pliables sont fixés en permanence et d'éléments verticaux formés de panneaux associés à des poteaux (30 kg). Ces deux éléments s'assemblent par des connexions métalliques fixées en permanence sur les plateaux.

Les gradins reposent sur trois glissières en acier préalablement installées sur des points de niveau régler à l'étape 1. Les glissières contiennent des arrêts à chaque emplacement des pieds de poteau pour permettre une fixation au niveau des ferrures de pied et pour définir l'emplacement de chaque rangée des gradins.

Le montage s'effectue en premier lieu par la fixation des éléments verticaux, puis par la mise en place du plateau horizontal. L'installation débute par l'élément le plus petit pour permettre la mise en œuvre du contreventement mais aussi d'utiliser le gradin comme tréteau pour placer les plateaux des éléments suivants. Les différents niveaux de gradins sont rendus solidaires entre eux par une fixation de type sauterelle au niveau des poteaux. Le contreventement de la structure est assuré par des tirants métalliques.

Les garde-corps sont ajoutés en cours de montage. Des places handicapées sont aménageables au niveau le plus bas.



Vue d'ensemble de la tribune montée



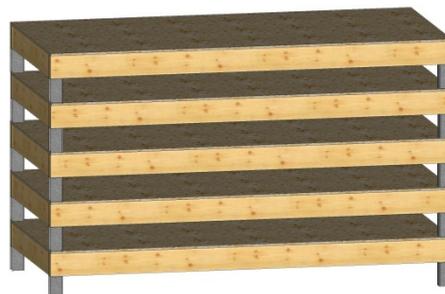
Plateau horizontal



Élément vertical

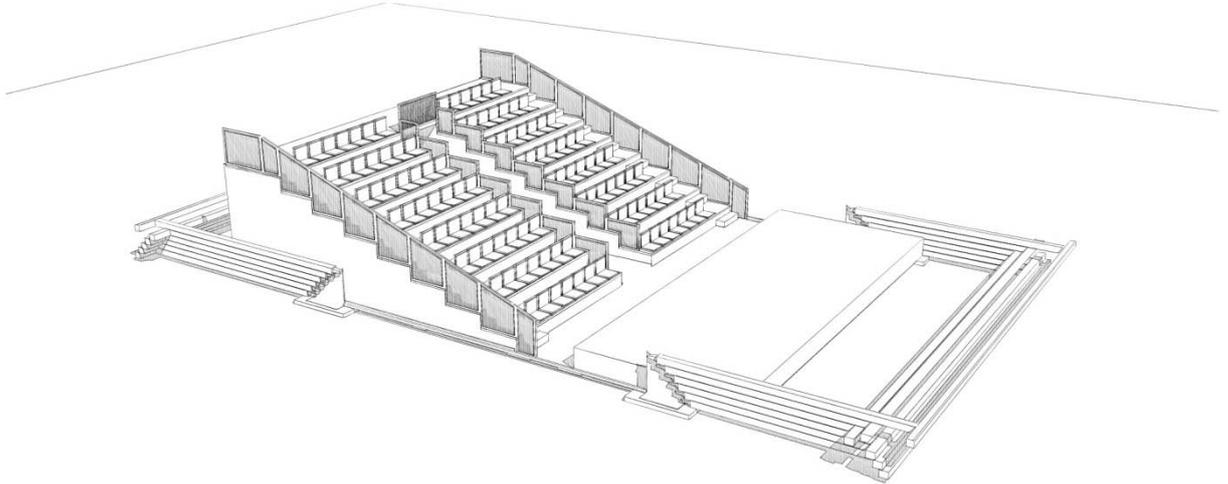


Mise en place du cinquième niveau des gradins



3. PORTIQUES ET PANNEAUX DE TOITURE

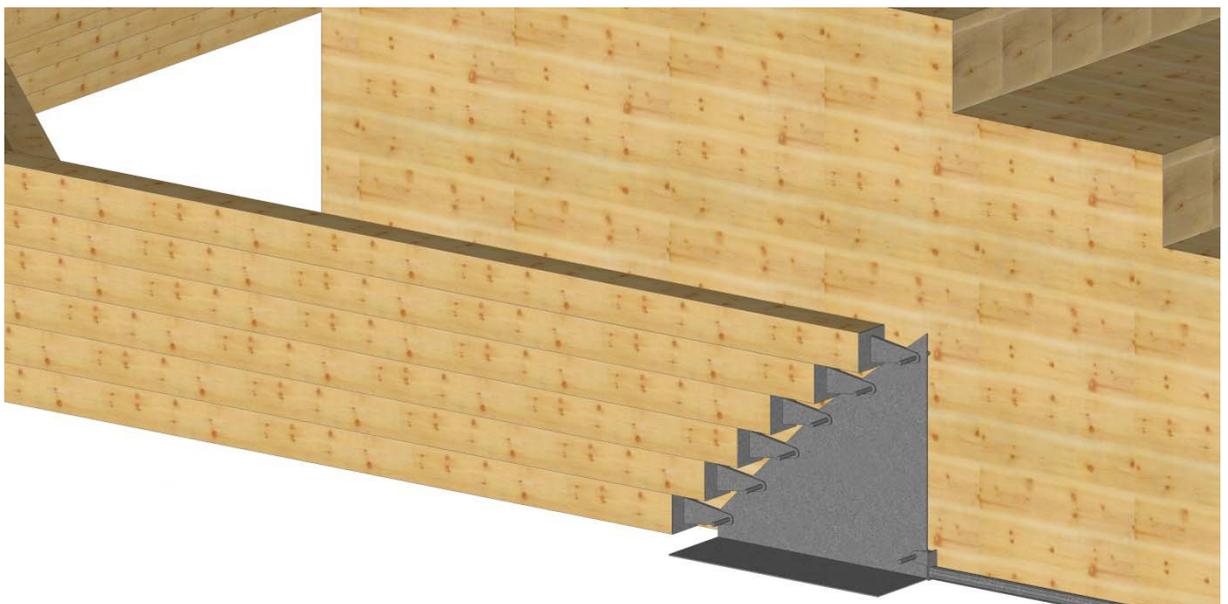
3.1. Construction des portiques



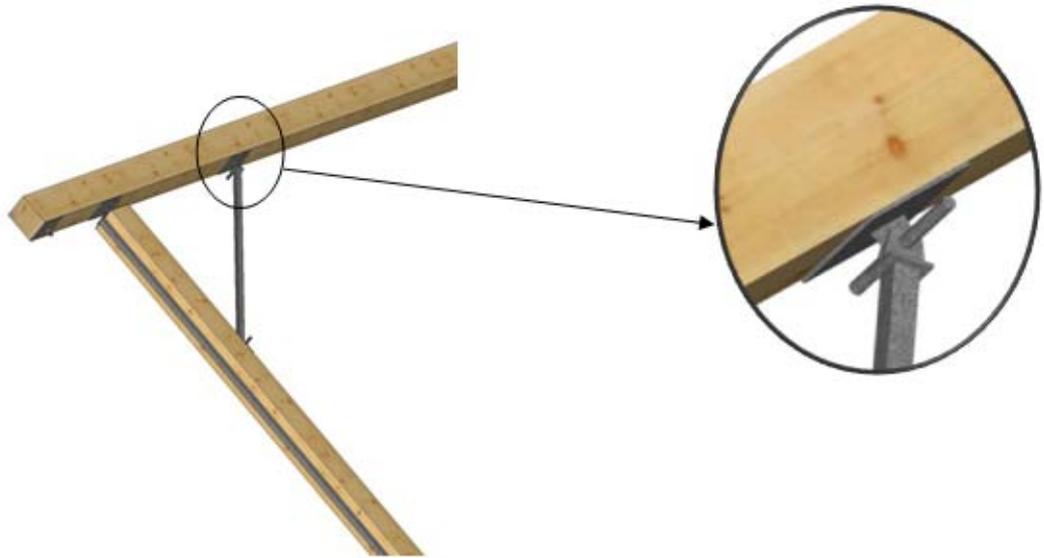
Construction des portiques au sol

Flabellum est constitué de deux éventails comprenant chacun 6 portiques. Il s'agit de monter ces 12 portiques au sol, à chaque extrémité de la structure. Chaque portique contient 2 poteaux et une panne s'assemblant par ferrures métalliques. De chaque côté, les 6 portiques sont assemblés et repose au sol les uns sur les autres. Les pieds de poteaux viennent s'insérer dans les ferrures de pied de chaque côté de la structure.

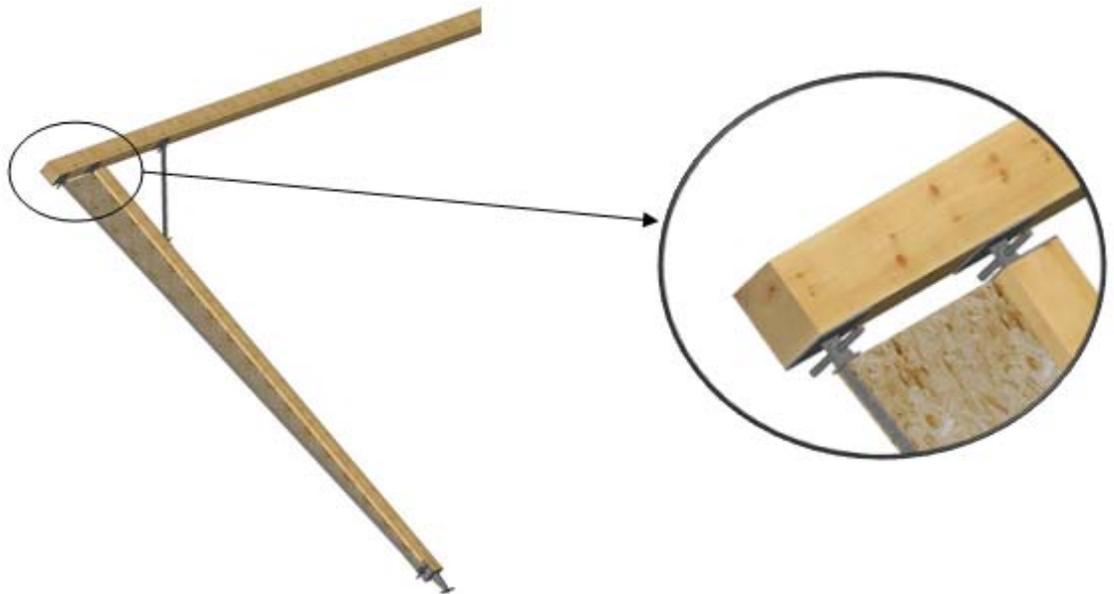
NB : les éléments des portiques sont lourds, notamment les pannes. Des éléments facilitant leur portage y ont été intégrés.



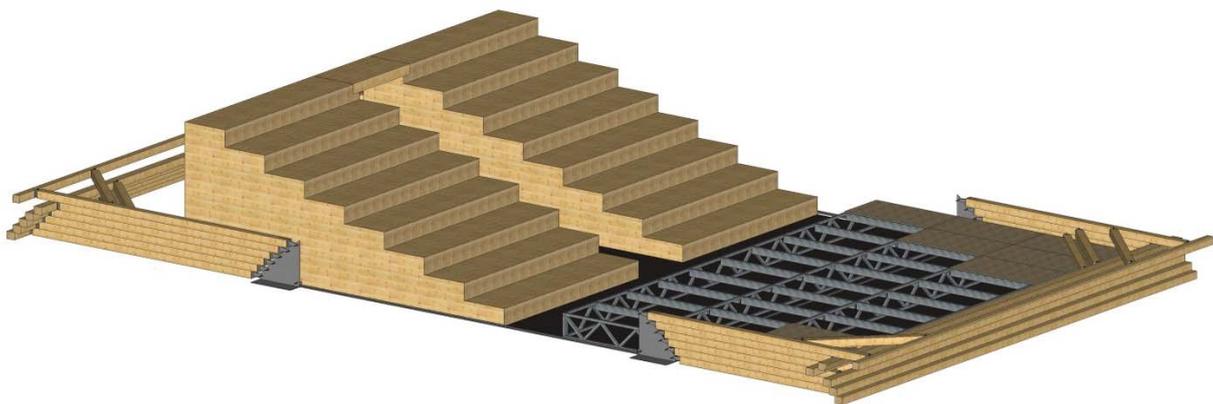
Assemblage des poteaux sur les ferrures de pied



Assemblage des liens par connecteurs métalliques



Assemblage des panneaux triangulaires sandwich



Structure repliée au sol

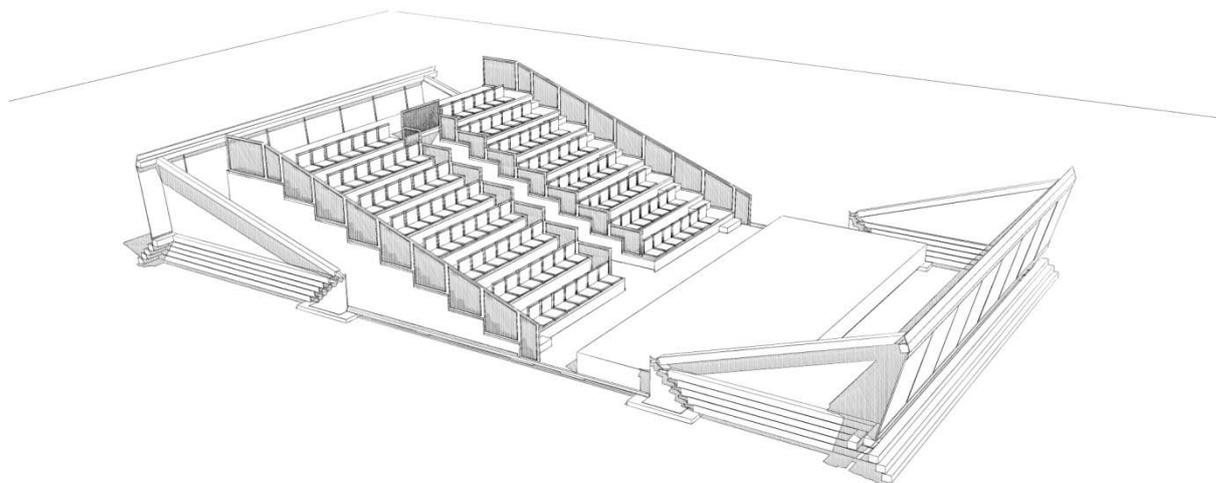
3.2. Erection de la structure et mise en place des panneaux de toiture

L'érection de la structure est répétitive. Il s'agit de monter chaque portique symétriquement de part et d'autre de la structure grâce à une deux treuils de levage.

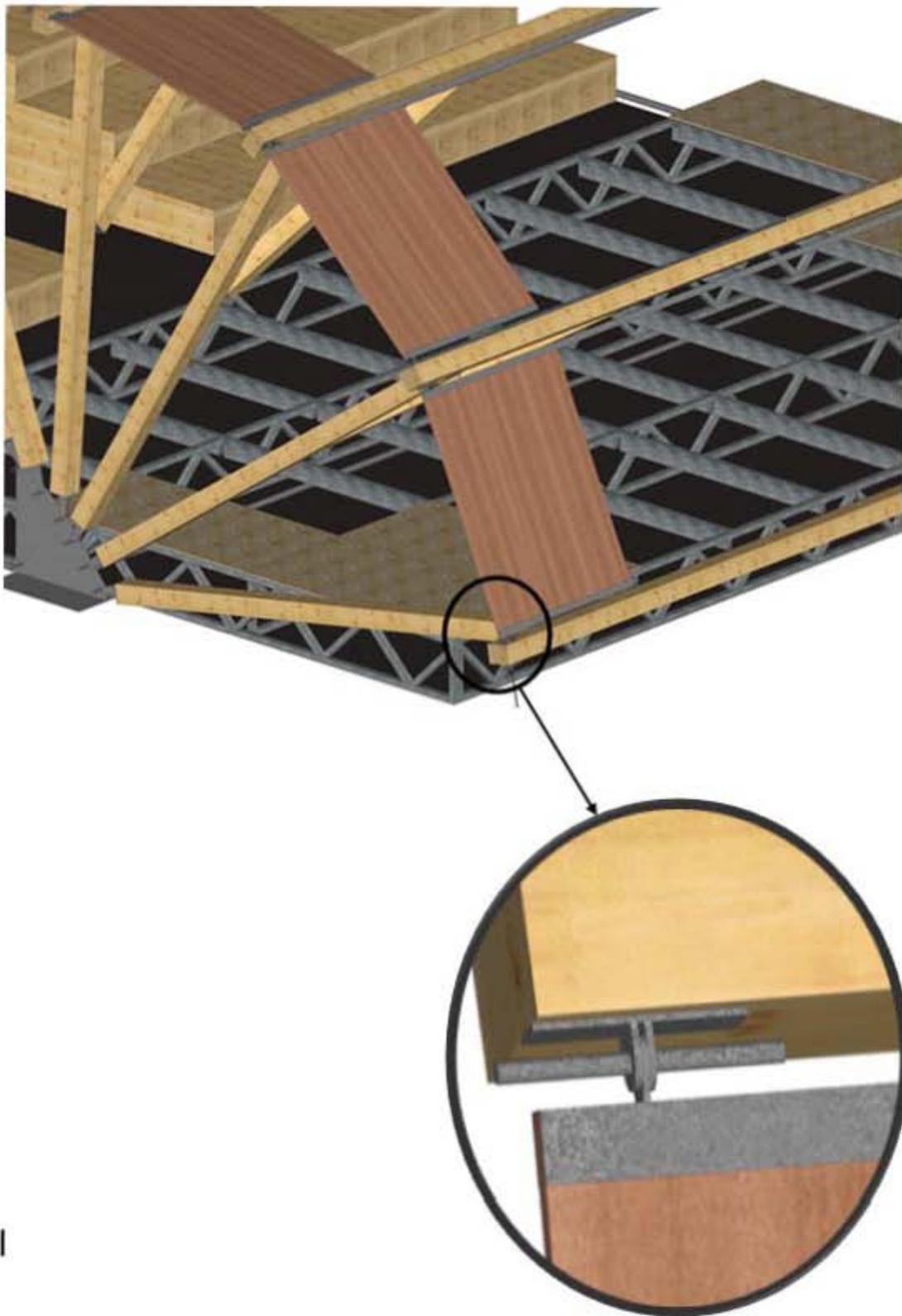
Raisonnons sur un côté de la structure, sachant que dans le même temps, la même chose est effectué symétriquement de l'autre côté.

Le premier portique est érigé grâce à un treuil de levage par rotation autour de la ferrure de pied jusqu'à 2 m du sol. Une première rangée constituée de 8 panneaux vient alors s'insérer entre les portiques 1 et 2 par l'intermédiaire de ferrures métalliques. Ces panneaux sont recouverts d'une membrane d'étanchéité. La membrane de chaque panneau possède une bavette transversale et longitudinale munie de bande velcro assurant l'étanchéité entre les panneaux. Une fois la rangée de panneau mise en place, il s'agit d'ajouter de part à d'autre du portique un panneau rectangulaire sandwich par assemblage boulonné.

Par la suite, sur chaque portique sera ajouté une rangée de panneau, sera mis en place l'étanchéité par les bandes velcro et seront ajoutés les 2 panneaux rectangulaires sandwich.

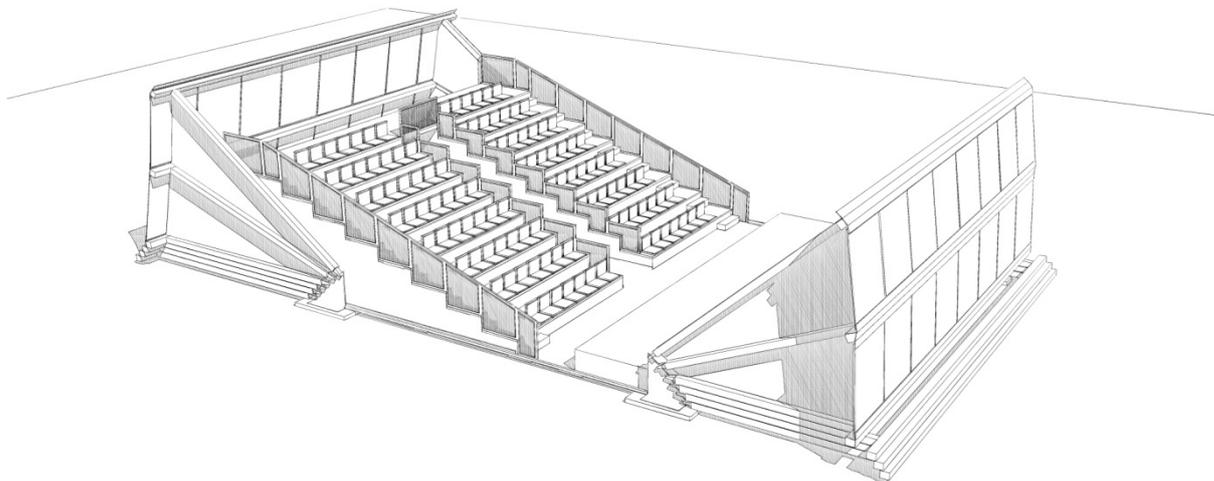


Mise en place des éléments sur portique 1



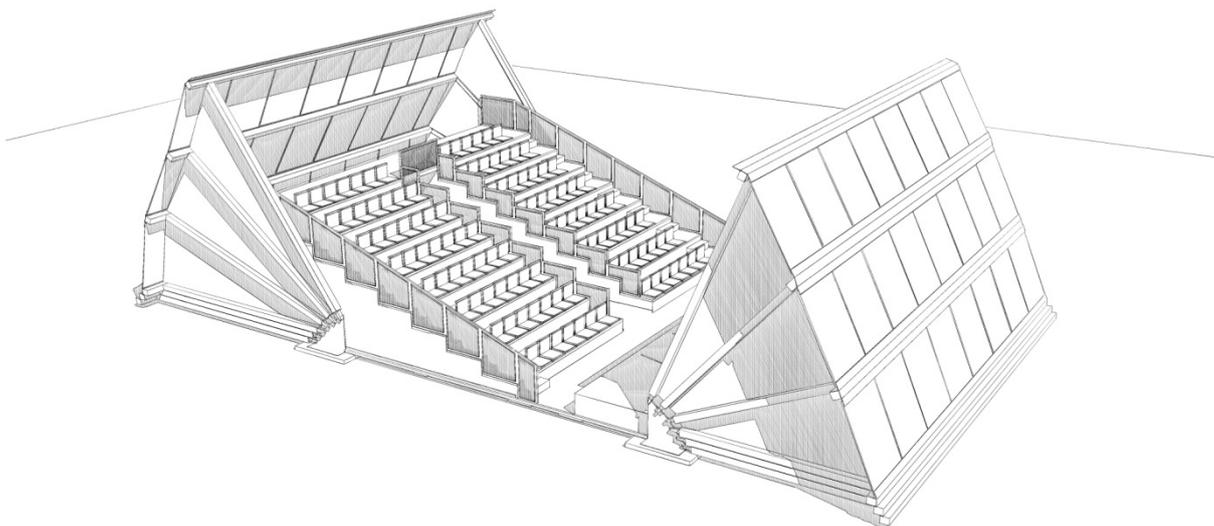
Assemblage des panneaux sur les portiques par ferrures métalliques.

Le second portique est érigé grâce à au treuil de levage par rotation autour de la ferrure de pied jusqu'à 2 m du sol. Les éléments décrits ci-dessus sont alors ajoutés.



Mise en place des éléments sur portique 2

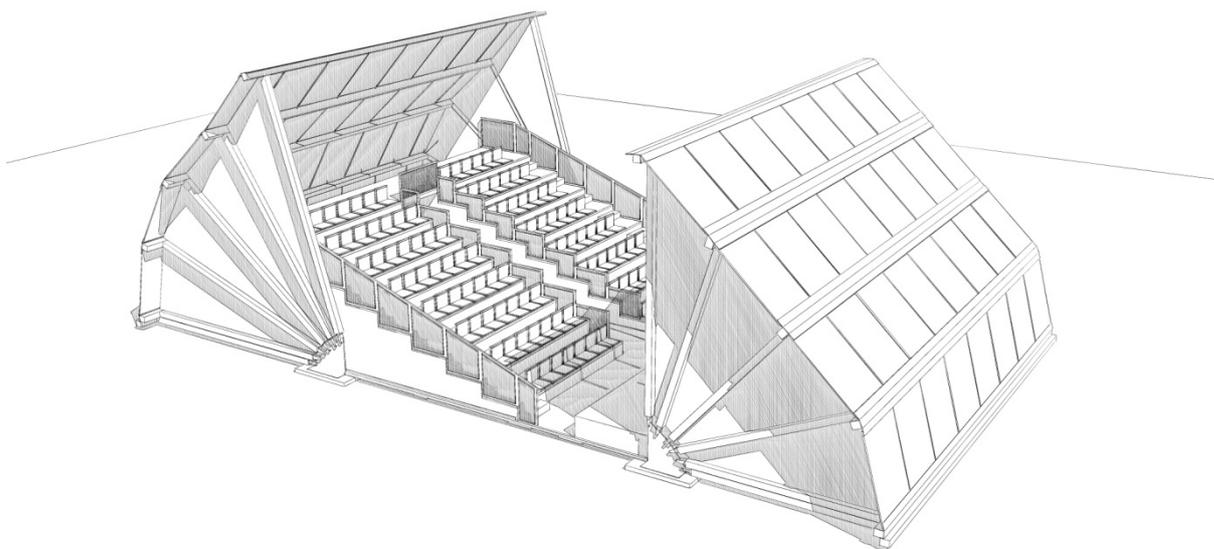
Le troisième portique est érigé grâce au treuil de levage par rotation autour de la ferrure de pied jusqu'à 2 m du sol. Les éléments décrits ci-dessus sont alors ajoutés.



Mise en place des éléments sur portique 3

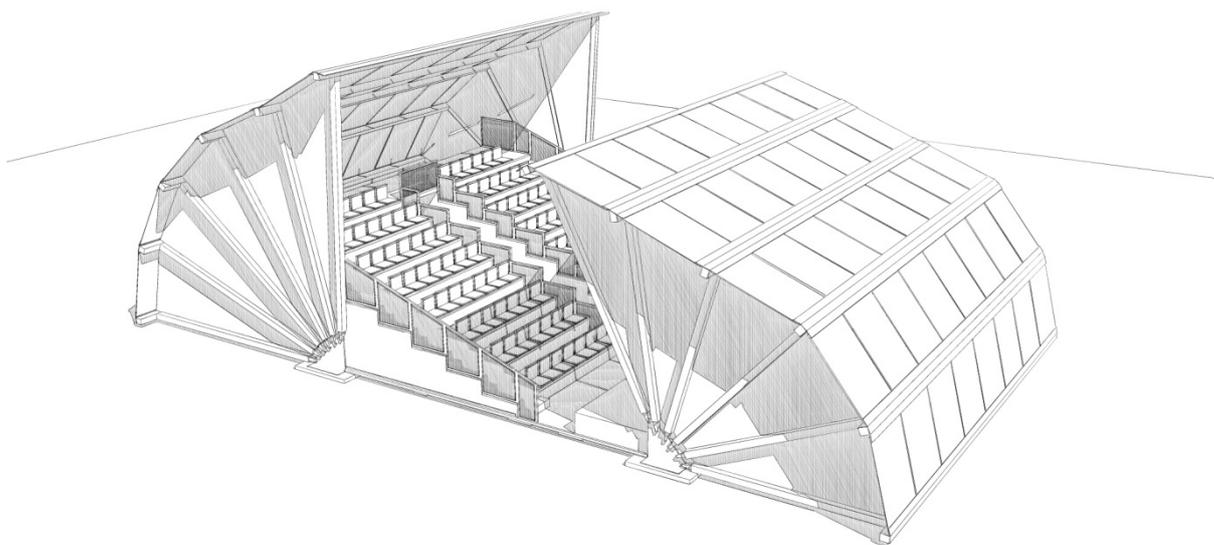
Le quatrième portique est érigé grâce à au treuil de levage par rotation autour de la ferrure de pied jusqu'à 2 m du sol. Les éléments décrits ci-dessus sont alors ajoutés.

Le portique 1 se trouve alors à la verticale, cependant, le centre de gravité de l'éventail en cours de construction est toujours situé dans la partie basse ce qui évite le basculement de la structure. Par fort vent, un tirfor peut venir s'insérer sur la structure pour retenir l'éventail et éviter son basculement.



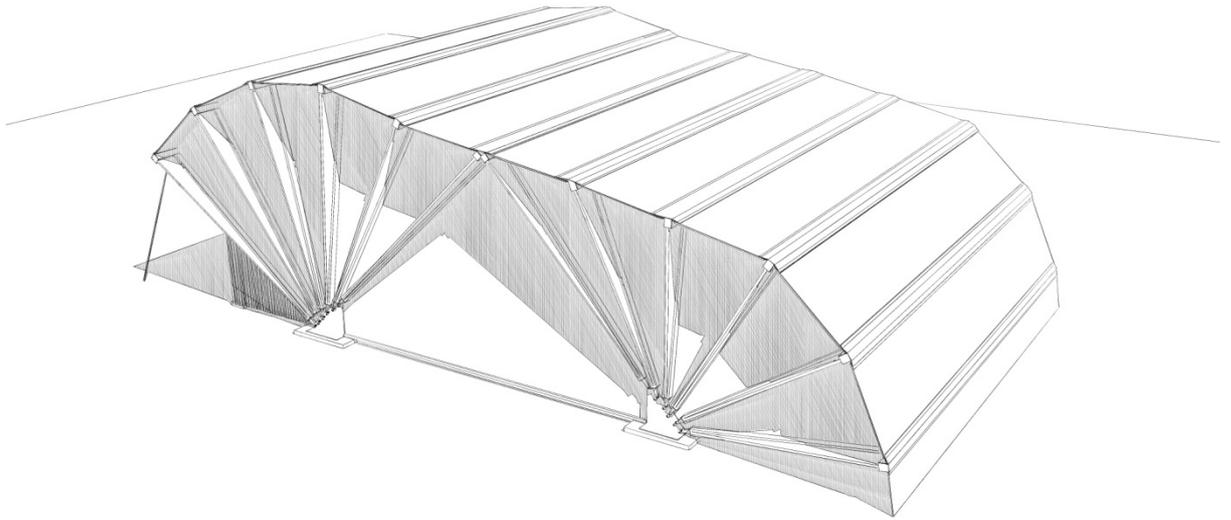
Mise en place des éléments sur portique 4

Le cinquième portique est érigé grâce au treuil par rotation autour de la ferrure de pied jusqu'à 2 m du sol. Les éléments décrits ci-dessus sont alors ajoutés.



Mise en place des éléments sur portique 5

La rotation se poursuit ce qui permet de mettre en place la sixième et dernière rangée de panneaux avec membrane et panneaux triangulaires sandwichs sur le portique 6.

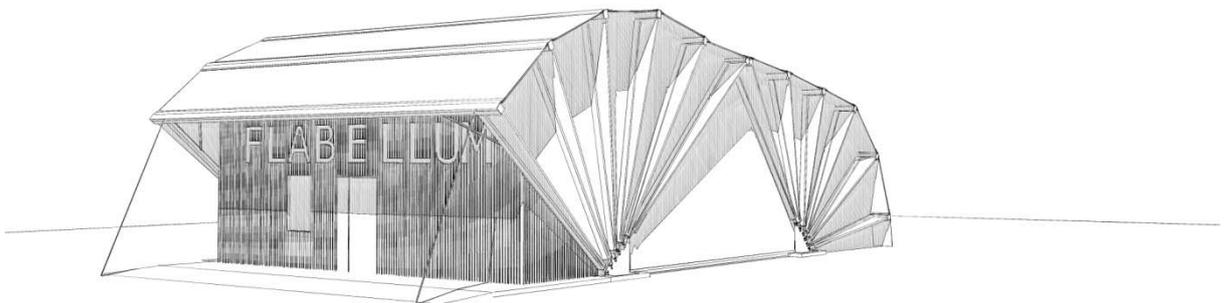


Mise en place des éléments sur portique 6

Quatre câbles de tension sont ajoutés aux quatre coins de la structure permettant de rattacher Flabellum au sol. Des bavettes sont ajoutées l'extrémité côté scène assurant la jonction entre la dernière rangée de panneaux et le au sol, l'autre côté étant constitué d'un auvent pour l'entrée.

Les deux portiques centraux se rejoignent et sont assemblés par des ferrures métalliques de type sauterelle. L'étanchéité transversale est assurée par une fermeture de liaison mise en place précédemment.

4. ENTREE



Entrée de Flabellum et billetterie

L'entrée est réalisée par des modules d'ossature bois fixés entre eux par l'intermédiaire de poteaux. Ces modules sont reliés aux gradins et au portique 5.



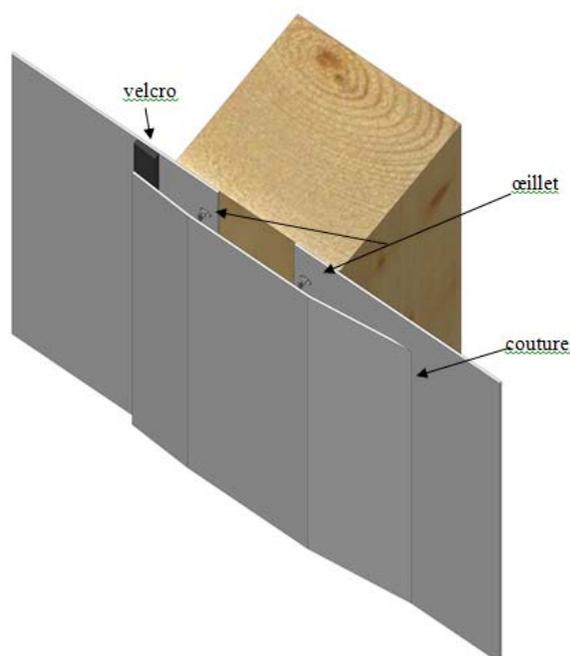
Ossature bois

Ces panneaux d'ossature sont recouverts d'un bardage en carrelé de 30*30 mm préinstallés. Quelques carrelés sont à ajoutés une fois le mur monté.

5. BACHES LATÉRALES

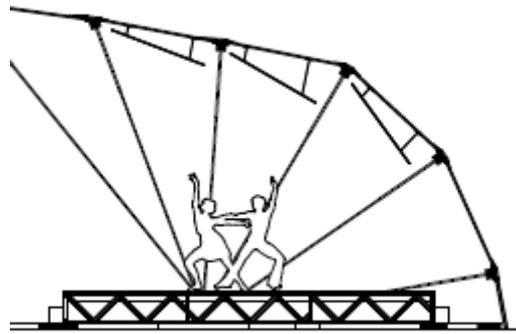
Les bâches latérales sont optionnelles en fonction du type de spectacle et de météo ! Si nécessaire, elles sont incorporées au cours de l'érection de la structure en même temps que les panneaux. Elles donnent l'impression de soufflet accompagnant la rotation de Flabellum.

Les soufflets sont fixés sur les poteaux par des œillets. Une bande de recouvrement fixée par velcro vient parfaire l'étanchéité.



Fixation des soufflets sur les poteaux.

6. PANNEAUX ACOUSTIQUES



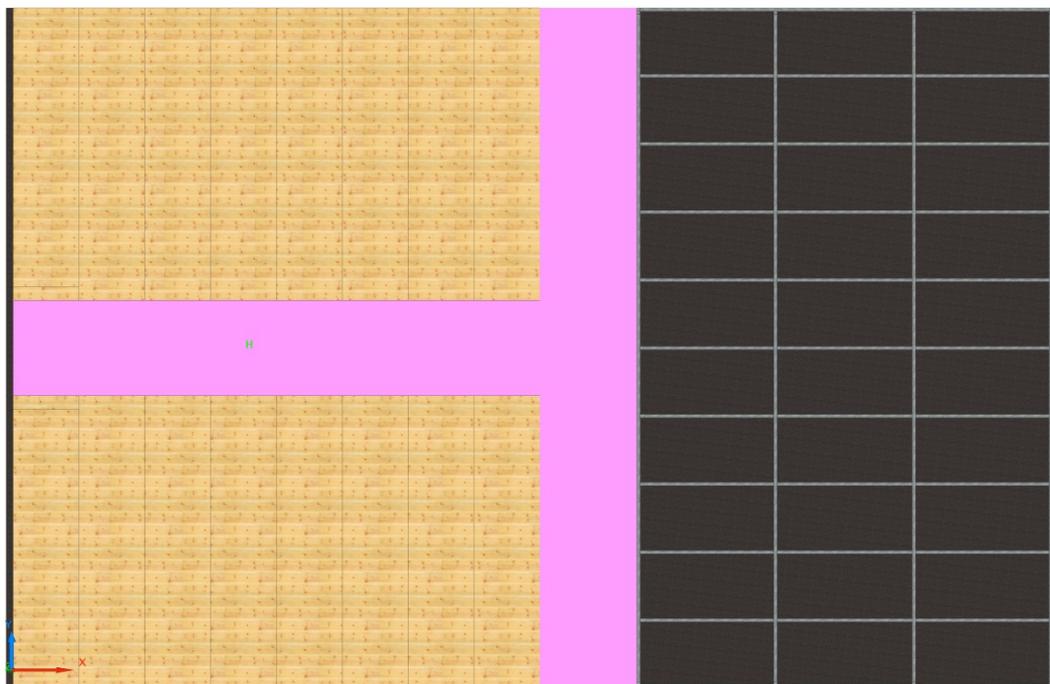
Panneaux acoustiques

Les panneaux acoustiques sont en contreplaqué de 8 mm. Ils sont fixés sur les panneaux de toiture par des tiges métalliques fixées perpendiculairement aux panneaux. Aux extrémités des tiges métalliques, les platines sont articulées.

Au niveau des gradins, les contremarches sont perforées, ce qui complète le traitement acoustique de la salle.

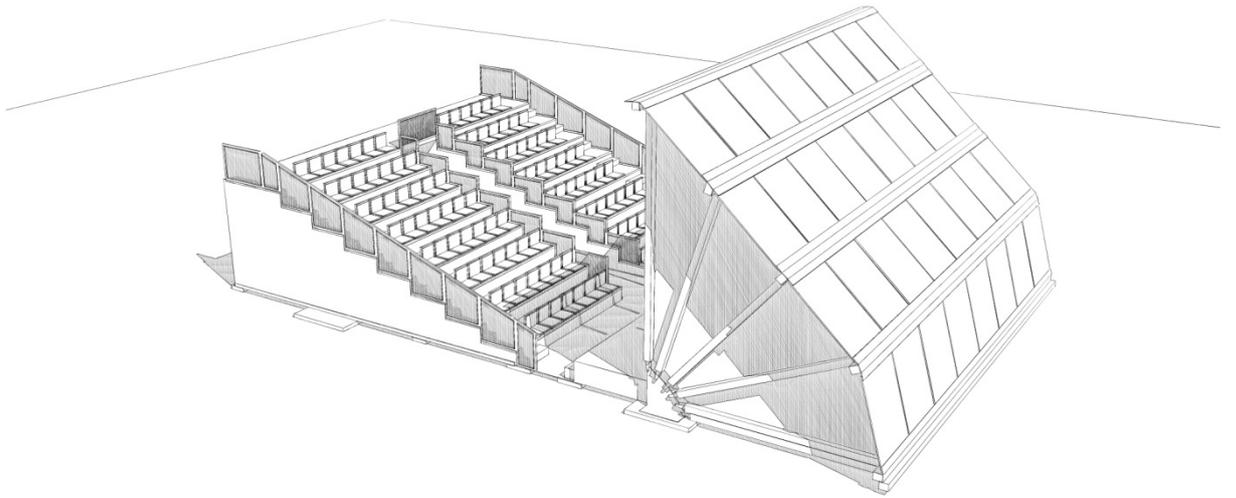
7. PLANCHER

Le plancher est constitué de panneaux de contreplaqué qui viennent se fixer sur les cales des points d'ancrage



Plancher sur calage

8. VARIANTE ETE



Flabellum version canicule !

Si les conditions météorologiques le permettent et si la représentation s'adapte à ce type de structure ouverte, seul un éventail peut-être monté. Flabellum devient alors

- PARTIE 3 - ETUDE NEIGE ET VENT

1. NORMES CTS

1.1. Résistance au vent et à la neige

Les conditions météorologiques doivent là encore être surveillées : le public doit être évacué lorsque le vent atteint 100 km/h. Il faut également veiller à ne pas laisser la neige s'accumuler sur la toile, ou évacuer le public à partir de 4 cm de neige. Attention cependant : si les chapiteaux sont tenus aujourd'hui de résister aux valeurs de vent et de neige ci-dessus, les chapiteaux de facture ancienne peuvent présenter des résistances inférieures. Il faut donc dans tous les cas se reporter au registre de sécurité de la structure.

A noter : pour la préservation du chapiteau, de la tente ou de la structure, il est pertinent de prévoir au moment de leur construction une résistance supérieure à celle exigée par la réglementation. Cela est utile, par exemple, lorsque les implantations en bord de mer sont fréquentes.

2. ETUDE DE LA NEIGE

2.1. Hypothèses de calcul

Annexe N1 :

Vosges : zone A2, B1 et C2

Zone C2 : $s_{k,200} = 0.65 \text{ kN/m}^2$ et $s_{k,Ad} = 1.35 \text{ kN/m}^2$

2.2. S_n Action normale sur la toiture

$$S_n = \mu_i C_e C_t s_k + s_1$$

Coefficient d'exposition C_e : $C_e = 1$ Coefficient de température C_t : $C_t = 1$

s_1 = majoration pour faible pente = 0 (pente >5%)

$h = 400 \text{ m}$

$$s_k = s_{k,200} + \left(0.1 \times \frac{h - 200}{100} \right) = 0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$\mu_i = 0.8$ (pente toiture <30%)

$S_n = 0.68 \text{ kN/m}^2$

Comparaison avec la norme CTS :

$S_n = 0.04 \times 100 = 4 \text{ kg/m}^2 = 0.04 \text{ kN/m}^2$

La région choisie impose des conditions de neige plus défavorable que la norme CTS. On prendra $S_n = 68 \text{ daN/m}^2$ comme charge de neige.

3. ETUDE DU VENT

3.1. Modélisation du bâtiment

3.2. Détermination de la pression du vent en vitesse de pointe (calcul)

Zone 2 : $V_{b,0} = 24 \text{ m/s}$, $c_{dir} = 1$ et $c_{season} = 1$

Normes CTS : $V_{b,0} = 27.8 \text{ m/s}$ plus défavorable on choisit cette vitesse de vent de base.

Catégorie de terrain IIIa (campagne avec des haies ; vignoble ; bocage ; habitat dispersé) :
 $z_{\min} = 5 \text{ m}$ et $z_0 = 0.2 \text{ m}$

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Vitesse moyenne du vent } V_m : V_m = c_r(z) c_0(z) V_b \\ \text{Coefficient de rugosité } c_r(z) : c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \\ \text{Hauteur de la maison } z : z = 6 \text{ m} \\ \text{Coefficient de terrain } k_r : \\ k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,r}}\right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,2}{0,05}\right)^{0,07} = 0,21 \\ \text{Coefficient d'orographie } c_0(z) : \text{Zone normale} \Rightarrow c_0(z) = 1 \\ \Rightarrow V_m(z) = 0,712 \times 1 \times 24 = 17,09 \text{ m/s} \end{array} \right\} c_r = 0,21 \times \ln\left(\frac{6}{0,2}\right) = 0,712$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Intensité de turbulence } I_v(z) : I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \\ \text{Coefficient de turbulence en site orographique marquée} \\ k_I = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(z_0) + 3)^6 = \\ 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(0.2) + 3)^6 = 0,97 \end{array} \right\} I_v(z) = \frac{0,97}{1 \times \ln\left(\frac{6}{0,2}\right)} = 0,285$$

La pression du vent en vitesse de pointe s'obtient alors par :

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z)$$

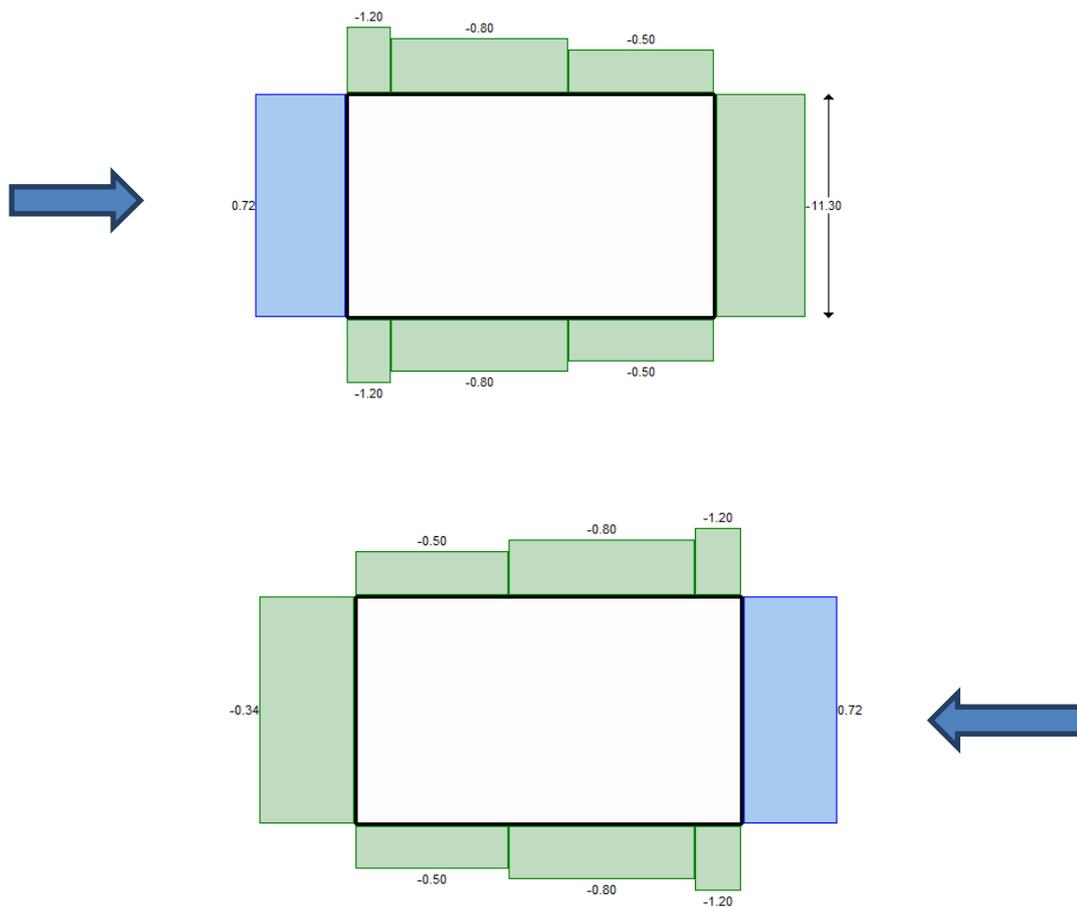
$$q_p(z) = [1 + 7 \times 0.285] \times \frac{1}{2} \times 1.225 \times 17.09^2$$

$$q_p(z) = 535.8 \text{ N/m}^2$$

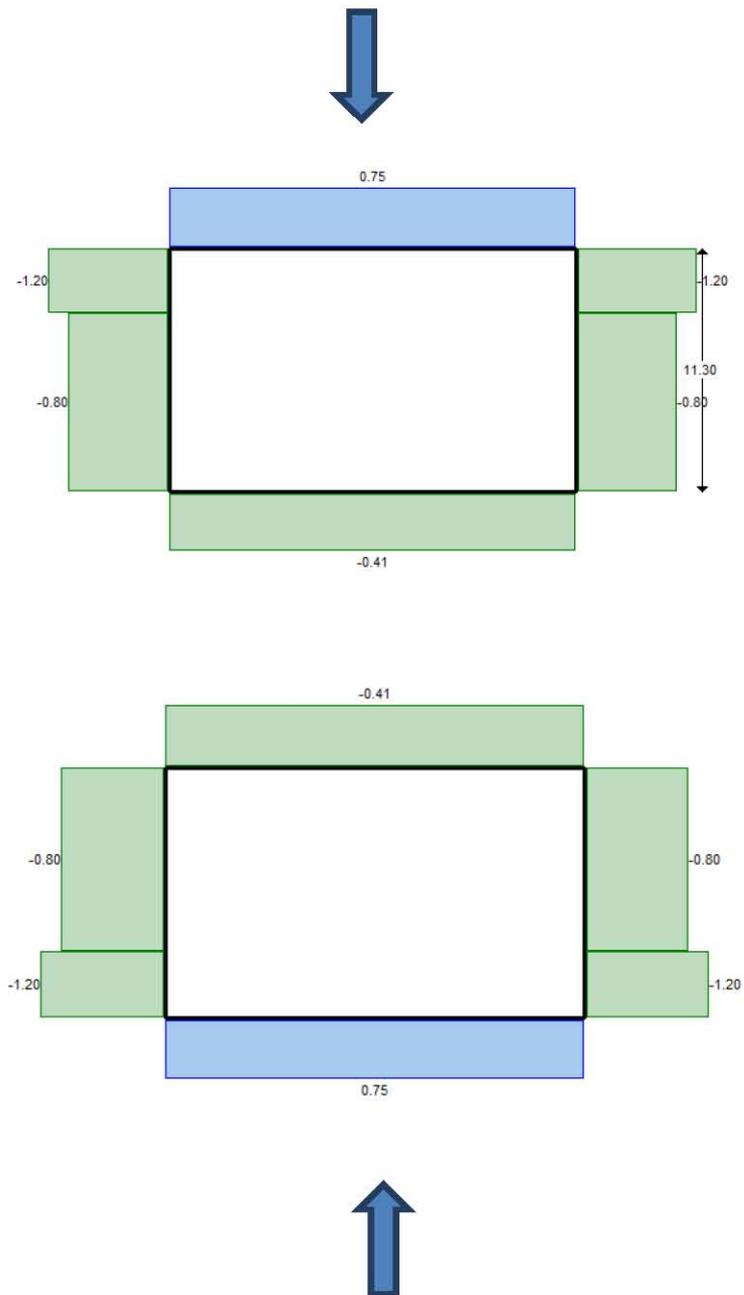
3.3. Coefficients de pression extérieure sur les parois verticales

3.3.1. Coefficients de pression extérieure sur les parois verticales

3.3.1.1 Vent sur long pan

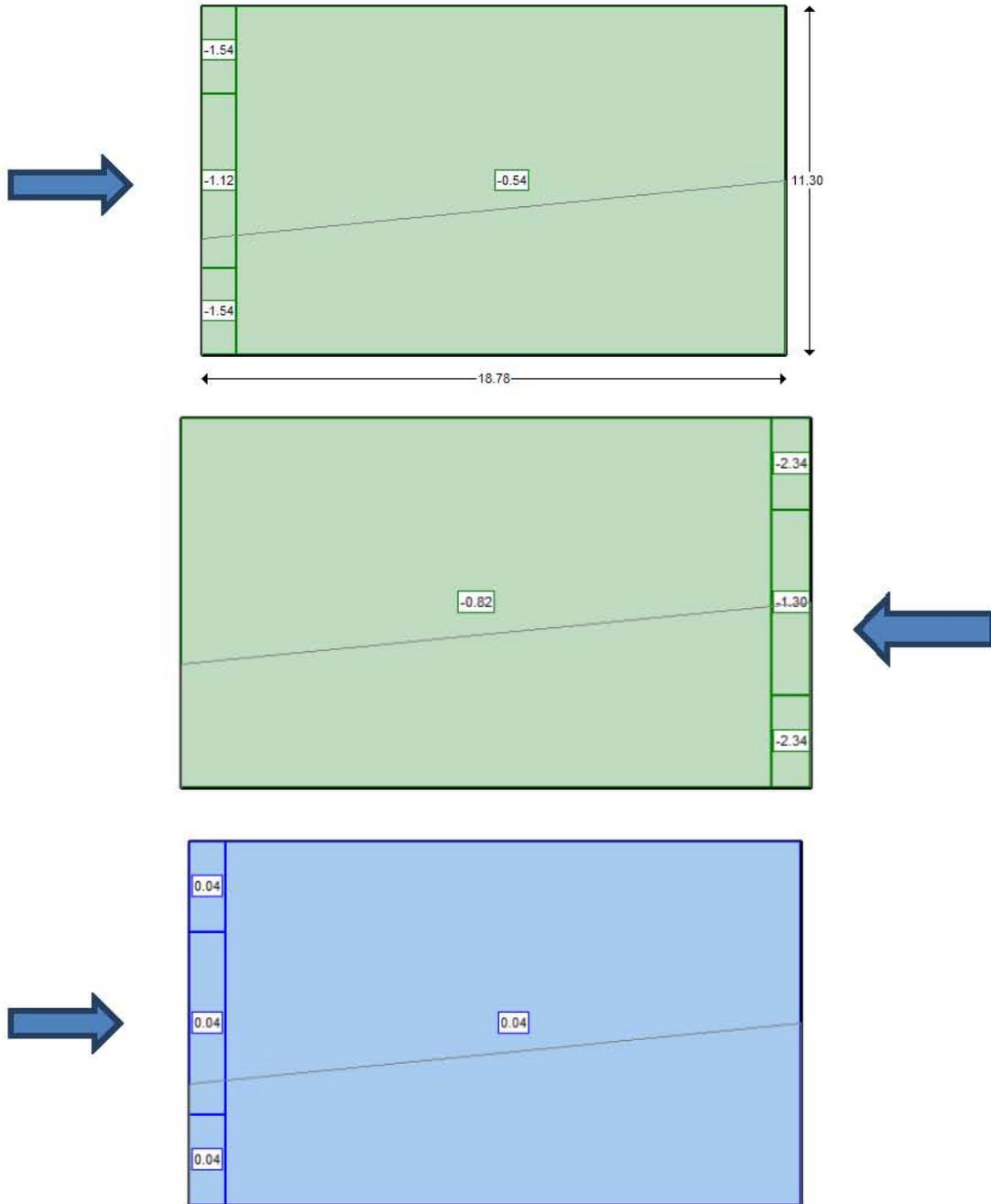


3.3.1.2 Vent sur pignon



3.3.2. Coefficient de pression extérieure sur la toiture

3.3.1.3 Vent sur long pan



3.3.1.4 Vent sur pignon



3.3.3. Résumé des coefficients de pression extérieur à appliquer

	Parois verticales	Toiture
Pignon	$0.72+0.3=1.03$ $-1.2-0.2=-1.4$	$0.04+0.3=0.34$ $-0.64-0.2=-0.84$
Long pan	$0.75+0.3=1.05$ $-1.2-0.2=-1.4$	$0.04+0.3=0.34$ $-0.64-0.2=-0.84$

- PARTIE 4 - DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BOIS

1. HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

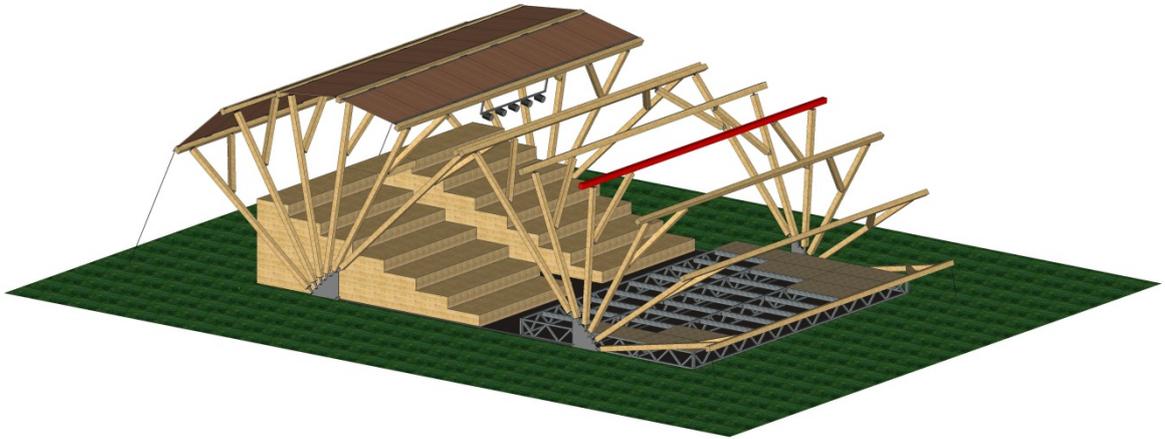
1.1. Composition de la toiture

	Poids (daN/m ²)
Contreplaqué 21 mm	9.45
Membrane étanchéité	2
Ferrures	2
	13.5

1.2. Charges appliquées

	daN/m ²	
Charges permanentes	13.5	
Neige	68	
Charges d'exploitation	0	
Vent	Parois verticales	Toiture
Pignon	55.19 // -75.02	18.22 // -45
Long pan	56.26 // -75.02	18.22 // -45

2. DIMENSIONNEMENT DES PORTIQUES



2.1. Pannes

Hypothèses supplémentaires :

Bande de chargement 200 cm

Lamellé Collé GL28h Section (cm) : 15.00 / 17.50
Poutre sur 6 appuis Longueur : 1130.00 cm
Entraxe/Bande de chargement : 200.00 cm
Taux/Critère dimensionnant : 93 % (Flèche résultante)

Combinaison la plus défavorable ELS Permanente + Neige + 0.6*Vent soulèvement
Flèche maximum sur la travée centrale.

2.2. Poteaux

Hypothèses supplémentaires :

Bande de chargement 200

Forces appliquées : $W = 55.2 \text{ daN/m}^2$ et -75 daN/m^2

$N = 20 \text{ kN}$

Vérification de la compression transversale

$$\sigma_c = \frac{N}{S} = \frac{20\,000}{150 \times 150} = 0.89 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 11.52 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,90,d} = f_{c,90,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 1.3 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{f_{c,\alpha,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \times f_{c,90,d}} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

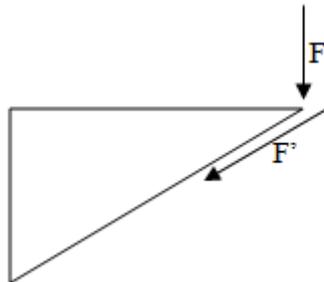
$$f_{c,\alpha,d} = 2.47 \text{ Mpa}$$

Taux de travail : 36 %

2.3. Liens

Les liens reprennent une charge verticale de 3275 daN en compression et -675 daN en traction. Les liens sont en acier S235 de section carré évidée. Ils sont insérés avec un angle de 45°.

Calcul du tirant :



$$F=3275 \text{ daN} ; \alpha=45^\circ ; F'=4632 \text{ daN}$$

$$\sigma_d \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma_d = \frac{F}{S}$$

$$S \geq \frac{F}{\sigma_{adm}} = \frac{46320}{235} = 197.1 \text{ mm}^2$$

Pour des raisons architecturales, le tube choisi est de section de 30*30 épaisseur 2mm.

Soit S=240 mm².

donc

$$\sigma_d \leq \sigma_{adm}$$

2.4. Contreventement

Le contreventement du bâtiment est associé d'une part par les liens acier et d'autre part par les panneaux de toiture.

Panneaux de toiture : contreplaqué 21 mm 1.80*1.40 m

Les panneaux sont liés entre eux par boulonnage et liés au panne par ferrures métalliques.

Les panneaux de contreventement travaillent avec le diaphragme par l'intermédiaire des poteaux et ferrures de pied.

- PARTIE 5 - DIMENSIONNEMENT DES GRADINS

1. HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

1.1. Composition

Matériaux	Charge (daN/m ²)
Panneaux contre plaqués $\rho=500 \text{ daN/m}^3$ ep=18 mm	9
Fauteuil	10

1.2. Charges variables

Désignation	Charge (daN/m ²)
Exploitation catégorie C2	400

2. DIMENSIONNEMENT

2.1 Sommier

Matériau	C24
Dimension (cm)	5*17.5

Désignation	Charge (daN/ml)
Exploitation catégorie C2	200
Panneaux contre plaqués	5
Fauteuil	5
Poids propre solive	4

Désignation	Taux de travail (%)
Contraintes de flexion	50
Contrainte de flexion (déversement)	27
Contrainte de Cisaillement	36
Flèche	82

2.1. Poteaux

2.1.1. Poteaux mur extérieur

Matériau	C24
Dimension (cm)	4*6
Longueur flambement selon l'axe z	1.5
Longueur flambement selon l'axe y	3

Désignation	Charge daN
Exploitation catégorie C2	215
Charge solive	15
Poids propre poteaux	3

Désignation	Taux de travail (%)
Contraintes de compression selon l'axe z	38
Contraintes de compression selon l'axe y	67

2.1.2. Poteau mur intérieur

Matériau	C24
Dimension (cm)	4*12
Longueur flambement selon l'axe z	1.5
Longueur flambement selon l'axe y	3

Désignation	Charge daN
Exploitation catégorie C2	430
Charge solive	30
Poids propre poteaux	6

Désignation	Taux de travail (%)
Contraintes de compression selon l'axe z	38
Contraintes de compression selon l'axe y	19

- PARTIE 6 - ETUDE DE PRIX

L'étude de prix ci-dessous ne tient pas compte du cout de l'étude du bâtiment ni de la remorque.

Groupe	Sous groupe	Matériaux	Unité	Qté	Prix u			Prix matériaux	Temps machine	Temps atelier	Prix MO	TOTAL	
ossature	Bois												
	panne	GL28h	m3	12			900	10 800,00	1,5		405,00		
	poteau	BMc24	m3	24			300	7 200,00	6		1 620,00		
	liens	acier 30*30	ml	33,6			15	504,00	5		1 350,00		
	panneaux nervures	CP 21mm	m²	58			22	1 267,20	8		1 360,00		
										60	2 400,00		
	Quincaillerie												
	ferrures pied	acier galva	u	4	40	3	10	80	3 680,00				
	ferrures poteau	acier galva	u	24	40	0,5	10	2	960,00				
	ferrures liaison éléments	acier galva	u	120				15	1 800,00				
	tube diaphragme	acier galva	ml	35				10	350,00				
	câblage	acier galva	ml	12				10	120,00				
	sauterelle fixation	acier galva	u	5				21	105,00				
	boulons d16*150mm		u	336				0,7	235,20				
	boulons d20*50mm		u	96				1	96,00				
	vis 5*80 (ferrures liaison)		u	480				0,1	48,00				
		fournure sur poteau	acier 30*30	ml	102	40	0,25		7	954,00			
		fournure extérieure	acier 30*30	ml	111	40	0,25		7	1 014,77			
									27 165,40		7 135,00	34 300,40	
	toiture	panneau	CP 21 mm	m²	208			22	4 576,00	12		2 040,00	
ferrures		acier galva	u	320			10	3 200,00		16	640,00		
membrane étanchéité		3 mm	m²	297,02			12,3	3 653,35					
velcro			ml	165,2			1,5	247,80		16	640,00		
bâche liaison sol			m²	11,3			30	339,00					
vis pour ferrures			u	1280			0,05	64,00					
profilé U CP			ml	226			3	678,00					
vis profilé U			u	800			0,05	40,00					
colle membrane			m²	208			4	832,00					
								13 630,15			3 320,00	16 950,15	
Toile/soufflet	toile		m²	170			30	5 100,00					
	fixation	œillet	u	120									
		velcro	ml	114,74			1,5	172,11		16	640,00		
							5 272,11			640,00	5 912,11		
gradins	panneaux	CTBX 18mm	m²	79			36	2 844,00	4	16	2 680,00		
	ossature horizontale	sapin C24	m3	1,1			300	330,00	8				
	poteau mur intérieur	sapin C24	m3	0,14			330	46,20	4		680,00		
	poteau mur extérieur	sapin C24	m3	0,38			300	114,00	4		680,00		
	ferrures tête	acier galva	u	64			15	960,00					
	panneaux cvt	OSB 9mm	m²	68,9			2,73	188,10					
	sièges	bois + mousse	u	112			65	7 280,00					
	garde corps	bois	ml										
	ferrures de liaison	acier galva	u	56			15	840,00					
	ferrures en pied	acier galva	u	72			15	1 080,00					
	cvt barre acier	câble/tube	ml	24			3	72,00					
	panneaux de fermeture	CP 8 mm	m²	21,07			22	463,54					
	rails	profilé	ml	32			20	640,00					
	Quincaillerie												
	boulons d12*80mm	galva	u	256			0,2	51,20					
	pointes 2,1*45	galva	u	2000			0,01	20,00					
	pointes 3*90	galva	u	400			0,015	6,00					
								14 929,04			4 040,00	18 969,04	
	scène	ossature	bois	m3	0,8			300	240,00	20	20	6 200,00	
panneaux		CP 21 mm	m²	80			22	1 760,00	8		1 360,00		
ferrures		acier galva	u										
rideau			u										
queues d'aronde métalliques			u	54			23	1 242,00					
							3 242,00			7 560,00	10 802,00		
entrée	porte	bois	u										
	toile imprimée		m²	30,51									
	billetterie	bois	u										
	affichage		u										
	Structure												
	panneau	OSB 9mm	m²	55,91			2,73	152,63	2	8	1 000,00		
	ossature 45*95	C24	m3	0,63			300	189,00	2				
poteau 95*95	C24	m3	0,47			300	141,00	2	4	500,00			
pointes 2,1*45	galva	u	1000			0,01	10,00						
pointes 3*90	galva	u	200			0,015	3,00						
							495,63			1 500,00	1 995,63		
plancher	calage		m3					200,00					
	panneaux	CP	m²	24,78			22	545,16	2		340,00		
							745,16			340,00	1 085,16		
régie	table		u	1			100	100,00					
	siège		u	1			100	100,00					
							200,00				200,00		
										TOTAL	90 214,49		