



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>

Notice architecturale et technique

PROJECTION



Quentin Baticle, ingénieur
Guillaume Malvy-Fleury, ingénieur
Séverine Méligne, architecte
Fanny Mougeolle, architecte
Laurent Pierrat, ingénieur

**scènes
& territoires**
en Lorraine

e/n/s/ti/b


école nationale supérieure
d'architecture de nancy



Strasbourg,
école d'architecture

Sommaire

1. Principe du projet	1
1.1. Description	1
1.2. Contraintes	1
1.2.1. Matériau	1
1.2.2. Réglementation	2
1.2.3. Capacité et dimensions	2
1.2.4. Montage	2
1.2.5. Performance	3
1.2.6. Budget	3
2. Parti Architectural	4
2.1. Concept	4
2.2. Forme	6
2.3. Usages du bâtiment	7
2.4. Ambiances	8
3. Solutions techniques	9
3.1. Salle	9
3.1.1. Base	9
3.1.2. Structure	9
3.1.3. Parois	10
3.1.4. Gradins	10
3.2. Structure de la scène	10
3.2.1. Scène	10
3.2.2. Charpente	11
3.3. Assemblage	11
3.3.1. Assemblage en pied	11
3.3.2. Assemblage au rein	12
3.3.3. Assemblage en tête	13
3.3.4. Assemblage entre la salle et la scène	13
3.4. Etanchéité	14
3.4.1. Panneau de mur	14
3.4.2. Panneau de toiture	14
3.4.3. Toiture	14

3.5.	Confort acoustique.....	15
3.6.	Isolation thermique.....	15
4.	Stabilité de la structure.....	16
4.1.	Principe de stabilité.....	16
4.1.1.	Descente de charges.....	16
4.1.2.	Stabilité transversale.....	16
4.1.3.	Stabilité longitudinale.....	17
4.1.4.	Stabilité à la torsion.....	18
4.2.	Charges appliquées.....	19
4.2.1.	Charge permanente.....	19
4.2.2.	Charge d'exploitation.....	19
4.2.3.	Charge de neige.....	19
4.2.4.	Charge de vent.....	19
4.3.	Vérification structurelle des barres.....	20
4.3.1.	Solive des gradins.....	20
4.3.2.	Portiques.....	20
4.4.	Vérification structurelle des assemblages.....	22
4.4.1.	Articulation de pied.....	22
4.1.1.	Articulation de tête.....	22
4.1.2.	Encastrement au rein.....	23
4.5.	Vérification des déformations.....	23
4.5.1.	Solive des gradins.....	23
4.5.2.	Portiques.....	24
5.	Préparation.....	25
5.1.	Montage et Démontage.....	25
5.2.	Rangement du camion.....	28
6.	Synthèse et conclusion.....	32

1. Principe du projet

1.1. Description

Pour notre second projet, l'association Scène et Territoires nous a contactés dans le but de créer une salle de spectacles itinérante. En effet, cette association ayant pour vocation la promotion de la culture en milieu rural utilisait jusqu'à présent des locaux qui étaient prêtés par les communes ou par des particuliers. Ceci rendait les conditions de jeu des acteurs ou des intervenants parfois difficiles (problèmes acoustiques, problèmes de lumières...)

C'est pour ces raisons que cette association a commencé à réfléchir quant à l'intérêt d'acquérir ou de réaliser une structure qui permettrait aux artistes de pouvoir jouer dans de bonnes conditions quelque soient les locaux ou les terrains.

On aurait pu penser naturellement que l'association aurait choisi de faire réaliser une structure en acier mais dans un souci d'utiliser les ressources naturelles et de valoriser l'économie et l'industrie locale, l'association Scènes et Territoires a voulu faire appel aux étudiants de l'ENSTIB pour la création d'une structure mobile en bois.

1.2. Contraintes

Pour réaliser ce projet, le maître d'ouvrage a fourni les renseignements ainsi que les contraintes inhérentes à sa future structure.

1.2.1. Matériau

La maîtrise d'ouvrage ayant consulté l'ENSTIB pour réaliser l'étude de ce bâtiment, il était évident que le matériau de base pour la structure serait le bois.

L'une des difficultés fut de répondre par des solutions bois aux problèmes liés au caractère provisoire de la structure. En effet, des solutions particulières doivent être proposées pour résoudre par exemple des éventuels problèmes comme montages et démontages, l'étanchéité ou encore la durabilité.

Un parti pris est de valoriser l'industrie locale, à savoir préférer l'utilisation d'essences locales résineuses tels que le sapin ou le douglas. Il a donc fallu réduire au maximum l'utilisation de bois tropicaux.

1.2.2.Réglementation

Cette structure devait bien évidemment répondre aux différentes normes de sécurité et d'accessibilité comme n'importe quel autre ERP ou salle de spectacle.

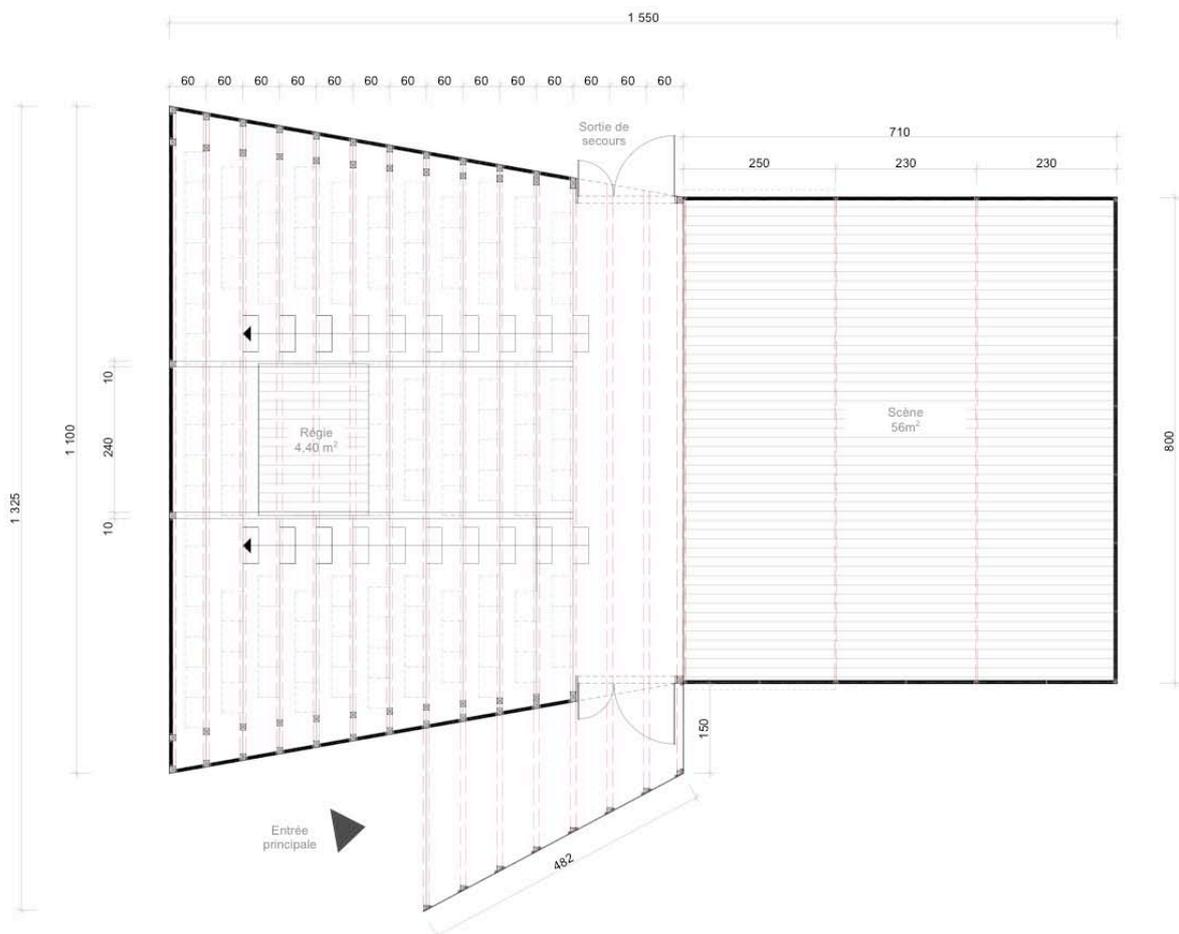
Nous nous sommes donc référé au DTU relatif à la construction bois, à la norme Chapiteau Tente et Structure et au document de réglementation des Etablissement Recevant du Public.

1.2.3.Capacité et dimensions

La capacité de la salle est de 123 places assises. La scène mesure 7,10 par 8 mètres, ce qui représente une surface de 56,8m², sachant qu'une partie peut servir au rangement pour la scène.

La régie occupe une emprise au sol de 4,8 m², soit 2,4*2m.

L'emprise totale du bâtiment au sol est de 13,25m*15,50m.



1.2.4.Montage

La salle de spectacle devait être montable en une journée par 4 personnes. Il a fallu prendre en compte le fait que les bénévoles de l'association de sont pas des

charpentiers émérites mais des bénévoles qui sont là pour aider et qu'ils n'ont pas nécessairement une grande connaissance du monde la construction. Cela a eu pour effet de devoir créer une structure facilement montable et démontable avec des éléments structurels simples, ne nécessitant que peu d'opération de montages et qui seraient manportables (poids unitaire maximum d'un élément inférieur à 50kg pour 2 personnes).

1.2.5.Performance

Cette structure devait avoir une bonne acoustique pour éviter la propagation des sons vers l'extérieur et surtout pour limiter la réverbération des bruits à l'intérieur.

Elle devait également être isolée thermiquement afin de permettre au spectateur d'assister à la représentation dans de bonnes conditions.

1.2.6.Budget

Le budget pour cette structure ne devait pas excéder 200.000€ hors taxe. Ce budget permettait de concevoir un projet viable, de bonne qualité et durable dans le temps.

Nous devons également prendre soin de créer une structure qui ne demandait que peu d'entretien pour éviter limiter les couts de maintenance et d'exploitation.

2. Parti Architectural

2.1. Concept

Sur la base de l'image de l'appareil photo à soufflets, dès les premières esquisses de chacun, s'est introduite l'idée d'un volume simple qui s'ouvre. Tout au long de la démarche de projet s'est peu à peu fixée cette idée du volume de la scène se projetant vers la salle, d'où le nom de la salle : PROJECTION.



Une seconde référence pour l'enveloppe du bâtiment cette fois, est celle du camion frigorifique dont les parois sont isolantes détaillées ci après dans la partie technique. Cette référence est la base de la réflexion menée sur les parois, elles ont été repensées en fonction du projet.

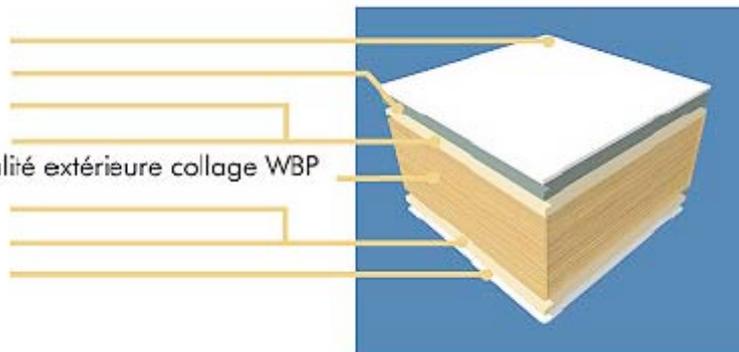


COMPOSITION

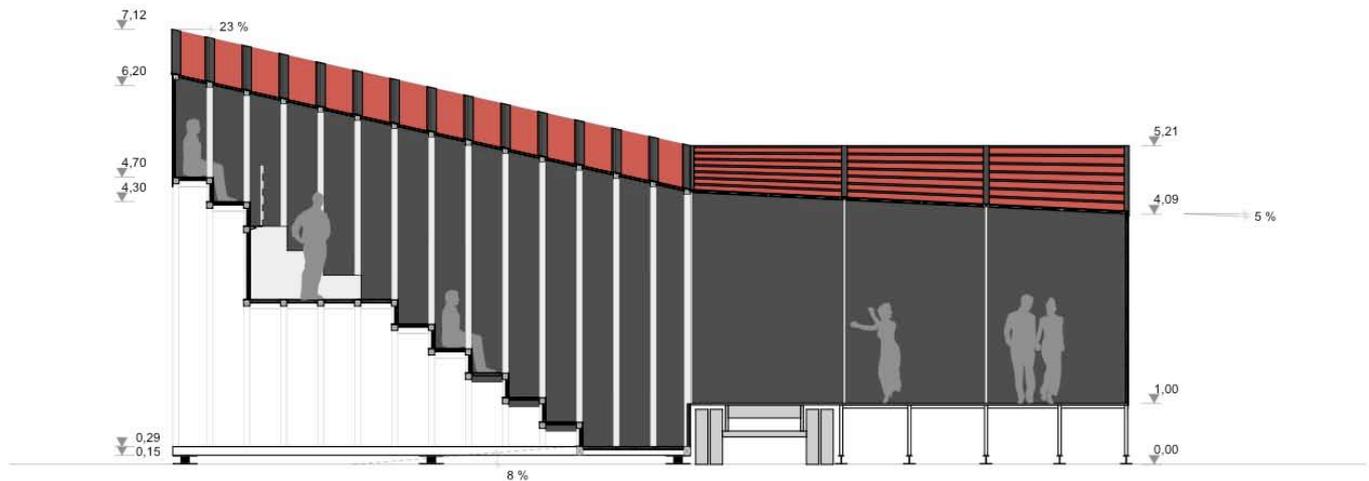
Face extérieure :
Gelcoat
Voile de verre
Résine polyester
Fibre de verre

Partie centrale :
Contre-plaqué qualité extérieure collage WBP

Face intérieure :
Fibre de verre
Résine polyester
Gelcoat



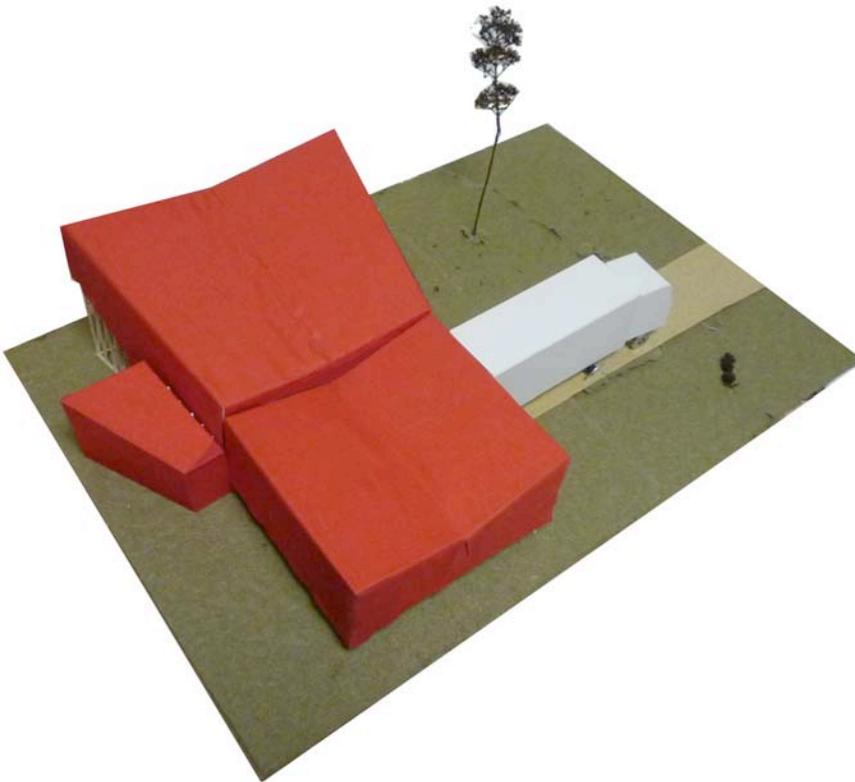
Des choix d'agencement ont été faits d'emblée afin que cette scène ait un aspect comparable aux scènes traditionnelles, dans les théâtres prestigieux. Ainsi, la scène est surélevée, et le spectateur la découvre en contre plongée depuis l'entrée au niveau du sol, avant de s'élever dans la salle en empruntant les escaliers des gradins. **Les critères élémentaires de confort** n'ont pas été négligés bien qu'il s'agisse d'une structure itinérante : puisqu'il est dérangeant d'avoir la tête de son voisin devant soi, l'équipe de maîtrise d'œuvre a prévu des gradins. En outre, les places sont disposées en quinconce pour éviter d'avoir les genoux de son voisin dans le dos.



La mobilité est un point fort du projet, aussi le camion remorque a-t-il un rôle central dans la proposition de l'équipe. Non seulement il transporte le matériel nécessaire au montage de la scène et de la salle, mais il fait intégralement partie du spectacle, car le platelage de la seconde remorque est utilisé pour la scène, et la cabine de la première remorque, une fois vidée, peut servir de loges. L'image même du camion est importante car il est le premier vecteur de communication et promeut les actions de l'association dans toutes les villes qu'il traverse.

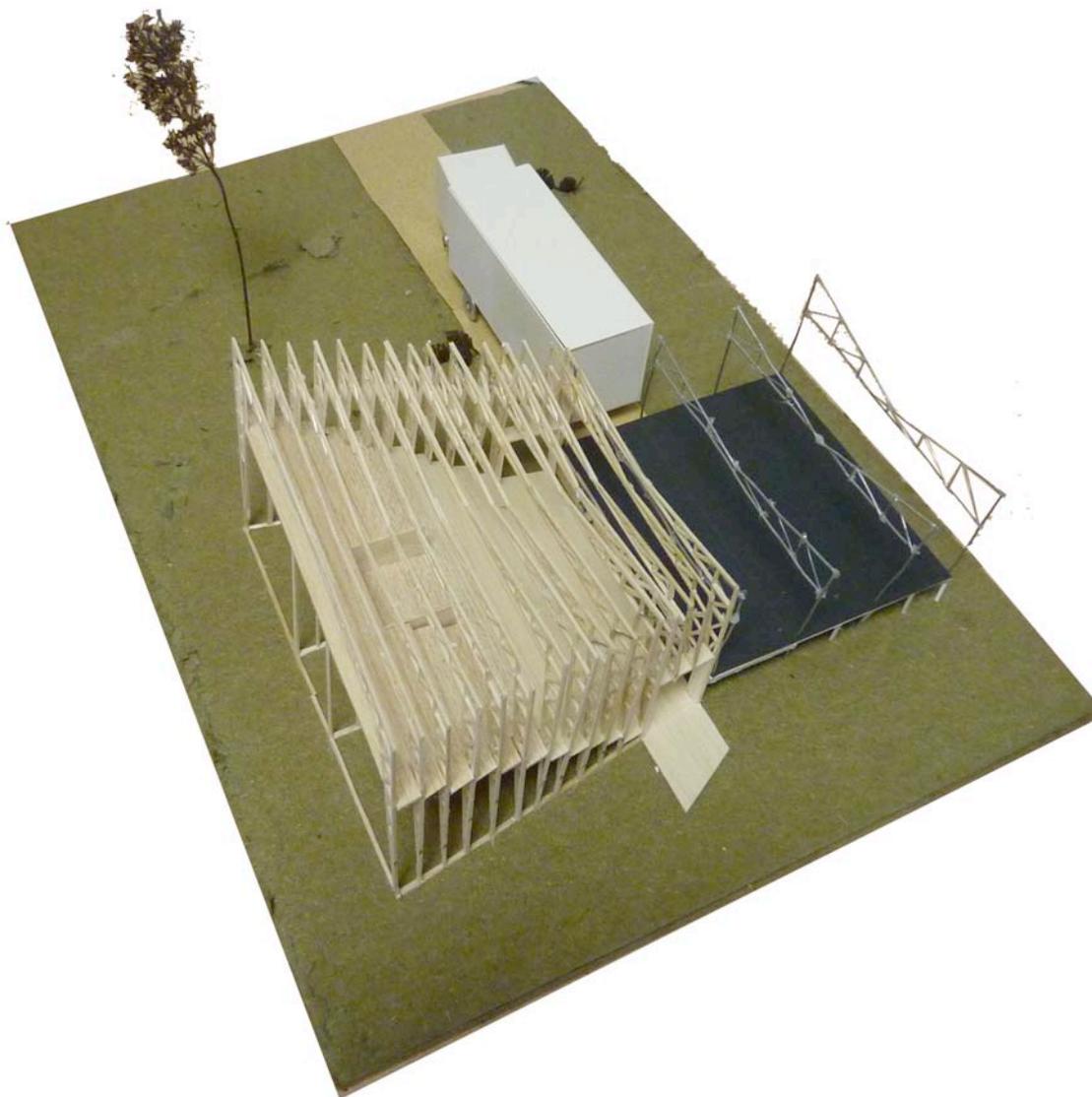


2.2. Forme



La volumétrie est spécifique car se démarquent **trois volumes distincts** : la scène, volume rectangulaire très simple, la salle évasée en largeur qui se décolle peu à peu du sol, pour ressembler à un mince volume rouge suspendu au sommet de pieds élancés à son extrémité ce qui confère un dynamisme au bâtiment et enfin l'entrée qui invite le spectateur à y pénétrer.

Une constante de « Projection » est la **distinction de la scène et de la salle** toujours en référence à l'appareil photo au cœur technique, et à son soufflet qui lui sert de cadre. Certaines contraintes concernant l'étanchéité, la rigidité et la stabilité de l'ensemble ont participé à l'évolution du projet. En définitive, le résultat est remarquable par le volume de la scène à la toiture très inclinée, rythmé par une série de portiques en bois visible à l'intérieur et à l'extérieur. La charpente y est inversée pour générer un ensemble de cadres continus à l'intérieur et des lignes fortes à l'extérieur. La pente de la scène est nulle à l'extérieur des portiques, car elle est en réalité dissimulée au niveau d'une noue intérieure pour évacuer les eaux pluviales.

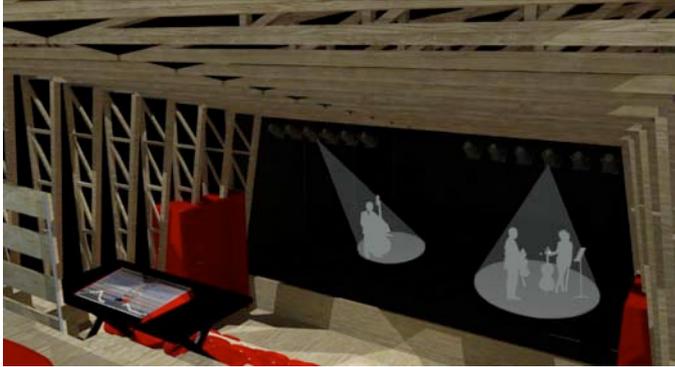


La couleur dans ce projet est très présente, de par l'utilisation d'un rouge foncé, couleur très courante et chère au monde du spectacle. C'est également un clin d'œil à la couleur du logo de Scènes et Territoires, maître d'ouvrage de l'opération. Cela participe à l'élaboration d'un objet qui a pour vocation d'éveiller la curiosité des habitants. Cette scène mobile doit à travers son enveloppe attirer le regard.

2.3. Usages du bâtiment

La scène et la salle peuvent être utilisées indépendamment. Un festival en plein air n'utilisera par exemple que la scène, ce qui ne pose pas de problèmes majeurs, car les éléments dans les camions sont rangés de manière à permettre l'utilisation de l'une ou l'autre structure.

2.4. Ambiances



Toutes les parois sont peintes en noires et font l'objet d'un traitement acoustique. Les portiques et les gradins demeurent en bois apparent. Les autres éléments tels que les portes d'entrée et de sortie de secours sont en rouge ainsi que les coussins. Les éclairages de la salle sont positionnés entre le portique créant des effets de lumière intéressants et une mise en valeur de ces derniers.



3. Solutions techniques

3.1. Salle

3.1.1. Base

Pour faire face aux changements de type de terrain selon les villages et pour compenser une non-planéité, nous avons choisi de « poser » notre structure sur des lisses basses.

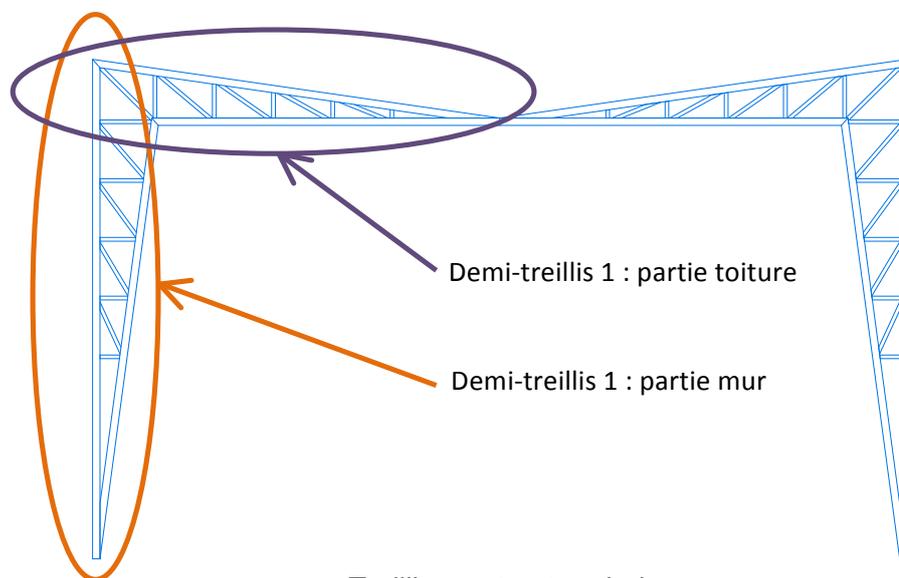
Ces lisses seront en bois autoclavé pour avoir une meilleure durabilité. Elles seront équipées de pieds réglables pour pouvoir être mises de niveau et dans un même plan lors du montage.

3.1.2. Structure

Nous nous sommes orientés dès le départ vers une structure qui formait à la fois les parois verticales et la charpente pour simplifier son montage. Il en a naturellement résulté une structure de type portique 3 articulations.

Pour un transport et une manutention plus simple, nous avons décidé de réaliser des demi-portiques eux même constitués de 2 parties : une partie verticale pour les murs et une horizontale pour la toiture.

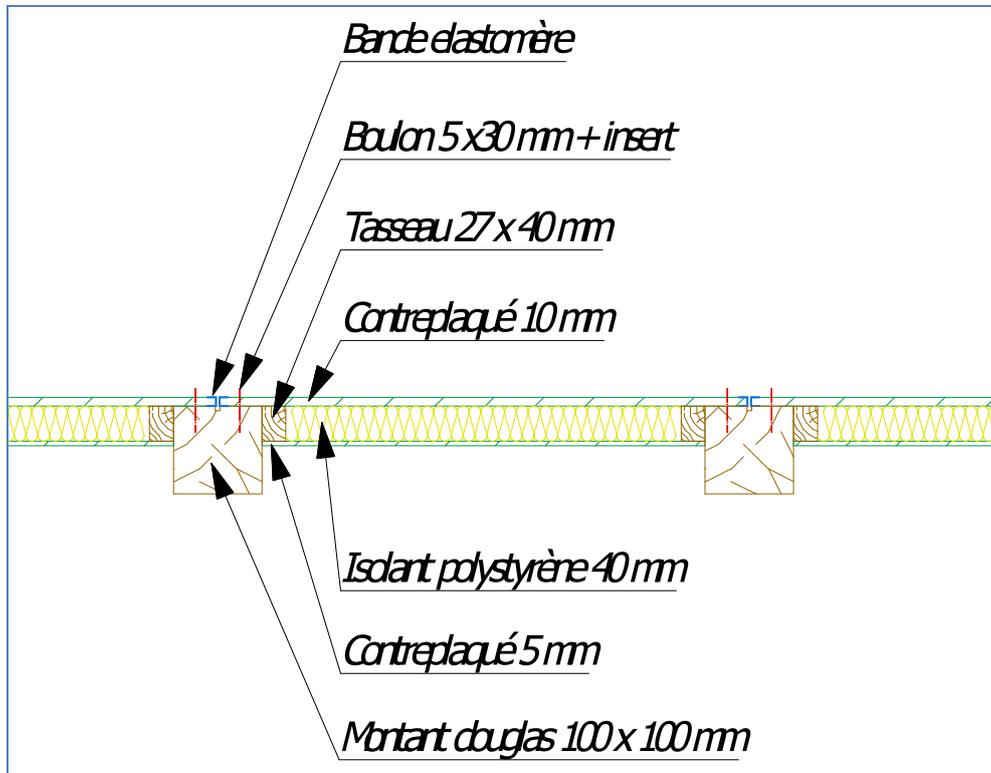
Pour éviter des éléments trop lourds, nous avons choisi de travailler avec un système de type treillis plutôt que du lamellé-collé. Ils sont formés par des membrures de section standard (100 x 100 mm) et des bois plus petit (50 x 50 mm). Les barres sont assemblées entre elles par des broches auto foreuses bois-métal. Elles sont indémontables.



Treillis en structure bois

3.1.3. Parois

La « fermeture » des murs et de la toiture se fait par caissons. Leur composition est décrite sur le schéma ci-dessous.



Détail d'assemblage du caisson

Ils seront placés entre les membrures extérieures de la structure. Le contreplaqué extérieur est assemblé grâce à des boulons qui viennent se visser dans des inserts placés dans le bois.

3.1.4. Gradins

Les gradins sont conçus sur le même système que les parois. Nous utiliserons un système de caisson en contreplaqué avec un isolant. Ces caissons auront une forme de L puisqu'il comprendront à la fois les gradins et les contremarches.

On ajoutera sur les côtés de ce caisson des solives de section 100 x 100 mm. Celles-ci serviront à rigidifier les caissons.

Ils reposeront sur un mur formé de montant et de traverse en bois au centre de la pièce et sur des équerres elles-mêmes fixées sur les portiques d'autre part.

3.2. Structure de la scène

3.2.1. Scène

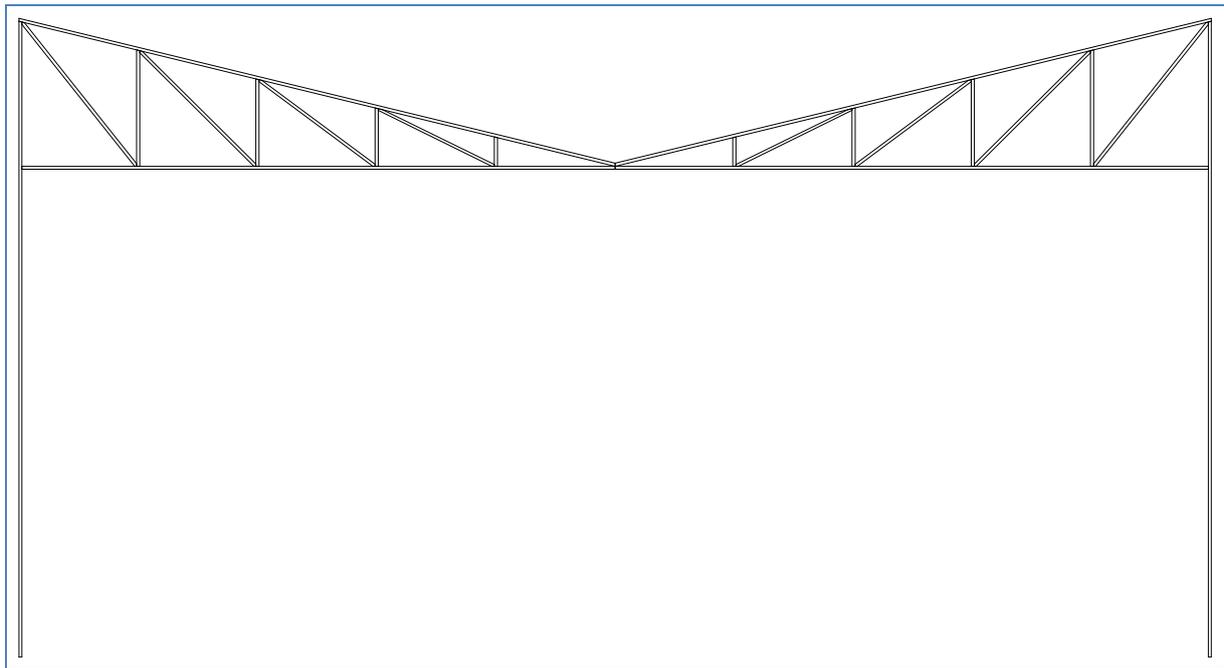
La scène est formée par le plateau du camion. Etant donné que celui-ci ne mesure que 3 mètres de large, nous avons eu recours à un plateau extensible. Pour cela, nous avons rajouté 2 cadres de 2 mètres par 8 mètres en cornière acier qui se déploieront du

camion en couissant grâce à 2 glissières en acier. Ces plateaux seront ensuite recouverts par un platelage de planche en bois massif. Ils seront soutenus par des pieds en acier rapportés.

3.2.2. Charpente

Pour soutenir le matériel de la scène, nous avons jugé plus simple d'utiliser une structure de type « gril ». Elle sera constituée de portique de même forme que ceux en bois mais fabriqué en profilé tube aluminium de diamètre 30 mm. Ce choix permet de simplifier la fixation d'élément comme les projecteurs.

Les quarts de portiques seront préfabriqués comme pour le reste de la structure. Ils seront assemblés entre eux par des boulons au moment du montage.



Portique aluminium

3.3. Assemblage

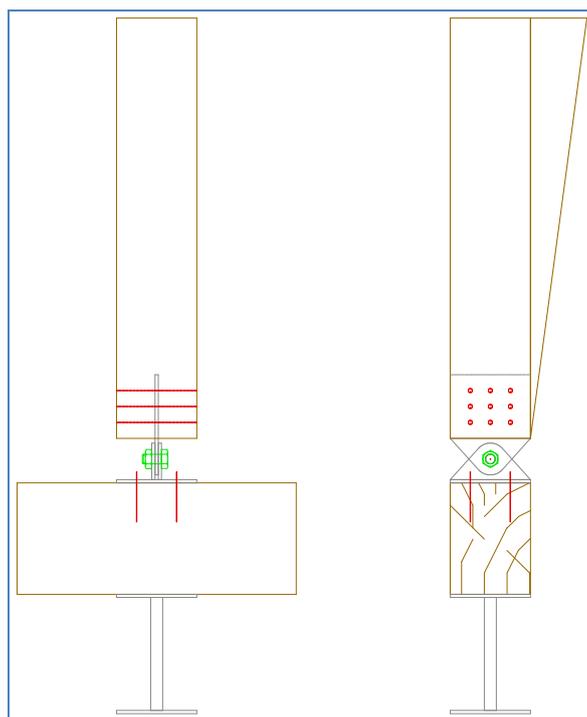
3.3.1. Assemblage en pied

Le choix de l'assemblage de pied s'est fait selon plusieurs critères : le besoin d'une articulation dans le modèle mécanique et pour le levage, la rapidité d'assemblage et la durée de vie de l'assemblage

Notre choix s'est donc porté vers un assemblage par plaque métallique assemblé par un boulon avec écrou.

L'une des plaques métalliques est fixée en âme dans le montant du treillis grâce à des vis bois-métal autoforeuse. L'autre est fixée sur la lisse basse.

Les plaques métalliques ont une épaisseur de 4 mm et le boulon a un diamètre de 12 mm.

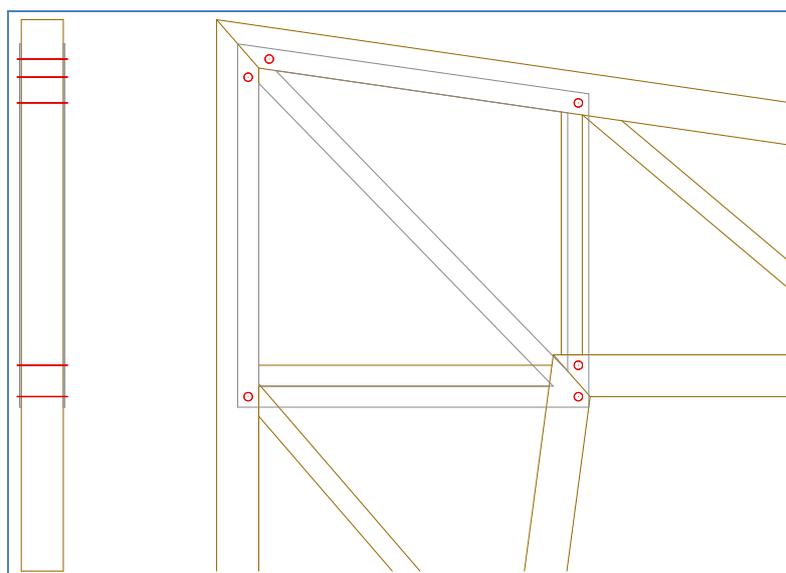


Assemblage en pied

3.3.2. Assemblage au rein

L'assemblage au rein permet, à partir de 2 parties manportables, de former un seul demi-portique pour le levage. Cet assemblage doit être encasté pour assurer la stabilité du portique dans son plan.

Nous avons eu recours ici à un assemblage par plaques métalliques moisantes. Chacune des plaques est fixée sur l'une ou l'autre des 2 parties. Après montage, le bois se trouvera pincé entre les 2 plaques d'épaisseur 4 mm. Les efforts entre le treillis toiture et le métal puis entre le métal et le treillis mur seront transmis par 6 boulons de diamètre 10 mm.

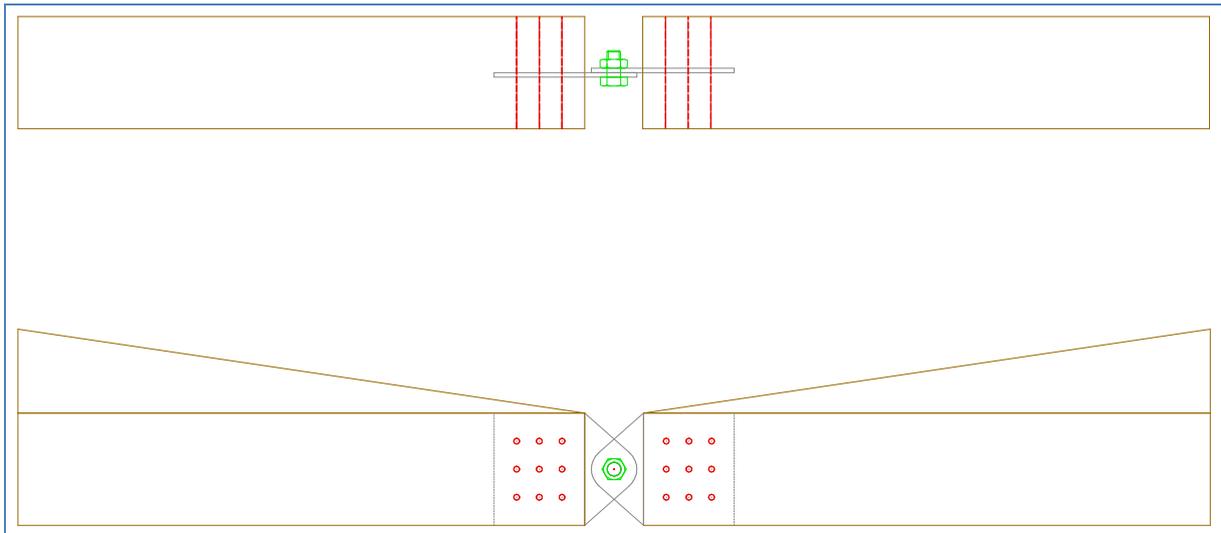


Assemblage au rein

3.3.3. Assemblage en tête

Cet assemblage sert à relier les 2 demi-portiques entre eux. Il modélise une articulation qui sera assemblée au moment du montage de la structure.

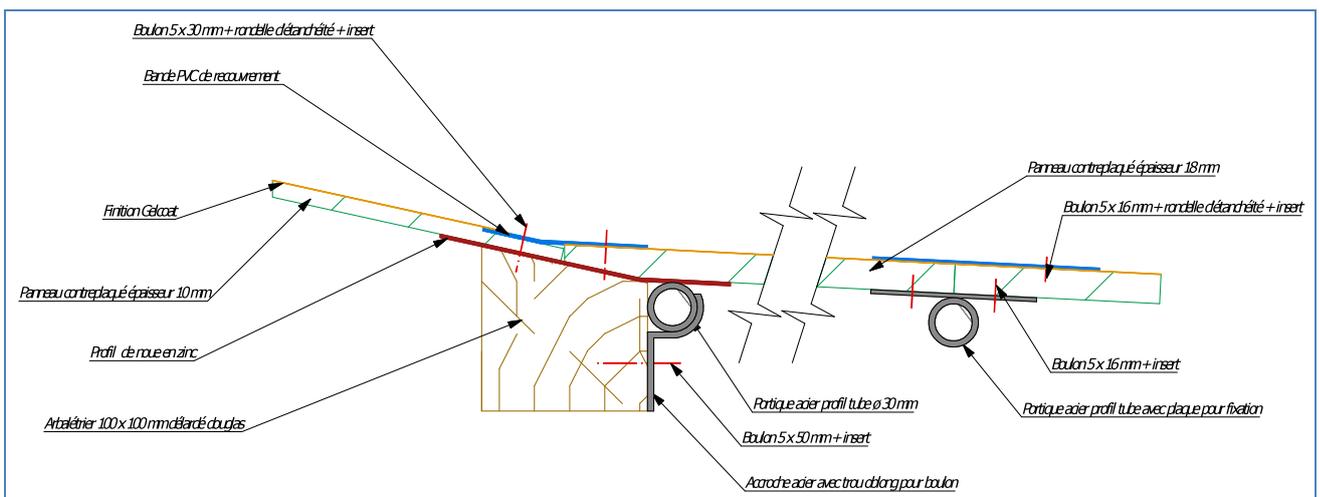
Comme pour l'assemblage de pied, ce sont 2 plaques métalliques d'épaisseur 4 mm qui sont assemblées entre elles par un boulon et écrou diamètre 12 mm. Les plaques sont solidaires du bois grâce à des vis bois-métal autoforeuses.



Assemblage en tête

3.3.4. Assemblage entre la salle et la scène

Le détail constructif suivant montre l'assemblage entre le dernier portique aluminium et le premier portique bois.



Détail d'assemblage des 2 parties de structure en toiture

La particularité est l'accroche en métal qui relie les 2 portiques. Elle sera fixée uniquement dans le portique bois. L'accroche est fixée au bois par un boulon dans un insert. Elle est munie d'un trou oblong pour permettre un ajustement en hauteur entre les 2 parties de la structure en fonction des aléas du terrain. Elle servira à rigidifier la structure en évitant que les 2 parties bougent verticalement l'une par rapport l'autre.

On peut voir sur le détail que le panneau de toiture de la scène viendra porter sur le portique métallique mais sera fixé sur l'arbalétrier.

3.4. Etanchéité

3.4.1. Panneau de mur

Notre solution d'assemblage des murs (voir partie 3.1.3) offre des possibilités d'infiltrations d'eau. Nous les avons résolus avec les dispositifs suivants.

Les panneaux de contreplaqués sont recouverts en extérieur d'une couche de finition « Gelcoat » pour les rendre durable dans le temps face aux intempéries.

Des bandes élastomères sont collées sur les joints longitudinaux des panneaux. Elles seront plus efficaces après placage et serrage des panneaux par les boulons.

Une rainure est usinée et une feuille de zinc est collée sur les montants pour faciliter l'écoulement de l'eau et empêcher le pourrissement des bois.

Une rondelle d'étanchéité type EPDM est placée sous la tête des boulons pour éviter les infiltrations d'eau dans le bois le long de ces organes.

3.4.2. Panneau de toiture

La solution d'étanchéité ressemble à celle des panneaux de mur. Etant donné que les surfaces sont horizontales et à faible pente, la solution sera la suivante.

Une bande de PVC souple d'une largeur de 150 mm sera fixée sur le côté droit et en partie basse de chaque panneau. Cette bande souple recouvrira les joints avec les panneaux adjacents et limitera les infiltrations d'eau. Pour éviter son soulèvement par le vent, elle sera traversée par les boulons de fixations du contreplaqué.

Les systèmes de finition « Gelcoat » sur le contreplaqué, de bandes élastomère sur les joints, de feuilles de zinc sur les treillis et de rondelles d'étanchéité sous les boulons seront évidemment conservés.

3.4.3. Toiture

La forme du bâtiment induit une noue au milieu du bâtiment. Cette particularité demande des solutions d'étanchéité particulière que nous avons traitée comme suit.

On viendra placer en fond de noue (sur les treillis et sous les panneaux) une feuille de zinc d'étanchéité. Celle-ci aura une forme de V et une longueur de 5 m. Elle permettra d'évacuer l'eau de la noue jusque derrière la scène.

Sur les panneaux de toiture placés sur la noue, la bande d'étanchéité PVC sera double : l'une passera au-dessus du panneau et l'autre en dessous.

3.5. Confort acoustique

Pour obtenir un bon confort acoustique à l'intérieur lors des représentations, nous avons eu recours à plusieurs solutions.

La structure treillis visible à l'intérieur n'est pas alignée avec les parois. Cette non-linéarité des parois limite la réverbération des échos flottants.

Les panneaux de contreplaqué intérieurs sont micro-perforés. Ceci donne aux parois une capacité d'absorption bien plus grande et améliore leur efficacité. Nous avons ici préféré le contreplaqué à un tissu acoustique. Il apporte une capacité un peu moindre mais sert à la fois pour l'acoustique, la thermique et la rigidité des parois. Il est en outre plus facile d'entretien.

Le complexe de paroi contreplaqué / isolant / contreplaqué permet de recréer un système masse / ressort / masse et limite la propagation des bruits vers l'extérieur. Ceci permettra aux personnes extérieures de ne pas être trop dérangées lors des représentations.

3.6. Isolation thermique

Afin de répondre au cahier des charges et permettre aux utilisateurs de la salle de pouvoir voir une représentation dans des conditions confortables, nous souhaitons pouvoir isoler notre structure. Sans pour autant avoir une structure type BBC complètement étanche et isolée, nous souhaitons pouvoir garder un peu la chaleur et ainsi éviter d'avoir à trop chauffer à l'aide de souffleur d'air chaud. Eviter d'utiliser un souffleur permet de diminuer les nuisances dues à l'utilisation de ce système.

Essai 1 : le tout textile

Nous voulions dans un premier temps créer une structure qui utiliserait des tissus type tissus Ferrari dans une optique de vouloir créer une structure où il n'y aurait qu'à installer les montants et tendre un tissu. Après avoir pris des renseignements auprès de différents fabricants, nous avons dû abandonner l'idée de n'utiliser que du tissu. En effet, l'un des problèmes que posait cette solution était un problème thermique à savoir que le tissu avait un U équivalent à une paroi béton ce qui n'aurait pas permis aux usagers de pouvoir assister dans de bonnes conditions aux représentations : il aurait fait trop froid en hiver, et en été la structure aurait eu l'effet de « four ».

Essai 2 : le mixte textile - bois

Dans un second temps nous nous sommes dirigés vers la création d'une paroi similaire aux parois des maisons à ossature bois avec une paroi OSB en peau intérieure et un tissu tendu qui servirait de parement extérieur. Afin de rigidifier l'ensemble et de simplifier la pose, nous avons prévu d'utiliser un isolant rigide type mousse polyuréthane. Mais notre solution rencontrait des problèmes notamment pour obtenir un tissu suffisamment tendu qui éviterait les infiltrations et les rétentions d'eau.

Choix final : le panneau sandwich bois

Suite à la présentation intermédiaire, il nous a été fait la remarque qu'il serait peut-être plus intéressant de créer une structure avec des parois rigides en utilisant le principe des parois de camions frigorifiques de transport de denrées.

Nous avons donc opté pour cette dernière solution à savoir :

- 10 mm de contreplaqué en extérieur, enduit de Gelcoat
- 40 mm de polystyrène expansé
- 5 mm de contreplaqué en intérieur, perforé et peint en noir pour l'acoustique

Cette solution nous apporte un U total de $0.77 \text{ W/m}^2.\text{K}$ en prenant en compte les coefficients de transmission surfacique. Elle s'applique pour toutes les parois horizontales et verticales.

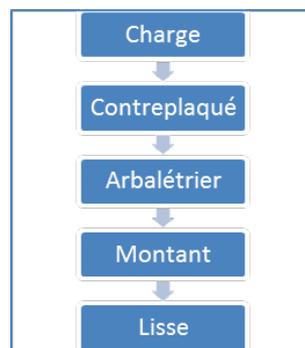
Cette valeur est finalement assez faible mais il aurait été inutile de dépenser trop d'argent dans l'isolation de surface compte tenu des nombreux ponts thermiques linéiques.

4. Stabilité de la structure

4.1. Principe de stabilité

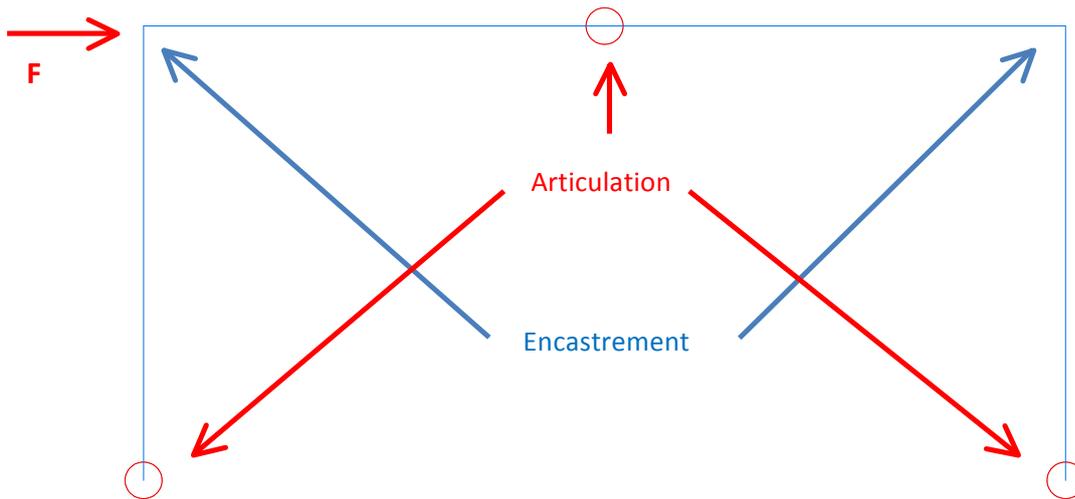
4.1.1. Descente de charges

Les charges permanentes et climatiques verticales transitent comme suit dans la structure :



4.1.2. Stabilité transversale

Nous avons choisi de concevoir la structure par portiques à 3 articulations.



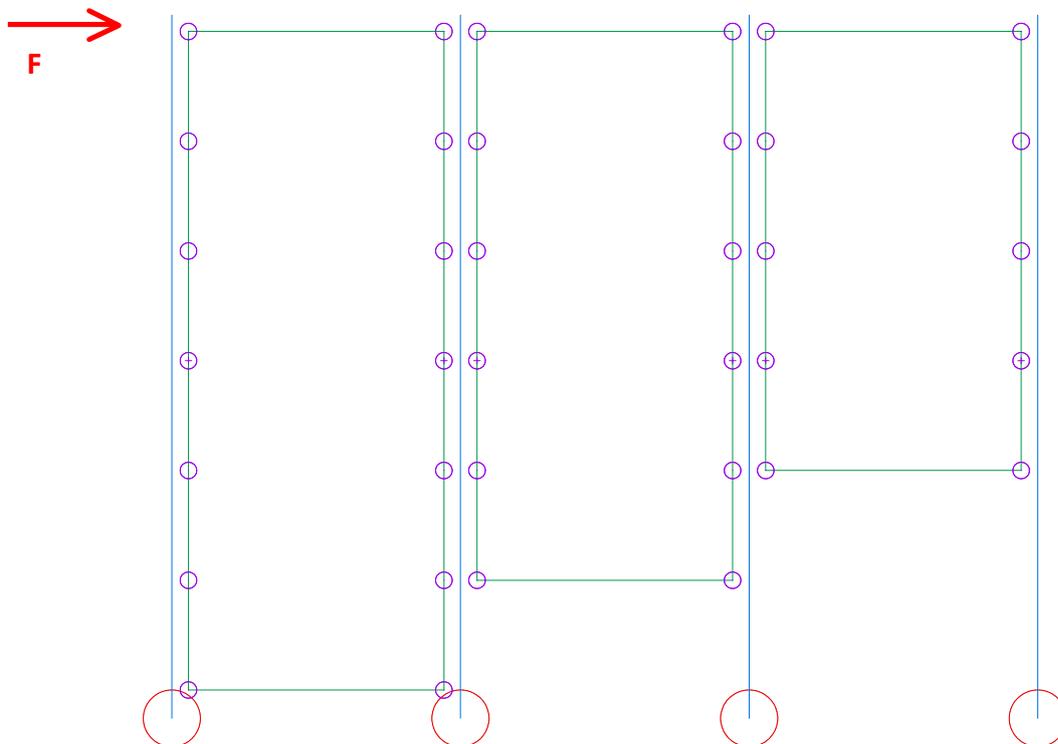
Modèle cinématique du portique

Cette conception rend la structure stable dans le sens transversal.

4.1.3. Stabilité longitudinale

Dans le sens de la longueur du bâtiment, rien n'empêche les portiques de déverser et d'entraîner avec eux toute la structure.

Cette fonction de stabilité est assurée par les panneaux des parois. Le contreplaqué extérieur sert ainsi de voile travaillant et les coutures sont réalisées avec les boulons de fixations et inserts. On retrouve donc le principe de stabilité utilisé dans les bâtiments à ossature bois.



Modèle cinématique de la structure

4.1.4. Stabilité à la torsion

De même que pour la stabilité longitudinale, ce sont les panneaux d'ossature qui permettent de reprendre les efforts qui créent de la torsion sur le bâtiment.

Les panneaux en toitures formeront un diaphragme rigide qui évitera que le bâtiment se déforme sous l'effet du vent.

4.2. Charges appliquées

4.2.1. Charge permanente

Description	Valeur (daN/m ²)
Contreplaqué 10 mm	3.6
Isolant 40 mm	0.96
Contreplaqué 5 mm	2.16
Tasseau des caissons 27 x 40 mm	0.86
Portiques	41.2
Solives des gradins	9.6

Soit un total de charges de :

$$G_{toit} = 48.8 \text{ daN/m}^2$$

$$G_{mur} = 48.8 \text{ daN/m}^2$$

$$G_{gradin} = 58.4 \text{ daN/m}^2$$

4.2.2. Charge d'exploitation

D'après l'Eurocode 1, on se place dans la catégorie C2, c'est-à-dire « lieu de réunion équipé de sièges fixes (tels que cinéma, théâtre) ».

Dans cette configuration, on obtient

$$Q = 180 \text{ daN/m}^2$$

4.2.3. Charge de neige

D'après la norme CTS, une structure provisoire doit être évacuée lorsque l'épaisseur de neige sur le toit dépasse 4 centimètres.

On prendra une masse volumique de la neige $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$

Soit une charge

$$S = 4 \text{ daN/m}^2$$

4.2.4. Charge de vent

Nous nous sommes placés en région 2 (Lorraine) et en zone II (rase campagne).

A une hauteur de 6 mètres, ceci nous donne une pression $qp_z = 717 \text{ daN/m}^2$

Les coefficients de pression pour une toiture plate sont les suivants :

Coefficient intérieur	Coefficient extérieur mur	Coefficient extérieur toit
+0.2	-1.0	-1.2
-0.3	+0.7	+0.2

En multipliant par les coefficients de pression et dépression les plus défavorables, on obtient :

$$W_{mur} = +71.8 \text{ daN/m}^2 \text{ ou } W_{mur} = -86.0 \text{ daN/m}^2$$

$$W_{toit} = +35.9 \text{ daN/m}^2 \text{ ou } W_{toit} = -100.4 \text{ daN/m}^2$$

4.3. Vérification structurelle des barres

4.3.1. Solive des gradins

On vérifiera la dernière travée, d'une portée de 4.5 mètres avec une bande de chargement de 30 cm.

Les solives sont en C24, de sections 100 x 100 mm utilisées en classe de service 2.

$$\sigma_{m_d} \leq f_{m_d}$$

$$\frac{6 \times (1.35 \times G_{gradin} + 1.5 \times Q_{gradin}) \times entraxe \times l^2}{8 \times b \times h^2} \leq \frac{f_{m_k} \times k_{mod} \times k_h \times k_{crit}}{\gamma_m}$$

$$\frac{6 \times (1.35 \times 0.58 + 1.5 \times 1.8) \times 0.3 \times 4500^2}{8 \times 100 \times 100^2} \leq \frac{24 \times 0.8 \times 1.08 \times 1}{1.3}$$

$$15.86 \leq 15.95$$

Soit un taux de travail de 99.3 %

$$\tau_{v_d} \leq f_{v_d}$$

$$\frac{1.5 \times (1.35 \times G_{gradin} + 1.5 \times Q_{gradin}) \times entraxe \times l}{b \times h \times 2} \leq \frac{f_{v_k} \times k_{mod} \times k_v}{\gamma_m}$$

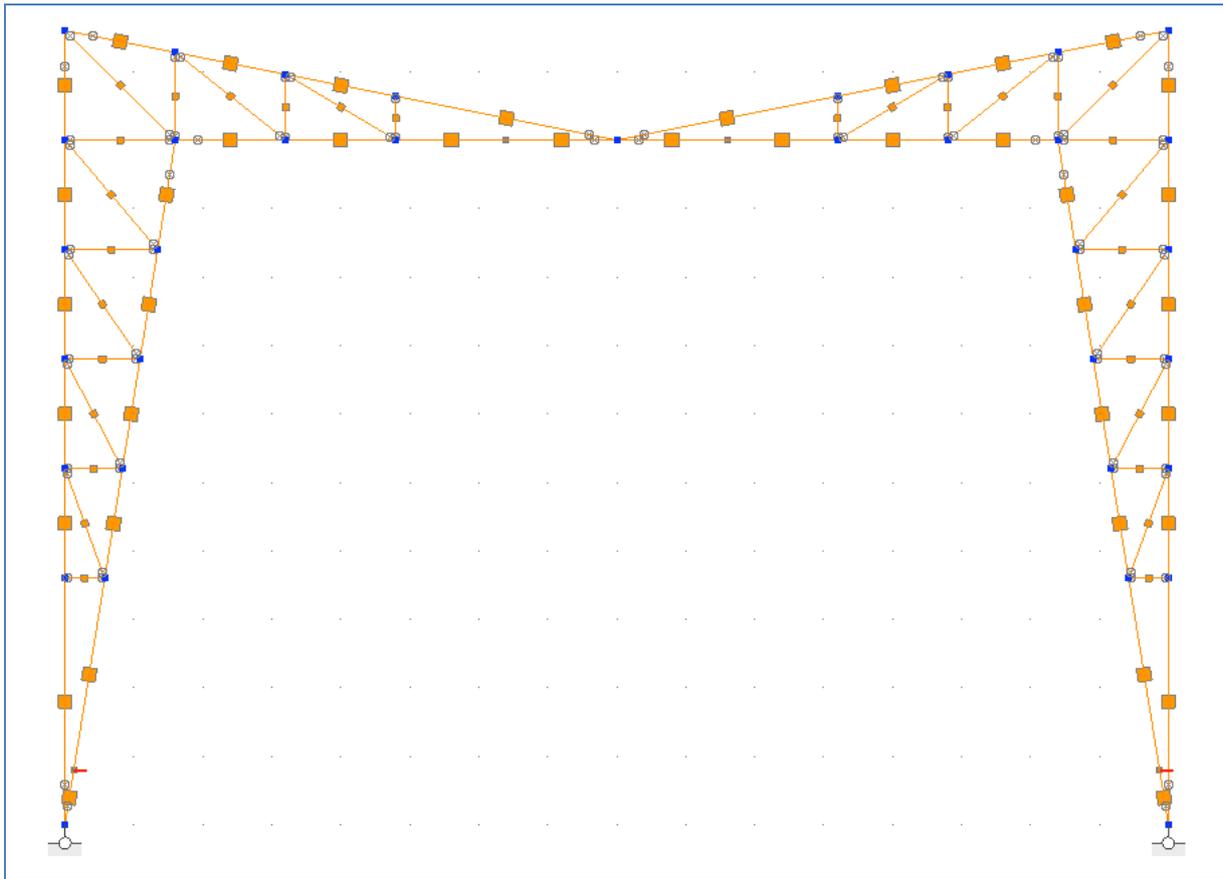
$$\frac{(1.35 \times 0.58 + 1.5 \times 1.8) \times 0.3 \times 4500}{100 \times 100 \times 2} \leq \frac{2.5 \times 0.8 \times 1}{1.3}$$

$$0.35 \leq 1.54$$

Soit un taux de travail de 22.9 %

4.3.2. Portiques

Etant donné la relative complexité du portique, nous avons choisi de le dimensionner sous le logiciel Acord-Bat.



Modèle du portique sous Acord-Bat 3D

Les hypothèses suivantes ont été retenues.

Les membrures hautes et basses des portiques sont en C24 de section 100 x 100 mm utilisées en classe de service 2.

Les diagonales sont en C24 de sections 50 x 50 mm utilisées en classe de service 2.

Les appuis sont des articulations, toutes les barres sont bi-articulées entre elles.

Le portique le plus défavorable (le dernier) a une portée de 11 m, une hauteur de 5.4 m et un entraxe de 60 cm.

On obtient le tableau de résultat suivant :

Cas de charge	Barre	Sollicitation	Taux de travail
1.35 G + 1.5 W dépression	Membrure haute arbalétrier	Flexion + compression	92.7 %
1.35 G + 1.5 W dépression	Membrure extérieure poteau	Cisaillement	7.2 %
1.35 G + 1.5 W dépression + 1.05 Q	Membrure extérieure poteau	Flexion avec déversement	84.7 %

4.4. Vérification structurelle des assemblages

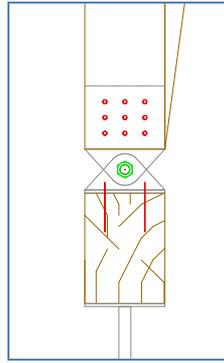
4.4.1. Articulation de pied

Données :

Les ferrures d'épaisseur 4 mm sont en acier S235

Les boulons de diamètre 12 mm sont en qualité 6.8. Ils sont utilisés en double cisaillement.

L'effort maximum appliqué aux ELU est de 9.97 kN



Articulation de pied

Les ferrures sont fixées dans le bois grâce à des vis bois-métal autoforeuse. On s'intéressera ici à la vérification du boulon et de la ferrure.

Pression diamétrale :

$$F_{b.Ed} \leq F_{b.Rd}$$

$$F_{b.Ed} \leq k1 \times \alpha_d \times d \times t \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$4\,985 \leq 1 \times 1 \times 12 \times 4 \times \frac{360}{1.25}$$

$$4\,985 \leq 13\,824\,N$$

Cisaillement :

$$F_{v.Ed} \leq F_{v.Rd}$$

$$F_{v.Ed} \leq 0.5 \times A_s \times \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$4\,985 \leq 0.5 \times 84.3 \times \frac{600}{1.25}$$

$$4\,985 \leq 20\,232\,N$$

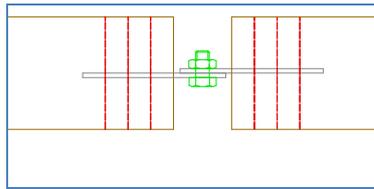
4.1.1. Articulation de tête

Données :

Les ferrures d'épaisseur 4 mm sont en acier S235

Les boulons de diamètre 12 mm sont en qualité 6.8. Ils sont utilisés en simple cisaillement.

L'effort maximum appliqué aux ELU est de 4.01 kN



Articulation de tête

Les ferrures sont fixées dans le bois grâce à des vis bois-métal autoforeuse. On s'intéressera ici à la vérification du boulon et de la ferrure.

Pression diamétrale :

$$F_{b.Ed} \leq F_{b.Rd}$$

$$F_{b.Ed} \leq k_1 \times \alpha_d \times d \times t \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$4\,010 \leq 1 \times 1 \times 12 \times 4 \times \frac{360}{1.25}$$

$$4\,010 \leq 13\,824\,N$$

Cisaillement :

$$F_{v.Ed} \leq F_{v.Rd}$$

$$F_{v.Ed} \leq 0.5 \times A_s \times \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$4\,010 \leq 0.5 \times 84.3 \times \frac{600}{1.25}$$

$$4\,010 \leq 20\,232\,N$$

4.1.2. Encastrement au rein

Données :

Les ferrures d'épaisseur 4 mm sont en acier S235

Les boulons de diamètre 10 mm sont en qualité 6.8. Ils sont utilisés en simple cisaillement.

L'effort maximum appliqué aux ELU est de 4.01 kN

Le logiciel nous donne un effort appliqué de 3.98 kN sur le boulon le plus chargé. Cet effort est la résultante calculée des efforts normaux, des efforts tranchants et des moments appliqués à l'assemblage.

Grâce à une feuille de calcul, on trouve un effort maximum admissible de 4.01 kN

4.5. Vérification des déformations

4.5.1. Solive des gradins

Données :

Les données concernant la géométrie et le matériau sont les mêmes que pour la vérification structurelle.

L'Eurocode 1 nous donne une flèche admissible de $1/200^{\text{ème}}$ pour la vérification instantané et de $1/100^{\text{ème}}$ pour la vérification finale.

Flèche instantanée :

$$u_{inst} \leq u_{admissible}$$

$$\frac{5 \times Q_{gradin} \times entraxe \times l^4}{384 \times E \times I} \leq \frac{4500}{200}$$

$$\frac{5 \times 1.8 \times 0.3 \times 4500^4}{384 \times 12000 \times 8\,333\,333} \leq \frac{4500}{200}$$

$$22.3 \leq 22.5 \text{ mm}$$

Flèche finale :

$$u_{fin} \leq u_{admissible}$$

$$\frac{5 \times (1.8 \times G_{gradin} + 1.48 \times Q_{gradin}) \times entraxe \times l^4}{384 \times E \times I} \leq \frac{4500}{100}$$

$$\frac{5 \times (1.8 \times 0.58 + 1.48 \times 1.8) \times 0.3 \times 4500^4}{384 \times 12000 \times 8\,333\,333} \leq \frac{4500}{100}$$

$$43.8 \leq 45 \text{ mm}$$

4.5.2. Portiques

Le logiciel Acord Bat nous donne les taux de travail suivants pour la vérification des déplacements.

Barre	Vérification	Taux de travail
Membrure haute arbalétrier	Flèche instantanée	9.9 %
Membrure haute arbalétrier	Flèche finale	6.3 %

La structure est donc vérifiée pour les déplacements.

5. Préparation

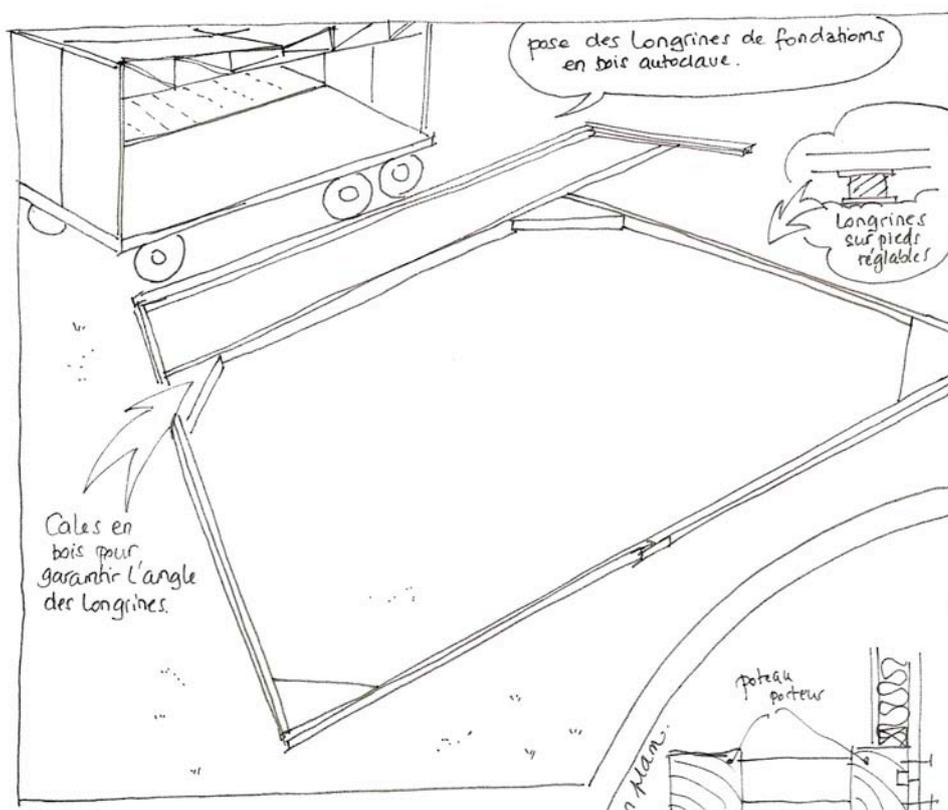
5.1. Montage et Démontage

Le maître d'ouvrage a émis le souhait de pouvoir monter/démonter sa future structure en une journée par 4 personnes qui ne sont pas nécessairement des personnes de la profession, ni de grand bricoleur.

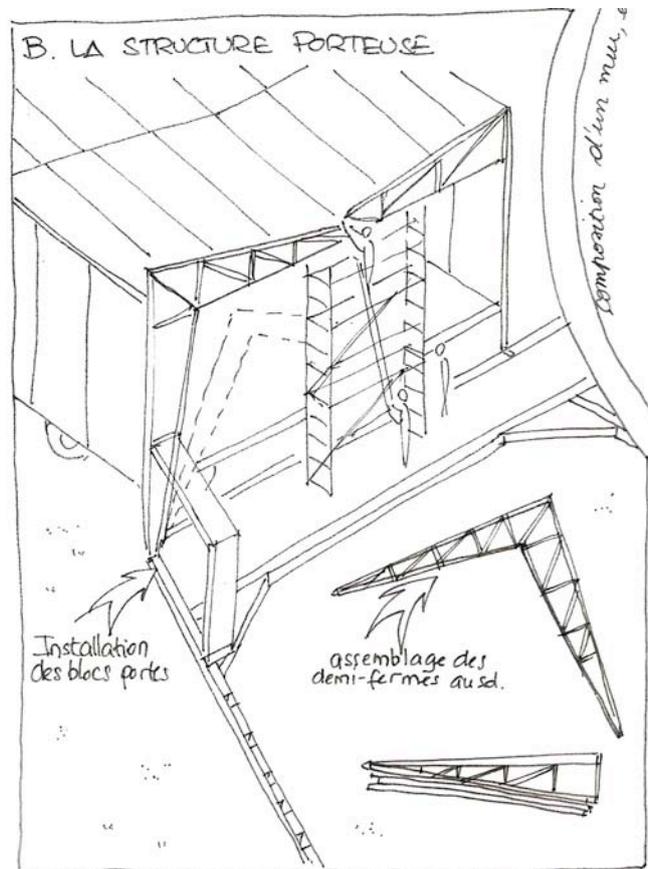
C'est dans un esprit de rendre le montage le plus simple possible, que nous avons souhaité éviter d'avoir de trop nombreuses opérations différentes à effectuer et trop de manipulations. C'est pourquoi nous avons mis des inserts dans chaque élément de construction, qui permettront de « pré-fixer » la structure. Il suffira seulement aux personnes de venir ajuster les serrages à l'aide de visseuse pour parachever les fixations des éléments.

Montage de la scène : une structure autonome. La scène est montée en tout premier, en s'appuyant sur la plus grande remorque du camion. On y fixe des poteaux + poutres métalliques, ainsi qu'une ossature en cornières recevant un platelage de bois.

Principe de montage de la salle : la boucle. Le montage s'organise sous forme de boucle, c'est-à-dire que les monteurs répètent pour chaque portique les mêmes opérations (15 fois) pour monter la structure. Il se décompose ainsi, après mise en place du cadre rigide des fondations au sol :

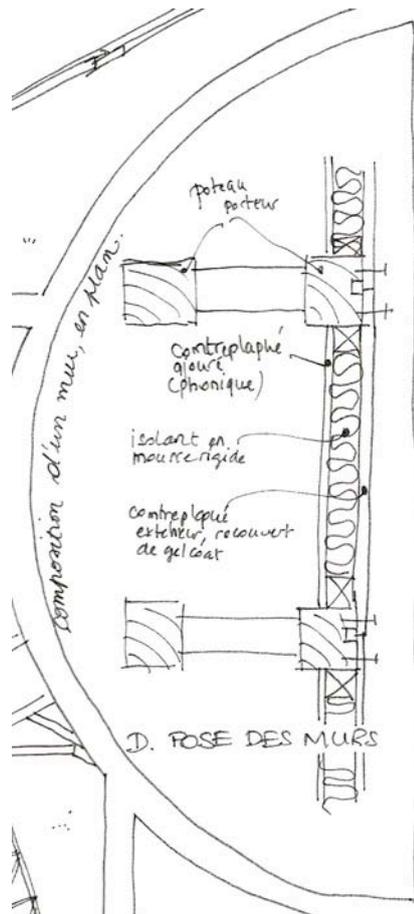


_ Mise en place d'un portique bois à l'aide de palans fixés sur un échafaudage mobile. On commence par le portique le plus bas, qui est celui le plus proche de la scène.

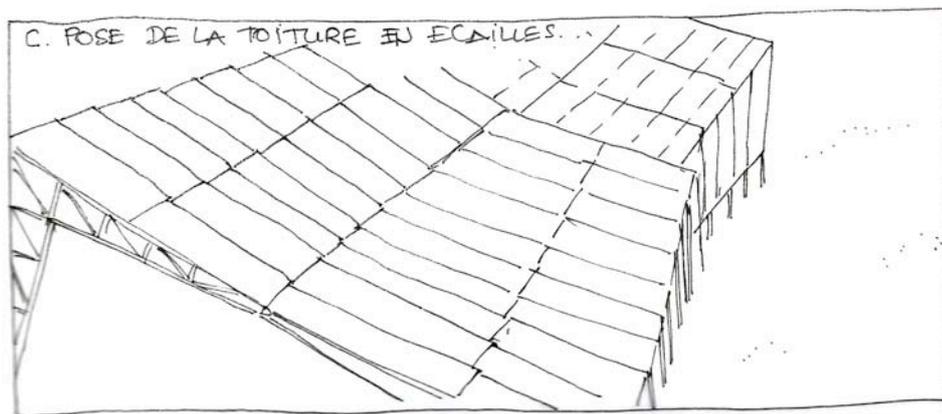


_ Mise en place des blocs-porte.

_ Mise en place des éléments muraux afin de rigidifier et contreventer la structure.



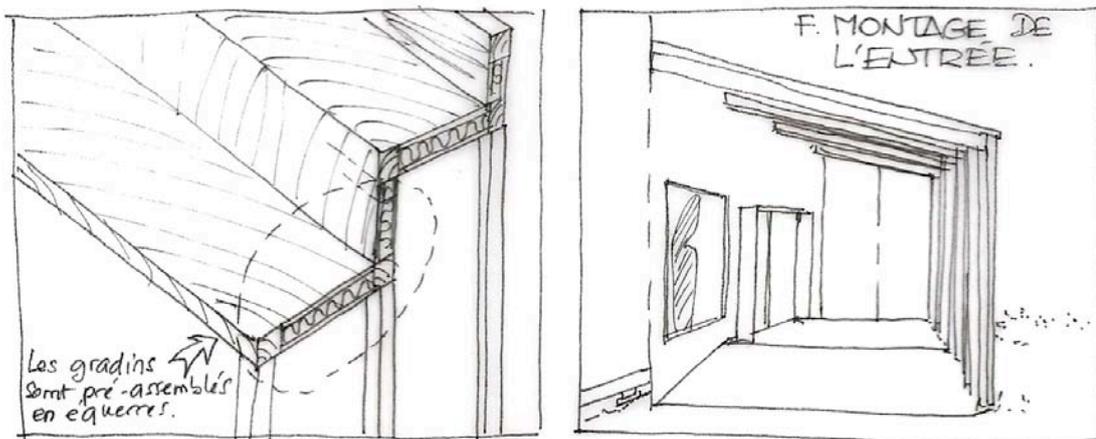
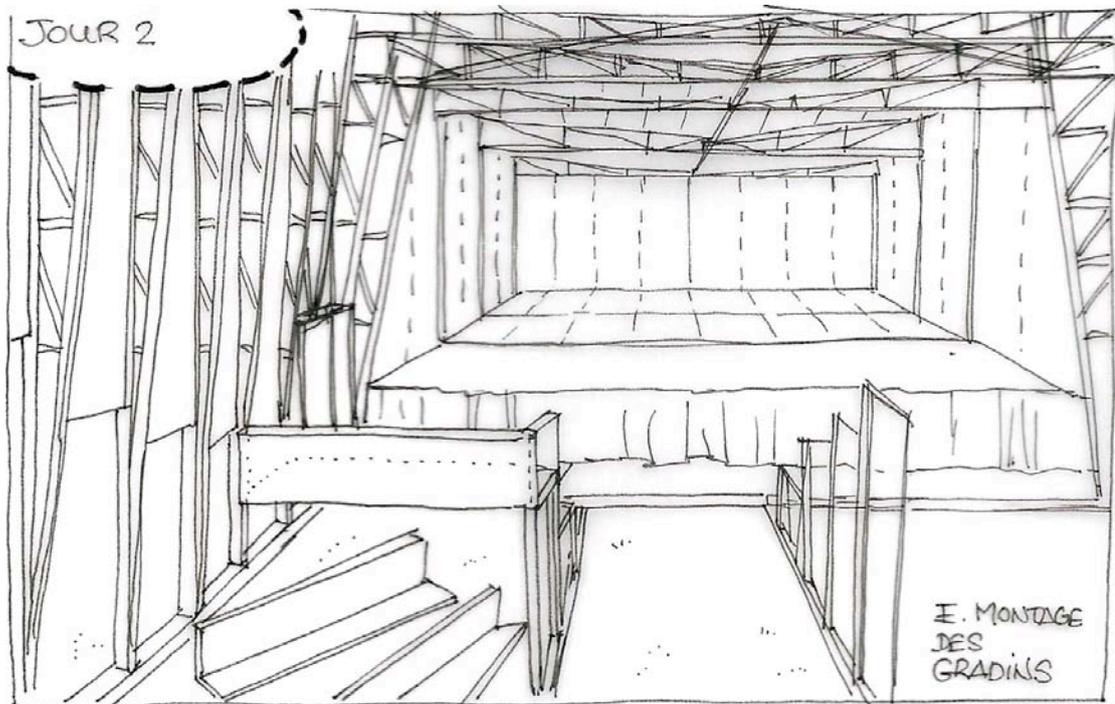
- _ Mise en place de la noue métallique de toiture,
- _ Mise en place des éléments en écaille de la toiture (une personne pourra monter sur le toit).



- _ Mise en place des éléments muraux avec un échafaudage extérieur
- _ Mise en place du deuxième portique en bois,
- _ Etc....

Le montage des gradins se fait de manière automatique aussi. Une fois l'enveloppe extérieure créée, il suffit de mettre en place les tribunes en avançant au fur et à mesure vers le fond de la salle, puis d'installer la régie.

L'entrée, qui s'appuie sur certains portiques, est montée en dernier.



Délais : Notre salle de spectacle se monte en 1 journée et demie. La scène étant assemblée en premier, les artistes peuvent y répéter très rapidement, sans régie complète dans un premier temps, car il faut attendre le montage des gradins le lendemain pour que la régie soit totalement opérationnelle.

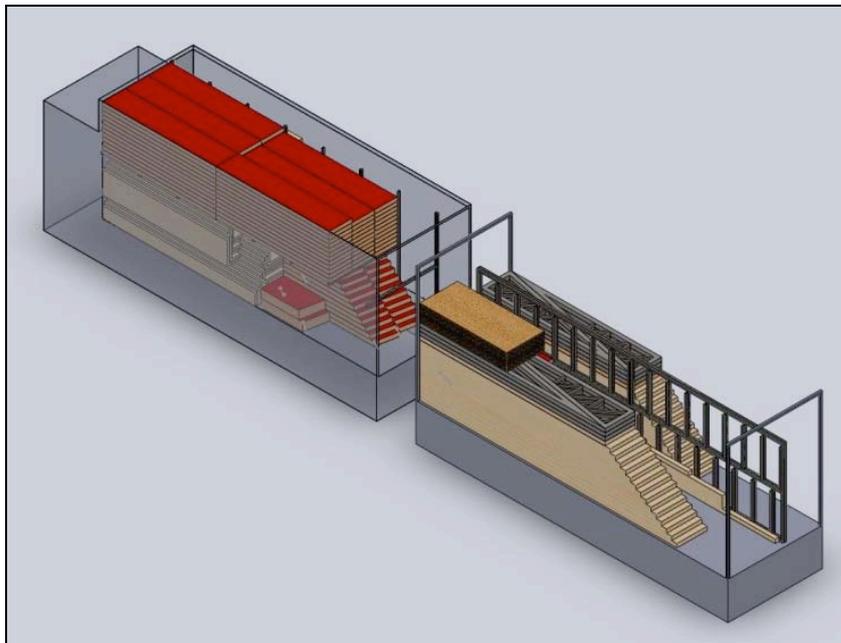
Le démontage s'effectue dans l'ordre inverse

5.2. Rangement du camion

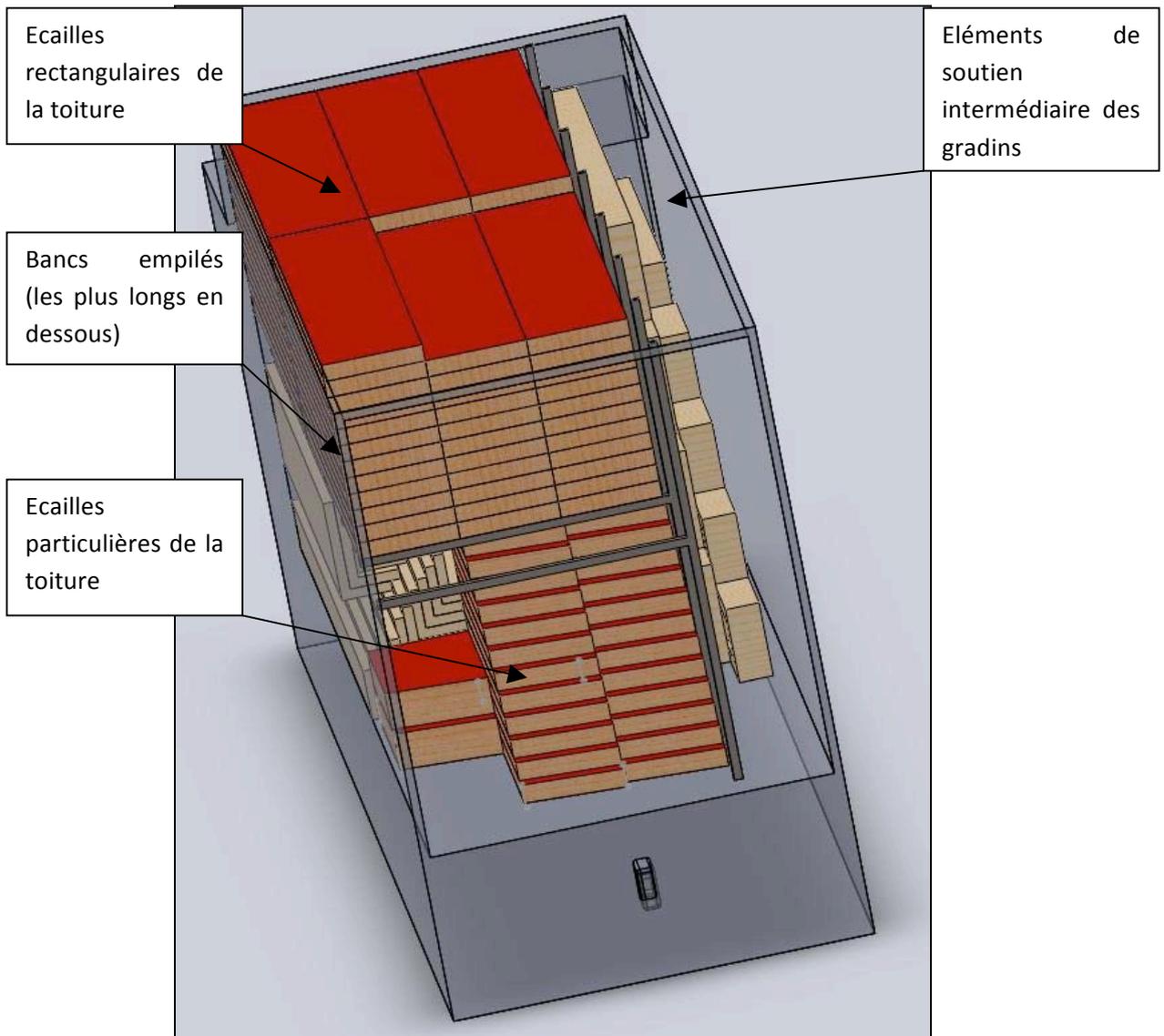
Il est toujours plus évident de construire quelque chose si l'on ne perd pas de temps à chercher chaque éléments. Etant donné la dimension de certain produits et afin d'optimiser le temps montage de la structure, il nous a paru tout indiqué de fournir au maître d'ouvrage un plan de rangement des différents éléments.

Afin de permettre la réalisation de notre structure en une journée et demis, nous utiliserons un camion remorque. Le camion aura tous les éléments à mettre en place le second jour tandis que la remorque qui servira de scène sera vidée au fur et à mesure lors du montage. Tous les éléments étant de tailles différentes, les éléments les plus petits sont logiquement placés au-dessus. Or les éléments les plus petits sont les premiers et les derniers à être mis en place ce qui permet de un rangement et un montage plus aisé.

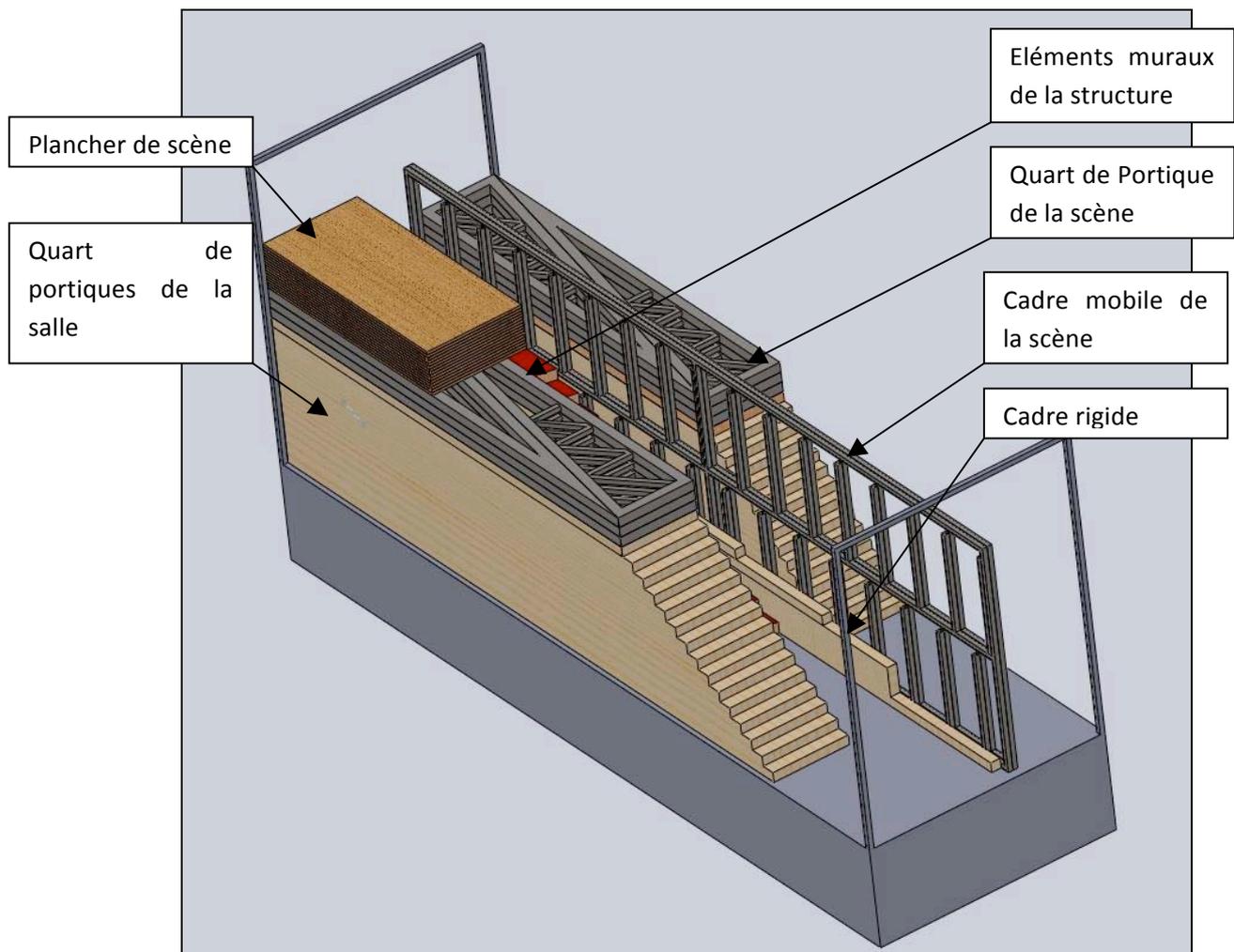
Afin d'éviter de détériorer les éléments pendant leurs transport, des compartiments dans le camion et sa remorque sont prévus. Ces compartiments permettront d'accéder à tout moment à un élément souhaité sans pour autant avoir à vider complètement la remorque et permettre ainsi un entretien des pièces plus aisées. Ces racks de rangement seront à commander aux moments de l'achat du camion remorque.



Vue en perspective du rangement du camion



Détail du rangement du camion, remorque 1



Détail du rangement du camion, remorque 2

6. Synthèse et conclusion

Contraintes	Solutions apportées
Construction d'une structure démontable en bois	Utilisation majoritaire du bois avec des renforts métalliques sur les parties soumises à de fortes contraintes
Valoriser l'économie locale	Utilisation de bois « Sélection Vosges » (Sapin et Douglas)
Respect des réglementations	Respect des normes accessibilité, feu et du DTU
Avoir une capacité comprise entre 100 et 150 places assises	123 places assises sont disponibles
Avoir une scène de 48m ² minimum (6m x 8m)	Utilisation du plancher de la remorque complétée par deux cadres mobiles qui viendront s'ajouter
Avoir des éléments manportables (poids inférieur à 50kg) facile à manœuvrer et à mettre en place.	Élément le plus lourd : 37kg Utilisation de palans et d'outil électrique.
Etre montable en 1 journée afin de permettre les répétitions le lendemain	Clos couvert monté en une journée, possibilité de faire les répétitions le lendemain
Avoir une bonne acoustique	Utilisation du principe masse-ressort-masse
Avoir une structure isolée thermiquement	Utilisation d'un isolant rigide type mousse polyuréthane
Etre résistante aux conditions extérieures	Structure dimensionnée au vent, utilisation de gelcoat (hydrofuge) sur les panneaux extérieurs
Respecter un budget hors taxe de 200.000€	Budget <u>hors camion remorque</u> : 106.000€

