



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>

MOBIL'ARTS



Master ABC 2011-2012 – Projet d'une salle de spectacle mobile – février 2012

BONNEVAL Soline
CALIGIURI Anthony
COLOMBO Pauline
GOETZ Quentin
WELSCH Clémence

Ingénieur
Architecte
Architecte
Ingénieur
Architecte

**scènes
& territoires**
en Lorraine



école nationale supérieure
d'architecture de nancy



Strasbourg, école d'architecture
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE STRASBOURG



SOMMAIRE

1.	DESCRIPTION DU BATIMENT	3
1.1.	<i>Volonté du maître d'ouvrage</i>	3
1.2.	<i>Attentes</i>	3
1.2.1.	Pratique.....	3
1.2.2.	Confort	3
1.2.3.	Montage.....	3
1.2.4.	Coût.....	3
2.	FORME ET FONCTION	4
2.1.	<i>Mobil'Arts</i>	4
2.2.	<i>L'impression d'être dans un cocon</i>	4
2.3.	<i>Complicité avec les artistes</i>	4
2.4.	<i>La forme assure la simplicité de montage et la diversité d'utilisation</i>	5
2.5.	<i>La toile crée un espace fermé</i>	6
2.5.1.	Réglementation.....	6
3.	SYSTEMES CONSTRUCTIFS	6
3.1.	<i>Plancher</i>	6
3.2.	<i>Poutres basses</i>	7
3.2.1.	Solives	7
3.2.2.	Panneaux de particules	7
3.3.	<i>Arcs lamellés collés</i>	8
3.3.1.	Fonction	8
3.3.2.	Formes et dimensions	8
3.4.	<i>Assemblages</i>	9
3.4.1.	Continuité des poutres basses	9
3.4.2.	Fixation des solives sur les poutres basses.....	9
3.4.3.	Assemblages des demi-arcs.....	10

3.5.	<i>Toile intérieure et extérieure</i>	11
4.	VERIFICATION DES ELEMENTS SIMPLES	13
4.1.	<i>Outils de calcul</i>	13
4.2.	<i>Poutres basses</i>	13
4.3.	<i>Solives</i>	13
4.4.	<i>Arcs</i>	13
5.	VERIFICATION DE LA STABILITE DE LA STRUCTURE	13
5.1.	<i>Chargement de la structure</i>	13
5.2.	<i>Stabilité transversale</i>	14
5.3.	<i>Stabilité longitudinale</i>	15
6.	CHIFFRAGE	15
7.	MONTAGE	21
7.1.	<i>Temps de montage</i>	21

1. DESCRIPTION DU BATIMENT

1.1. Volonté du maître d'ouvrage

Mobil'Art est un projet découlant d'une demande de l'association Scènes et Territoires de Lorraine.

Le bâtiment est destiné à être utilisé dans le cadre de spectacles itinérants dans les campagnes lorraines. C'est donc un bâtiment qui sera monté/démonté de nombreuses fois au cours de l'année.

De part sa fonction de salle de spectacle le bâtiment peut accueillir des gradins, conçus pour ce bâtiment, mais il peut aussi servir de salle d'exposition si les gradins ne sont pas montés.

Mobil'Art sera utilisé principalement de mars à mi-juillet et de septembre à mi-novembre. Entre ces périodes d'activité à l'intérieur, seule une partie du bâtiment pourra être montée, celle qui accueille la scène, dans le but de disposer d'une scène couverte, et de pouvoir utiliser les éclairages se fixant sur la structure.

1.2. Attentes

1.2.1. Pratique

L'association Scènes et Territoires souhaite grâce à une salle de spectacle qui leur est dédiée pouvoir surprendre les spectateurs en insérant un nouveau bâtiment dans le paysage en un rien de temps, et en faisant de ce lieu un espace dédié au spectacle et à la culture.

Le bâtiment doit pouvoir avoir plusieurs fonctions : espace de spectacle, d'exposition, et doit s'adapter à tous types de représentations. Il doit pouvoir accueillir dans des gradins de 100 à 150 personnes, contenir une salle de 6m x 8m, une régie de 5 m², et un espace d'arrivée des artistes et de rangements de scène.

1.2.2. Confort

Malgré le caractère démontable et éphémère de la structure il faut que le spectateur soit confortablement installé, que l'acoustique soit bonne et l'ambiance générale agréable, par exemple en jouant sur la température, la luminosité...

1.2.3. Montage

Le montage doit être réalisable par le régisseur de l'association aidé des bénévoles des communes où Scènes et Territoire intervient, c'est-à-dire entre 5 et 7 personnes et une journée. La structure doit être montable sur un sol qui ne serait pas plat, comme un parking en pente ou même un champ.

1.2.4. Coût

Le budget total de la structure ne doit pas dépasser 200 000 €, en mettant l'accent sur le fait que la maintenance doit coûter le moins cher possible : un investissement important

au début doit être compensé par le fait que la structure soit durable ; il faut donc insister sur le fait d'utiliser des matériaux et des assemblages durables.

2. FORME ET FONCTION

2.1. Mobil'Arts

Le nom Mobil'Art se justifie de plusieurs manières :

Mobil' car il se transporte et se monte de différentes manières

'Arts car il peut accueillir différentes formes d'expression artistique.

2.2. L'impression d'être dans un cocon

Mobil'Arts est un projet répondant à un programme de salle de spectacles mobile et démontable pouvant accueillir différentes manifestations et un public varié dans les meilleures conditions. Le parti-pris a donc été de trouver une forme symbolique valorisant l'aspect accueillant et confortable de la structure. Des formes arrondies, progressives, fluctuantes, lisses à l'extérieur et plus moelleuses à l'intérieur : on s'y sent comme dans un cocon.



2.3. Complicité avec les artistes

La forme évasée de la salle permet de venir y installer des gradins s'élargissant vers la scène et de créer une réelle complicité avec les artistes jouant dans la partie arrondie du cocon. A l'opposé de la scène, les gradins s'élèvent alors que la couverture s'abaisse réalisant ainsi une fermeture et créant une certaine intimité. C'est derrière ces gradins que se trouve l'entrée principale avec la possibilité d'intégrer une billetterie et une buvette en contre-bas de la régie qui surplombe les gradins.



L'espace est donc relativement fermé à l'entrée mais se développe pour offrir un grand volume central, jonction entre les spectateurs et les artistes.

2.4. La forme assure la simplicité de montage et la diversité d'utilisation

La structure du bâtiment, répétitive et légère, permet ainsi de répondre à la demande de facilité de montage : en effet, les plus gros éléments sont à manipuler grâce à deux personnes seulement, du fait de leur légèreté et surtout de leur encombrement.

Le deuxième avantage de cette structure est de pouvoir rendre des parties indépendantes. La scène vient s'installer dans un hémicycle accompagné d'une partie oblongue qui peut être installé désolidarisé du reste de la salle. Cela crée ainsi une scène de plein air moins encombrante qui peut être montée très rapidement et accueillir un public estival très nombreux.



2.5. La toile crée un espace fermé

La fermeture de cette structure se fait grâce à des textiles tendus de deux types. A l'extérieur, une toile imperméable vient recouvrir les arcs.

A l'intérieur, la toile est divisée entre chaque demi-et forme une double courbure, sorte de coussin gonflé tapissant la face intérieure du cocon. Cette sensation de confort est accentuée par la texture du tissu laissant apparaître ses fibres.

Une opposition est donc créée entre les deux surfaces et permet de lire la structure porteuse de deux manières différentes.

Enfin, ces deux toiles étant indépendantes, elles ne sont pas obligatoirement montées toutes les deux, créant encore des volumes différents...



2.5.1. Réglementation

La structure sera considérée comme un ERP, et doit donc répondre aux normes d'accessibilité, de largeur d'évacuation et autres. Les documents de référence comme DTU, et la norme pour chapiteaux, tentes et structures.

3. SYSTEMES CONSTRUCTIFS

Des solutions simples ont été utilisées pour permettre un montage/démontage facile. Aux assemblages bois/bois ont été privilégiés les assemblages métal/métal pour les assemblages démontables et les assemblages bois/métal pour les assemblages fixes.

3.1. Plancher

Le plancher est un solivage surmonté de panneaux de particules. Les poutres et solives sont faites de bois contrecollé afin d'avoir une durée de vie plus importante.

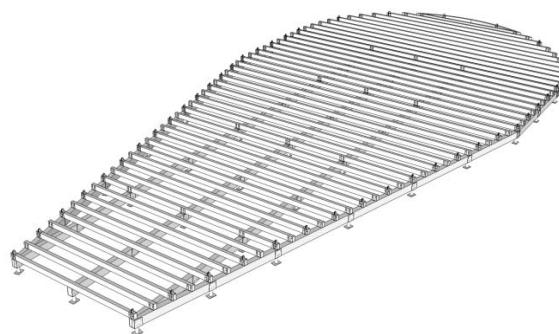
3.2. Poutres basses

Les poutres sont de sections 14x22cm et de longueur maximale de 5 mètres. Cette longueur leur permet d'être manu-portable à deux personnes, le poids étant alors de maximum 80kg. Elles reposent sur des pieds de poteau en U réglable environ tous les 2 mètres afin de s'adapter à tout type de terrain (macadam, graviers, herbe, etc..). Sous chaque pied est mis en place un panneau de 50 x 50 cm. Il permet de protéger le sol, d'avoir une meilleure stabilité du pied sur sol mou et surtout de répartir les charges.



3.2.1. Solives

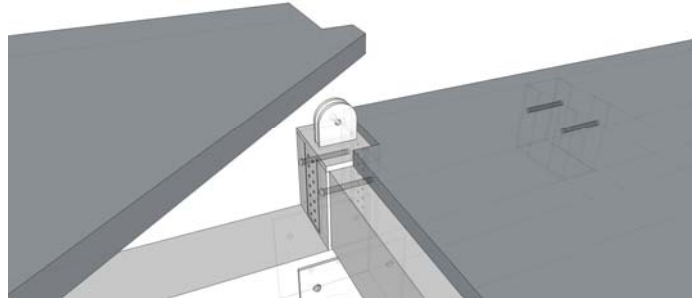
Les solives sont de sections 8 x 16 cm, de 11 m de longueur et espacées de 50 cm. Cet entraxe est égal à la moitié de celui des arcs, une solive sur deux solives reçoit donc un arc à son extrémité. Le poids de la plus longue des solives (11 mètres) n'excède pas 70 kg, elles sont donc toutes en un seul morceau et manu-portable par deux personnes. Elles reposent sur les poutres et sont bloquées par des ferrures en U. Cette ferrure permet de connaître l'emplacement des solives et évite ainsi d'avoir à mesurer lors de chaque montage.



3.2.2. Panneaux de particules

Le solivage est surmonté de panneaux de Particules Hydrofuge de longueur standard de 4,11 x 2,07 m et d'épaisseur 28 mm. Ils sont coupés en deux, le poids atteint alors 55 kg, ce qui permet de les manutentionner et les poser à deux. La stabilité est assurée par les

entailles réalisées sur les deux rangées de panneaux extérieurs. Ces usinages sont au niveau des ferrures des arcs.



3.3. Arcs lamellés collés

3.3.1. Fonction

Les arcs lamellés collés assurent la structure du bâtiment ; ce sont eux qui soutiennent la toile extérieure qui permet de fermer l'espace et d'étanchéifier le bâtiment, soutiennent la toile intérieure qui permet d'améliorer l'acoustique, assurent la continuité de la structure grâce aux contreventements, assurent la continuité entre l'espace fermé et le plancher relié au sol.

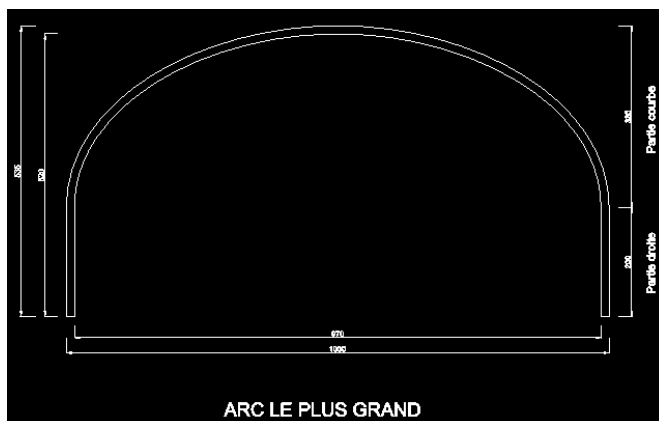
Du côté de la scène, les arcs assemblés en coupole permettent de créer un point dur à la structure, et ainsi d'empêcher sont déversement.

Le lamellé collé permet d'avoir une forme peu commune ainsi qu'une résistance augmentée, et une durabilité qui peut être augmentée grâce à des traitements sur le bois.



3.3.2. Formes et dimensions

Les arcs sont de même forme, ils sont à chaque fois augmentés ou diminués dans les mêmes proportions. Les arcs sont formés de deux demi-arcs, assemblés en tête par une ferrure, fixée de part et d'autre en âme dans les arcs.



Cette forme d'arc permet de fixer les contreventements de la structure en tête ainsi qu'aux points d'inflexions de l'arc ; elle permet aussi de maximiser l'espace sous l'arc sans créer de portiques et d'assemblages dans les angles.

L'arc le plus grand se situe du côté de la scène et mesure 11m de

large pour 6m de haut, hauteur et largeurs requises pour pouvoir placer la scène, les accès à la scène, pour la largeur et le grill pour les lumières pour la hauteur.

Du côté de l'entrée l'arc le plus petit mesure 4m de large et 2,35m de hauteur.

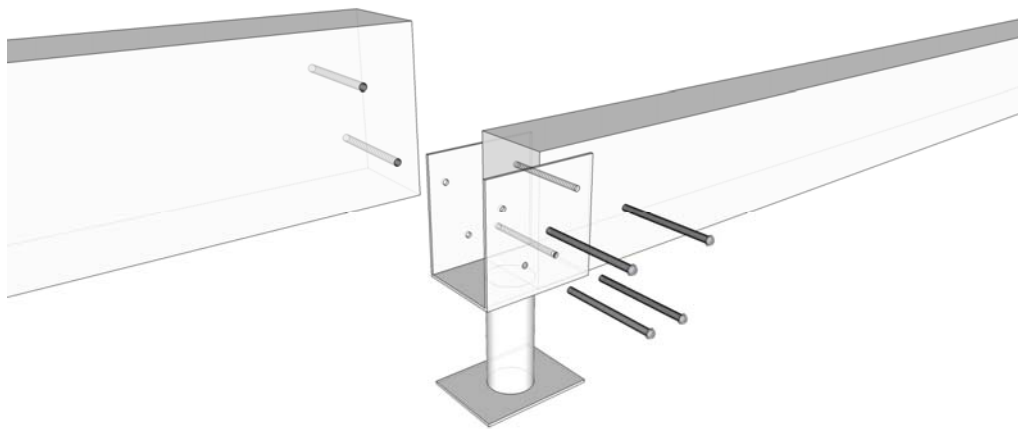
Les dimensions irrégulières des arcs permettent de n'avoir que l'espace nécessaire dans le bâtiment, ainsi que de les ranger les uns dans les autres dans le camion.

3.4. Assemblages

Le théâtre sera démonté et remonté environ cinquante fois par an. Les assemblages seront soumis à rude épreuve. Nous avons donc opté pour des assemblages métalliques plus à même de supporter ces démontages-remontages répétitifs.

3.4.1. Continuité des poutres basses

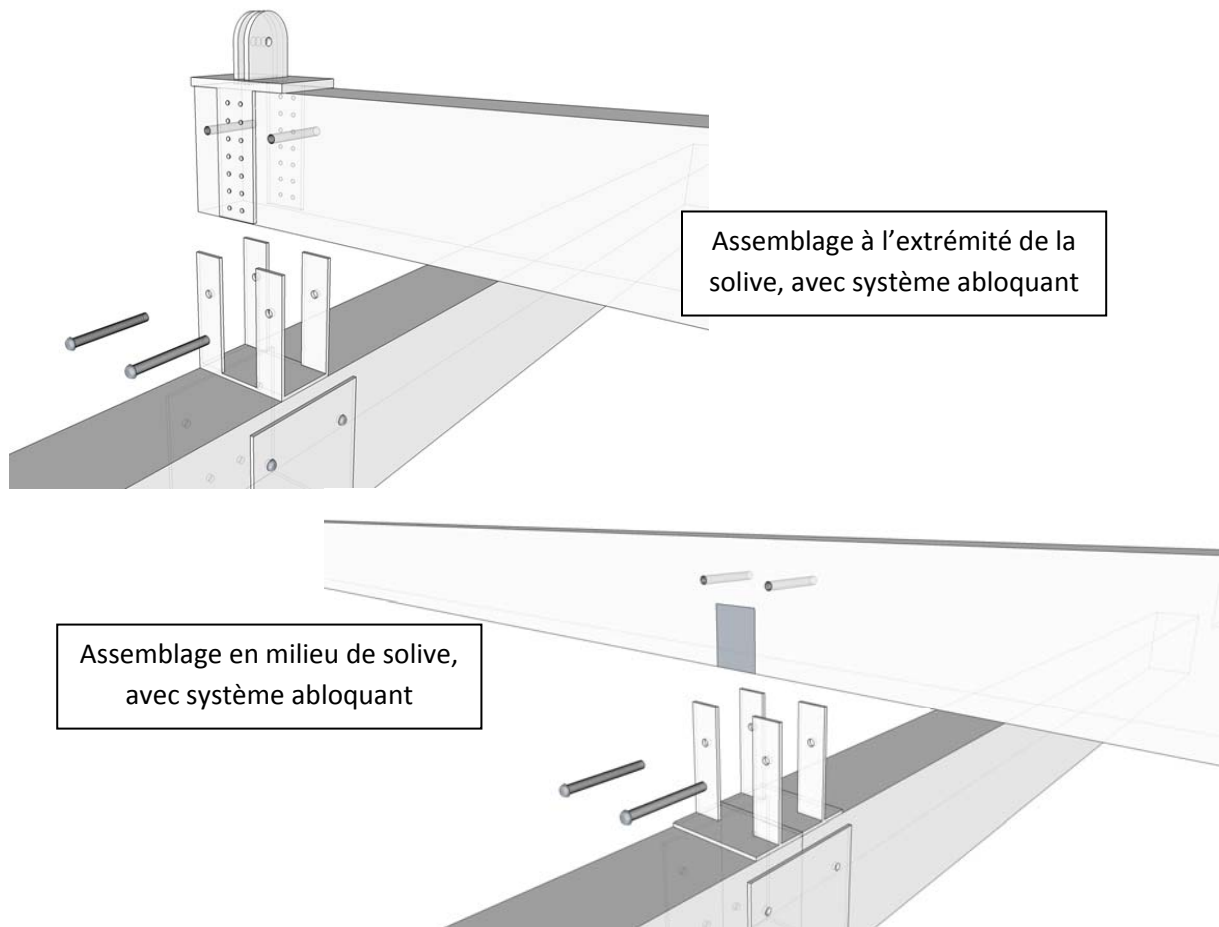
Les poutres basses mesurent 5 mètres maximum chacune. Il faut donc les assembler les unes aux autres. Nous avons choisi un pied de poteau en U car il permet de régler la hauteur du plancher, de bien caler les poutres et de les assembler ensemble. A chaque pied de poteau les poutres sont boulonnées afin d'éviter toute séparation.



3.4.2. Fixation des solives sur les poutres basses

Les solives reposent sur les poutres et sont bloquées par des ferrures en U. Comme pour les pieds de poteau, deux boulons permettent de serrer les solives et assure ainsi la rigidité du plancher. Ces ferrures seront fixées sur les poutres dès la fabrication du plancher et le resteront lors des démontages. Ceci permet d'éviter de les poser (mesurer les

emplacements, fixer une après l'autre) et de gagner du temps lors du montage.

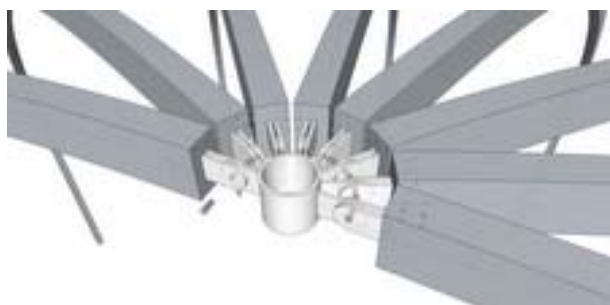


3.4.3. Assemblages des demi-arcs

En tête :

Les assemblages des demi-arcs se font par des ferrures fabriquées sur mesures. Deux plaques métalliques prennent en sandwich une troisième se trouvant sur l'autre demi-arc. Cet assemblage assure ainsi une rotule.

Le bâtiment dispose également d'un assemblage particulier au-dessus de la scène. C'est un point regroupant 8 demi-arcs. Son principe est identique ; les demi-arcs disposent de deux plaques métalliques en bout qui viennent prendre en sandwich une troisième se trouvant sur un anneau métallique.

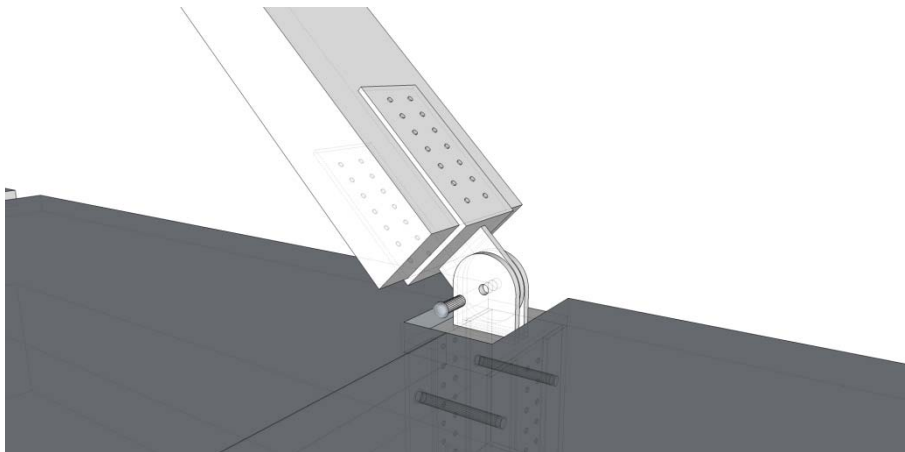


En pied :

Les solives disposent d'une ferrure en U présentant un espace pour permettre le passage d'une ferrure similaire dans l'autre sens.

En pied les arcs présentent un double sabot : un sur les arcs et un libre, qui se posera sur les solives.

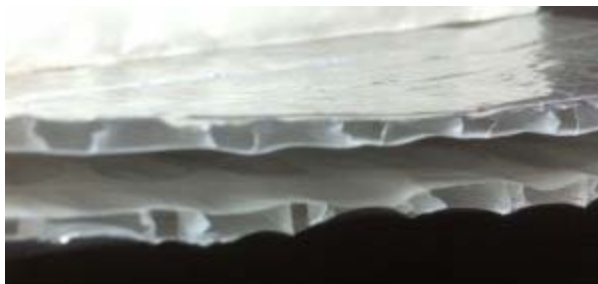
Ce sont des ferrures faites sur mesure, et qui doivent être fixées sur les éléments bois en atelier.



3.5. Toile intérieure et extérieure

Les toiles servent à délimiter l'espace, à assurer le confort acoustique, le confort visuel, à étanchéifier la structure ainsi qu'à l'isoler.

Toile extérieure : la toile extérieure est une toile imperméable qui vient recouvrir les arcs. Composée de cinq parties pour être plus légère et facile à mettre en place, elle est doublée par un isolant mince fixé par velcros.



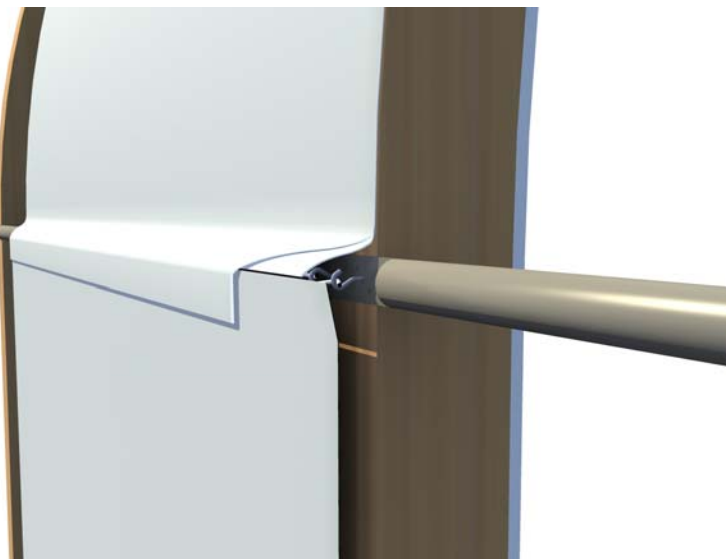
Isolant mince

Leur accroche se fait sur les crochets intégrés aux barres de contreventement ou fixés aux longrines.



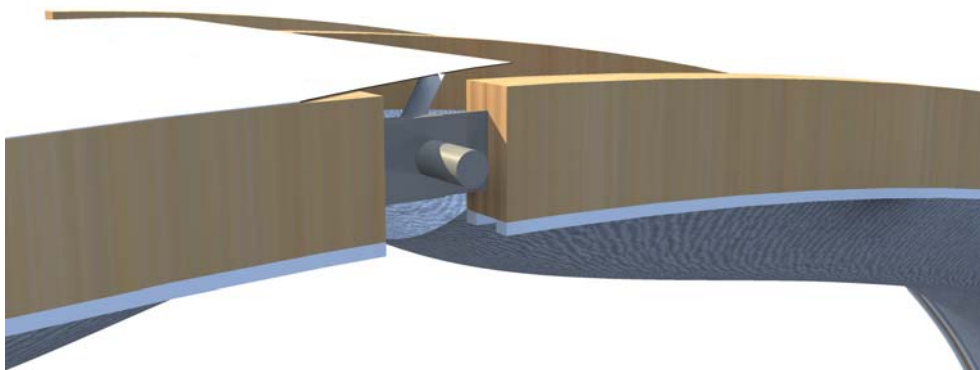
Retombée de la
toile extérieure

Accroche de la toile
extérieure au
recouvrement de
deux toiles



Toile intérieure : à l'intérieur, la toile est divisée entre chaque demi-arc : à insérer dans des glissières positionnées sur la face interne de ces derniers, elle forme une double courbure, sorte de coussins gonflés tapissant la face intérieure du cocon.

Les deux toiles étant indépendantes, elles ne sont pas obligatoirement montées toutes les deux, créant encore des volumes différents...



Toiles intérieure et
extérieure fixées sur les
arcs

4. VERIFICATION DES ELEMENTS SIMPLES

4.1. Outils de calcul

La stabilité globale du bâtiment ainsi que la résistance des éléments isolés ont été calculés grâce à la résistance des matériaux et aux règles européennes de construction : Eurocode 3 pour le métal, Eurocode 5 pour le bois.

Les éléments simples ont été vérifiés avec Acord Express ou Acord-Bat 3D selon la complexité.

4.2. Poutres basses

Les poutres basses sont posées sur les pieds de poteau ; comme elles sont longues elles doivent avoir plusieurs appuis intermédiaires. Pour simplifier le montage elles sont d'abord posées sur 2 pieds de poteaux qui sont réglés, puis 2 pieds de poteau sont ensuite rajoutés et réglés par rapport à la poutre.

Avec l'ensemble des charges il faut nécessairement une section de 140 x 210 mm ; la section standard la plus proche est celle de 140 x 220 mm.

4.3. Solives

Avec l'ensemble des charges déterminées en partie 4, la section nécessaire des solives est de 80 x 160 mm, c'est-à-dire la même largeur que les arcs, ce qui permettra d'avoir une correspondance visuelle.

4.4. Arcs

Les arcs ont été dimensionnés en prenant compte leur liaison avec les autres arcs. Les arcs dimensionnants sont ceux de la coupole, du point de vue du flambement.

La section nécessaire est de 80 x 160 mm.

5. VERIFICATION DE LA STABILITE DE LA STRUCTURE

5.1. Chargement de la structure

La structure est chargée par :

- Poids propre des éléments : lambourdes, solives, panneaux, arcs, contreventements, ferrures, toiles
- Charges d'exploitation : poids des gradins et de la scène, poids des personnes, poids des équipements
- Charges climatiques : neige, à raison de 4cm, vent à raison d'une vitesse $v_{b,0}$ de 26km/h.

Récapitulatif des charges :

poids propres		daN/m ²
	lambourdes 140x220	12,32
	solives 80x160	10,24
	panneaux 28 mm ép	16,8
	ferrures	5
	poids plancher	44,36
	toiles	0,5
	ferrures	10
	arcs	23,28
	poids structure	33,78
charges exploitation		
	exploitation C3	450
charges climatiques		
	neige	4
	vent	717

Pour le vent :

Région 2, zone II, hauteur de 6m, pression $qP_z = 717 \frac{daN}{m^2}$.

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

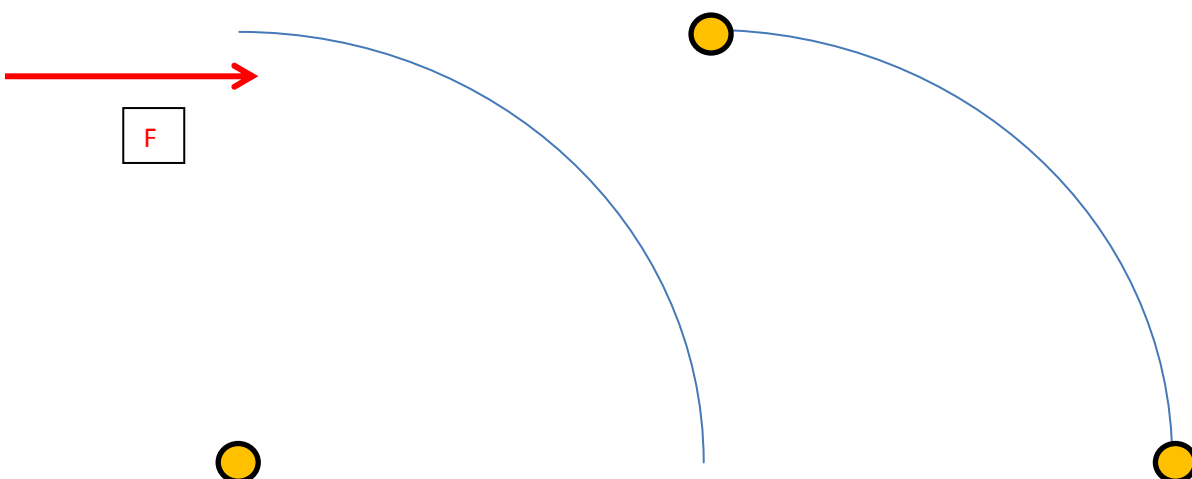
Coefficient intérieur	Coefficient extérieur mur	Coefficient extérieur toit
+0.2	-1.0	-1.2
-0.3	+0.7	+0.2

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

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

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

5.2. Stabilité transversale



La stabilité transversale est assurée par les arcs en eux-mêmes, qui sont assemblés en pied et en tête par des rotules.

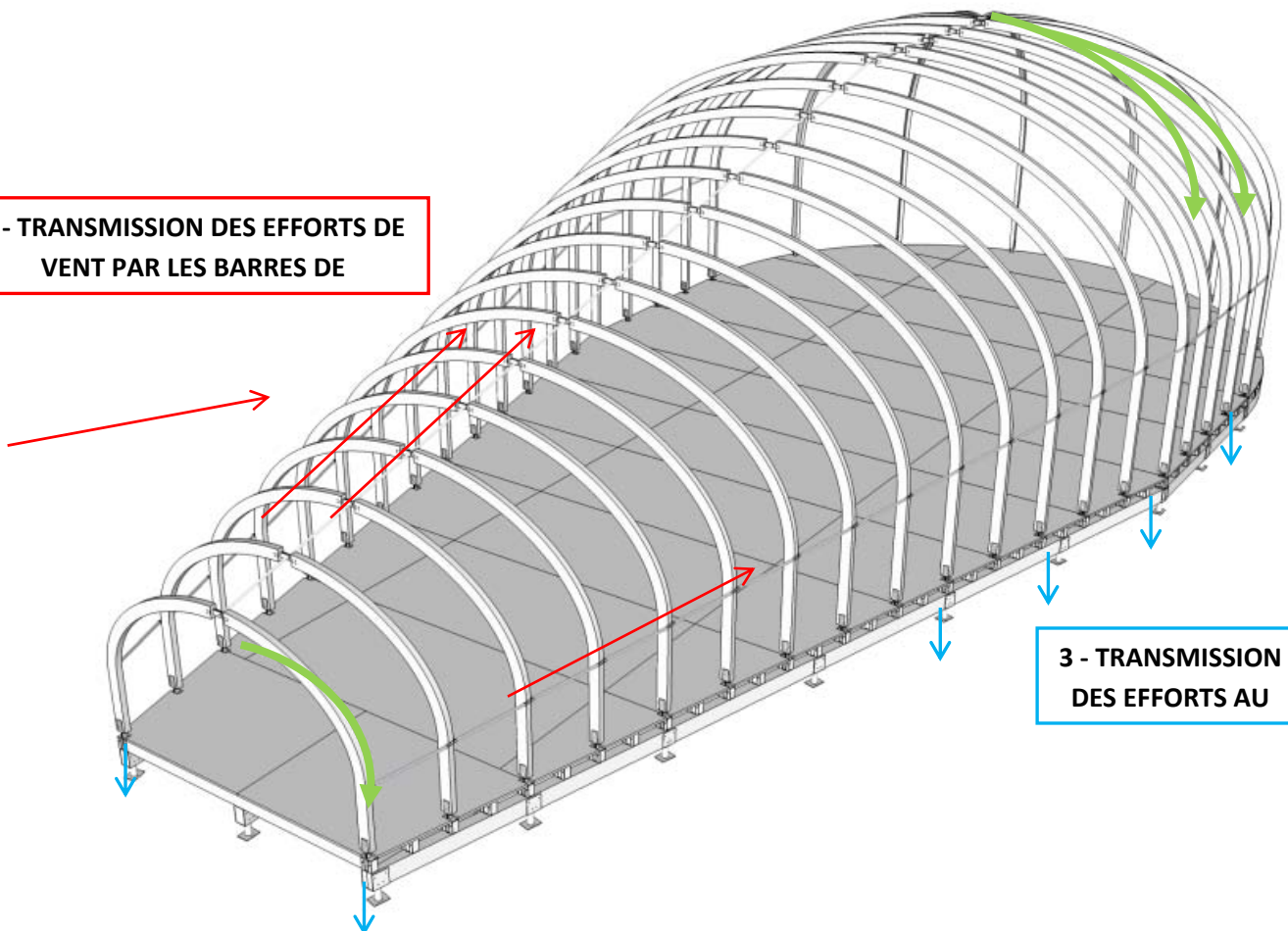
5.3. Stabilité longitudinale

Si le bâtiment n'était composé que d'arcs liés entre eux par les éléments de contreventement, il pourrait basculer. Pour parer à cette éventualité nous avons créé un point dur grâce à des demi-arcs assemblés en coupole, qui forme une structure indéformable.

2 - TRANSMISSION DES EFFORTS DE VENT ET DU POIDS PROPRE VERS LE

1 - TRANSMISSION DES EFFORTS DE VENT PAR LES BARRES DE

3 - TRANSMISSION DES EFFORTS AU







6. CHIFFRAGE

Le but est d'estimer en matériel et en coût de main d'œuvre préparatoire le prix du bâtiment ; on liste donc l'ensemble des matériaux, et le coût des opérations à réaliser sur ces matériaux.

Pour simplifier le calcul nous avons réalisé une feuille excel permettant de répertorier tous les prix.


Quincaillerie plancher

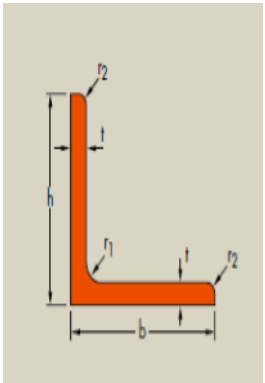
Les prix indiqués incluent la fabrication et la pose

Prix au kg	20	€			
selon la complexité					
	Volume (m ³)	Poids	Prix	nombre de ferrure dans la structure	prix
Assemblage poutre-solive-arc	0,000573795	4,48	90	41	3690
					
Continuité solives	0,00055	4,29	86	24	2064
sans prendre en compte le pied de poteau					
					
Pied de poteau	réglage vario, Simpson-tie		70	46	3220
					
Equerres simples porte solives	0,0002	1,56	12,48	111	1385
					
				total	9753
Fixations	Unité	Quantité	PU (HT)	Prix total	
Pointes annelées électrozinguées CNA4.0x35 (Simpson Strong-Tie) - Vendu par boîte de 250	boite	18,8	6,87	130,53	
Boulon tête hexagonale, classe 6.8 - Diam 8 mm - L 100 mm (vendu par 100)	boite	3	30,8	92,4	
Rondelle plate - Diam : int 10 mm - ext 22 mm (Vendu par boîte de 200)	boite	3	6,26	18,78	
Écrou hexagonal Diam : 8 mm (vendu par boîte de 200)	boite	2	2,99	5,98	
			total	247,69	

Bois plancher

Matériaux						
		Unité	Quantité	m ²	PU (HT)	Prix total
Panneaux	Panneau Particules Hydrofuge XILIPAN (4110 x 2070 ép 28 mm)	px	26	220,662	10,22	2255
Poutres	Section : 14/22	m3	3,542		650	2302
	Longueur : 115 ml					
Solives	Section : 8/16	m3	5,1328		650	3336
	Longueur : 401 ml					
Divers	Panneau de répartition des charges (500x500 mm)	px	9	76,5693	10,22	783
	Panneau Particules Hydrofuge XILIPAN (4110 x 2070 ép 28 mm)					
					Sous-Total	8676
Main d'œuvre						
Solives/poutres	Coupe/usinage/perçage	h	16		40	640
Panneaux	Découpe	h	6		40	240
Quincaillerie	Fixation équerres	h	15		40	600
Divers		h	3		40	120
					Sous-Total	1600
Matériel						
Machines		h	40		100	4000
					Sous-Total	4000
					Total	14276 €
					Total plancher	24277 €

Arcs					
	nombre	volume/ longueur	prix au m ³ /prix au m	taillage	prix total
Arcs lamellé 80*150 mm	22	4,07	615	96	2893,77
Moule		140,88	19		2676,72
	volume	poids	prix	nbre dans la structure	
Continuité arcs	0,00052407	4,0877694	41	19	779
					
Ferrure assemblage demi-arcs		16	320	1	320
Ferrure fixation contreventements	0,000136	1,061	21,216	19	403,104
	longueur	volume	poids	nombre	prix
Contreventements tubes creux	16	0,00764035	59,594756	3	893,92
				total	7647 €

<u>Quincaillerie gradins</u>				Les prix indiqués incluent la fabrication et la pose
	longueur (m)	volume	poids	prix
Cornières 50x50x4 mm	128	6	820	985
				
Tubes creux 21x2,3	47	0,02260	176	159
Filets protection				200
			total	1343

Bois gradins

Matériaux	Quantité	m ²	PU (HT)	Prix total
Panneaux 5000*2050*19	4	41	38,96	1597,36
Panneaux 5000*2050*27	7	71,75	42,64	3059,42
			total	4656,78
			Total gradins	6000

Enveloppe

	surface/nombre	prix unitaire	prix total
Toile extérieure	350	50	17500
Toile intérieure	270	50	13500
Isolant (10 mm)	320	2,8	896
Fixation toile extérieure	40	5	200
Fixation toile intérieure	490	1	490
		total enveloppe	32586

Logistique

Achat remorque + aménagement	35000
Location tracteur	500
total logistique	35500

Total dépenses

Déboursé sec	106009	€
Déboursé sec * 1,35	143113	€

On obtient donc un prix d'environ 150 000 €, ce qui démontre la simplicité du projet et la facilité de réalisation.

7. MONTAGE

7.1. Temps de montage

Avec 5 personnes, soit une équipe constituée du régisseur et de 4 bénévoles, on obtient un temps de montage d'environ 17h.

Temps de montage	
Opération	Temps en heures
Pose des poutres basses	
réglages 2 pieds de poteau par poutre basse	0,5
pose des poutres basses	1
clavetage des poutres basses	0,5
réglages des autres pieds de poteau	1
	3
Pose des solives	
pose des solives	2
clavetage des solives	0,5
	2,5
Pose des panneaux	
manutention	2
Montage des arcs	
Assemblage des arcs en pied	0,5
Assemblage des arcs en haut	0,5
Pré-fixation des contreventements	0,5
Levage des arcs	1
Fixation contreventements	0,2
	2,7
Enveloppe	
montage échaffaudage	0,2
fixation toile extérieure	1
fixation toile intérieure	1
	2,2
Gradins/scène	
montage gradins	2
montage scène	1
	3
	15,4