

FACULTE ENAC – SECTION DE GENIE CIVIL



Projet de Master

LE FUTUR STADE DE LAUSANNE

Rapport technique

Étudiant	GAVILLET Valentin
Professeur responsable	LEBET Jean-Paul
Assistant externe	THOMANN Michel
Assistant ICOM	PAPASTERGIUO Dimitrios

Lausanne, le 22 juin 2012

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	3
1.1	TRAVAIL PRÉPARATOIRE.....	3
2	DESCRIPTION DE LA STRUCTURE.....	4
2.1	GÉNÉRALITÉS	4
2.1.1	Contraintes liées au concours.....	4
2.1.2	Exigences et recommandations.....	4
2.2	GÉOMÉTRIE	4
2.2.1	Globale.....	4
2.2.2	Tribune principale.....	6
2.2.3	Tribune latérale.....	6
3	PROJET D'EXÉCUTION.....	7
3.1	ETAPES DE MONTAGE ET TRANSPORT	7
3.2	FONDATEMENTS	7
4	DIMENSIONNEMENT	8
4.1	GÉNÉRALITÉS	8
4.1.1	Méthode de calcul.....	8
4.1.2	Système statique	8
4.1.3	Charges et situations de risques	8
4.2	VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ STRUCTURALE.....	9
4.3	VÉRIFICATION DE L'APTITUDE AU SERVICE	9
4.4	ASSEMBLAGES.....	9
4.5	MÉTRÉ ET CÔUTS.....	11
4.5.1	Evaluation du métré.....	11
4.5.2	Evaluation des coûts	11
5	CONCLUSIONS.....	11
5.1	RÉCAPITULATIF DU DIMENSIONNEMENT ET MÉTRÉ DE LA TRIBUNE PRINCIPALE.....	12
5.2	RÉCAPITULATIF DU DIMENSIONNEMENT ET MÉTRÉ DE LA TRIBUNE LATÉRALE.....	13

1 INTRODUCTION

Ce rapport technique est un condensé scientifique du Projet de Master consacré, à la conception et au dimensionnement du futur Stade de Lausanne des Prés-de-Vidy, figure de proue du renouveau urbanistique souhaité par la Ville de Lausanne, à l'horizon 2020. Il donne un aperçu général du travail effectué, des calculs opérés et des réflexions entreprises, en précisant ses étapes clés et les résultats obtenus.

1.1 TRAVAIL PRÉPARATOIRE

Le chemin qui a abouti à la structure dimensionnée fut relativement sinueux et semé d'embûches. Elles ont été solutionnées grâce à une procédure de travail bien réfléchie et qui, pas à pas, a tendu vers une solution optimale.

Pour ce faire, trois variantes de structures porteuses de toiture ont été imaginées et conçues en fonction des nombreuses contraintes tournant en orbite autour de ce projet d'envergure. La première proposait une toiture suspendue par des câbles fixés aux quatre coins du stade, sur des tours élancées. Si elle conférait au stade une architecture exceptionnelle, cette variante avait un désavantage majeur par le fait qu'elle nécessitait un lestage important de la toiture, pour empêcher son soulèvement en cas de force de succion de vent, sans quoi le fonctionnement désiré n'était plus assuré.

La deuxième variante consistait en une structure en arcs tridimensionnels longitudinaux sur laquelle s'appuyaient des treillis permettant de suspendre la toiture. Bien qu'il s'agisse d'une architecture remarquable, cette solution ne s'adaptait guère, à l'image de la toiture suspendue, à un stade aux dimensions relativement restreintes comme celui dont il est question dans ce travail.

Une étude multicritères a déterminé que ces variantes, bien qu'intéressantes n'étaient pas suffisamment adaptées à la situation lausannoise. Elle était basée sur l'esthétisme, les coûts, les facilités de transport et de montage, l'efficacité structurale, les impacts engendrés et le respect des exigences et recommandations liées aux données de base du projet. Des prédimensionnements effectués sur les mêmes bases, avaient pourtant démontré que les quantités d'acier nécessaires à la réalisation des trois variantes, étaient relativement comparables, les facteurs jouant sur l'élection finale étant ceux mentionnés ci-dessus.

Une fois ce travail préparatoire fini, la structure répondant le mieux aux contraintes liées à la situation et à la conception générale des stades pouvait, être dimensionnée. Ce résumé la présente aussi bien que possible.

2 DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

Ce chapitre présente de manière aussi complète que possible, le futur stade de Lausanne.

2.1 GÉNÉRALITÉS

Avant de pouvoir en donner les traits caractéristiques, il est important de rappeler quelles étaient les contraintes de réalisation requises par le maître l'ouvrage et les contraintes régies par les aspects de confort et de sécurité essentiels à la qualité d'un stade

2.1.1 Contraintes liées au concours

La Municipalité, dans son concours de projets et d'idées pour la réalisation du stade, a fixé les objectifs suivants:

- Capacité d'accueil d'environ 13'000 spectateurs, tous en places assises
- Stade « à l'anglaise », c'est-à-dire où les tribunes sont le plus proches du terrain
- Au minimum un étage en sous-sol.

2.1.2 Exigences et recommandations

Le confort et la sécurité au sein d'un stade sont obtenus en respectant une longue liste d'exigences et recommandations, éditées par les diverses instances de football de l'échelle nationale à l'échelle mondiale.

- *Le terrain de jeu*

Les dimensions minimales d'un terrain de football professionnel sont de 100 mètres par 64 mètres. A cela il faut ajouter une distance d'au minimum 6 mètres pour l'exclusion des spectateurs et leur garantir une vision globale du terrain.

- *Les vestiaires et équipements annexes*

Les locaux pour la compétition nécessitent une importante surface sous la tribune d'honneur, qui définit les dimensions minimales de cette estrade. Sous les autres tribunes, les équipements annexes (WC, débits de boisson, espaces médias,...) requièrent également des surfaces utiles minimales.

- *Les gradins*

La pente maximale des gradins ne peut dépasser les 35°. Des escaliers d'une largeur de 1m20 minimum, donnent l'accès aux sièges rétractables disposés par rangée de 40 au maximum, pour permettre une évacuation rapide. Ce type de sièges nécessite une largeur de 45cm au minimum, une profondeur de 40cm, un dossier de 30cm et un passage libre entre les rangées, d'environ 40cm.

Ces contraintes constituent la base de conception du futur stade de Lausanne, leur mise en place définissant la géométrie qui suit.

2.2 GÉOMÉTRIE

2.2.1 Globale

L'emprise au sol du stade est de 160m par 142m. Son orientation est de 10° Nord-Est. Les quatre tribunes sont indépendantes, des joints de dilatation les séparant physiquement. Le terrain mesure 102m par 68m, afin que les distances de sécurité soient de 6m pour la tribune principale et 7m pour la tribune latérale.

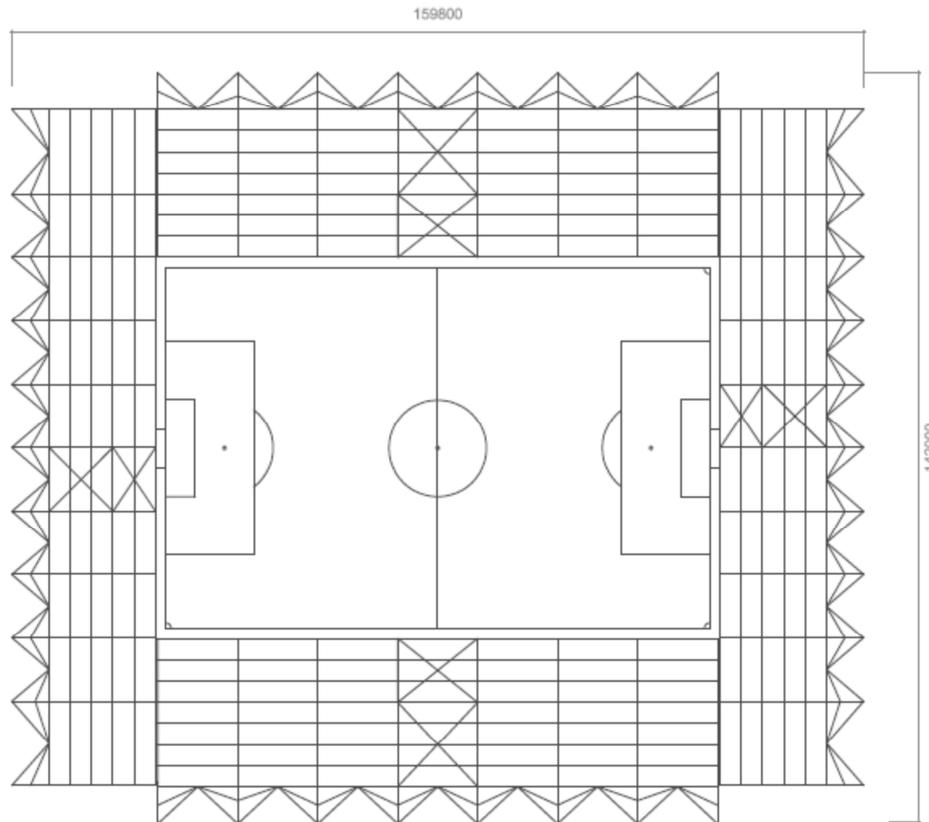


Figure 1: Plan d'ensemble du stade

La structure porteuse de la toiture est constituée d'un treillis de 2m de haut, trônant à 15,5 mètres de hauteur et présentant une pente de 3%. Ce treillis, dont la longueur varie entre les tribunes, est soutenu par des butons tubulaires qui se fixent à un mât de 21m de haut prolongeant le montant extérieur de la tribune. Le système treillis est complété par cinq éléments, également tubulaires, dont deux sont dédoublés sur des cadres intermédiaires, de manière à ce que les charges s'appliquant sur la toiture soient transmises aux fondations. La section transversale dans le plan des treillis, est complétée par un cadre sur deux étages de 4,5m et d'entraxe entre montants de 8m, tout comme leur équivalent intermédiaire. Tous deux sont réalisés à l'aide de profilés laminés en H. Les planchers mixtes des tribunes sont pour leur part complétés par des solives qui divisent les sommiers en trois parties égales et sur lesquelles une couche de 20cm de béton est coulée. La géométrie de ces cadres définit en outre la pente des gradins qui vaut 29°.

Ces gradins sont constitués de crémaillères de béton préfabriqués et précontraints par pré-tension, de 40 cm de large et 60cm de haut, qu'on fixe à tous les cadres et sur lesquels on vient poser des marches (850 mm de large, 480 mm de haut) formant ainsi l'ossature intérieure du stade.

Les cadres d'extrémités possèdent la particularité d'avoir l'ensemble des éléments décrits ci-dessus dans leur plan, cette remarque étant principalement valable pour les éléments stabilisateurs diagonaux et horizontaux à l'arrière de la tribune.

L'indépendance de chacune des tribunes nécessite une stabilisation transversale par un contreventement. De manière à répartir équitablement les déformations, ces points fixes sont disposés entre les sections transversales principales, à mi-portée des tribunes.

Le niveau de sous-sol mesure quant à lui 3,75m et permet l'accueil d'un parking entre les colonnes de fondations.

La toiture est composée d'une tôle de support sur laquelle on dépose une couche d'égalisation, ainsi qu'une étanchéité et son feutre de protection, afin d'accueillir une couche de 5cm de mortier de lestage.

En façade, des plateaux de bardage sont fixés aux montants, et reçoivent une isolation qui est recouverte par une tôle extérieure, qui définit l'aspect extérieur du stade.

Le reste des propriétés sont propres à chacune des tribunes, c'est pourquoi on définit leur géométrie de manière individuelle.

2.2.2 Tribune principale

La tribune principale est constituée de sept trames répétitives de 15 mètres reliées par des pannes, fixant à 7,5 mètres la distance entre les cadres principaux et intermédiaires.

En toiture, la membrure supérieure est décomposée en sept travées de 4 mètres chacune, les butons de soutien s'accrochant au 2/7^{ème} et 5/7^{ème} de cette portée.

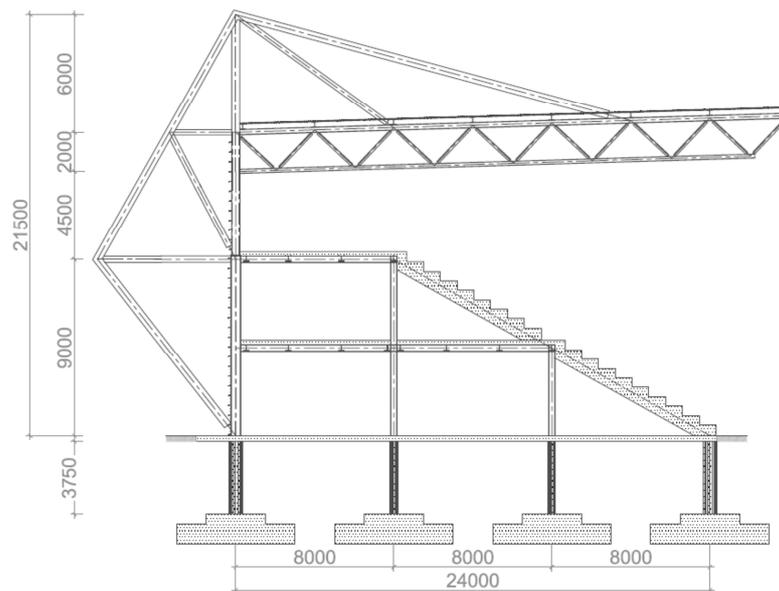


Figure 2: Coupe sur cadre d'extrémité de la tribune principale

2.2.3 Tribune latérale

Le deuxième étage n'étant pas nécessaire pour la tribune latérale, on se contente de disposer une coursive de 1,5 mètre de large, ce qui réduit la portée nécessaire de la toiture à 20 m (5x4 m) et ne réclame qu'un seul buton de soutien, disposé au 3/5^{ème} de la portée. La pente des gradins s'en trouve également modifiée pour atteindre 34°.

De manière à avoir deux portées de tribunes les plus proches possibles de l'égalité, les joints de dilatation (400 mm) sont disposés à l'extrémité des tribunes principales. L'espacement entre cadres principaux de la tribune passe de 12 mètres dans sa partie intermédiaire, à 16 mètres dans les coins, pour assurer la continuité des plancher mixte entre les deux tribunes, garantissant le passage de l'une à l'autre.

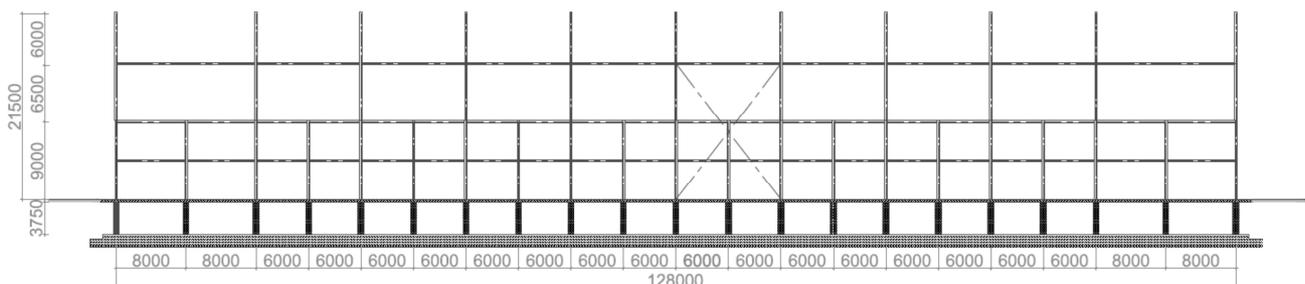


Figure 3: Elévation de la façade Nord

3 PROJET D'EXÉCUTION

3.1 ETAPES DE MONTAGE ET TRANSPORT

Le montage des cadres principaux de la tribune principale adopte la séquence suivante, cette dernière étant valable en parallèle et en simultané pour les cadres intermédiaires :

- 0. Fouille, fondations, colonnes et dalles de niveau.

Le chantier débute par la creuse des fouilles et la construction de tous les éléments souterrains, de manière à être prêt à accueillir la superstructure.

1. Montage des montants intérieurs
2. Montage du montant extérieur, du mât et des éléments stabilisateurs plans, en une seule pièce.
3. Montage des sommiers et coulage de la dalle du 1^{er} étage, puis du second
4. Montage des éléments stabilisateurs hors plan, sur les cadres intermédiaires
5. Levage des treillis intermédiaires sur étau provisoire, à l'aide d'un camion grue
6. Montage des butons
7. Réalisation des gradins
8. Montage des pannes et des contreventements de toiture, puis de façade.
9. Pose des couvertures de toiture et de façade.
10. Réalisation du terrain, une fois l'ensemble des quatre tribunes achevées.

Pour assurer la stabilité hors plan des cadres transversaux, il est important de débiter le montage par les cadres centraux des tribunes, afin de pouvoir disposer les contreventements le plus rapidement possible, sans quoi il faut assurer la stabilité en maintenant les cadres latéralement. Il est ensuite concevable de monter les cadres successifs, symétriquement de part et d'autre de ceux de bases.

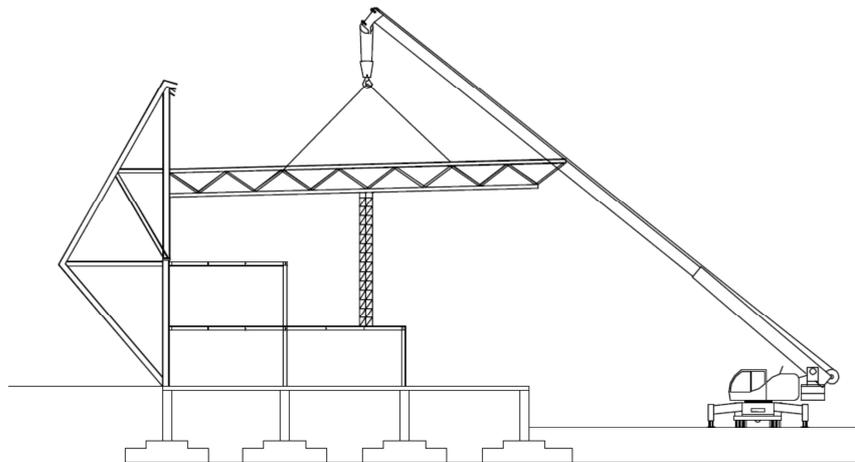


Figure 4: Levage des treillis sur étau

3.2 FONDATIONS

Les fondations reposent sur des micropieux de 12 mètres (profondeur de la roche molassique) afin de pouvoir reprendre les efforts de tractions engendrés dans les montants. Ces pieux sont liés à la superstructure via des semelles isolées pour les montants intérieurs, et continues pour les montants extérieurs. Des colonnes en béton armé permettent d'atteindre la dalle de surface.

Au vu des dimensions des semelles pré-dimensionnées (3,75m x 6m), la réalisation d'un parking en sous-sol devient évidente, en coulant une dalle continue entre les semelles.

4 DIMENSIONNEMENT

Cette partie plus technique vise à présenter les bases des calculs effectués, et à les récapituler.

4.1 GÉNÉRALITÉS

4.1.1 Méthode de calcul

La détermination de la classe de section des éléments prédimensionnés permet l'utilisation de la méthode élastique-plastique (EP) pour le dimensionnement, dont les efforts intérieurs sont déterminés à l'aide d'une modélisation d'éléments finis.

4.1.2 Système statique

Le système statique de l'entier du système treillis est constitué de barres articulées, alors que celui des cadres consiste en des angles encastrés, les pieds de montants étant articulés.

Les gradins préfabriqués sont pour leur part modélisés comme des poutres simples, jouant également le rôle de barres de contreventement pour les cadres intermédiaires.

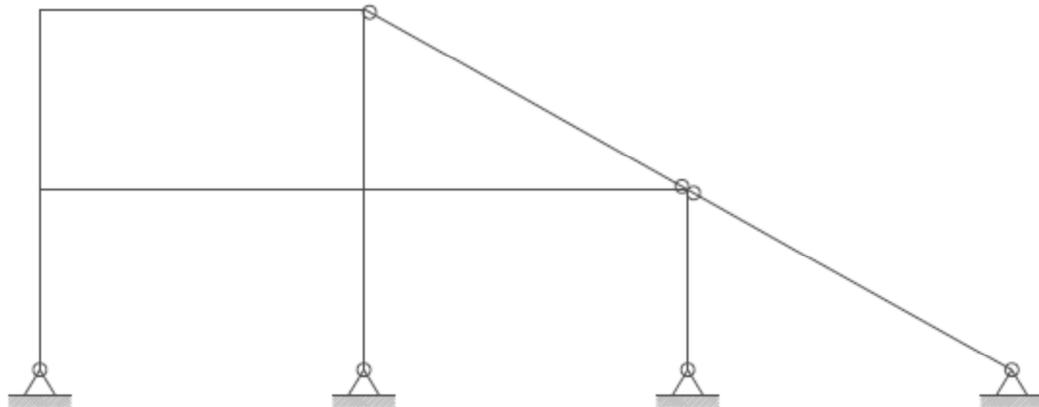


Figure 5: Système statique des cadres intermédiaires

4.1.3 Charges et situations de risques

Les charges considérées ainsi que leur valeur caractéristique selon les termes de la SIA 261 sont les suivantes :

- Poids propre des éléments non porteurs : $g_k = 1.35 \text{ kN/m}^2$
- Neige : $q_k = 0.72 \text{ kN/m}^2$
- Vent : $q_{ek} = 1.08 \cdot C_{pe} \text{ kN/m}^2$
Où les coefficients C_{pe} sont définis au tableau 52 de la SIA 261
- Exploitation des bâtiments : $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
- Température : $\alpha_T = 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ $\Delta T_{1k} = \pm 30^\circ\text{C}$
- Séisme : $A_k = 66 \text{ kN}$ ($q = 1.5$)
- Charges de montage : $q_{mk} = 1.5 \text{ kN/m}^2$
- Finitions : $q_{fin} = 1.6 \text{ kN/m}^2$

Sur cette base, il est possible de définir des situations de risques, pour les vérifications de la sécurité structurale et l'aptitude au service, conformément à la norme SIA 260.

4.2 VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ STRUCTURALE

Les vérifications à l'état limite ultime (ELU) ont permis les dimensionnements de l'ensemble des éléments de la charpente métallique qui sont résumés dans les tableaux 1 et 2 pour la tribune principale, respectivement latérale (cf. fin du document).

Les remarques suivantes doivent être apportées :

- Les pannes doivent être stabilisées par des liernes construites aux tiers-longueurs des portées.
- Des profilés sont volontairement sous-dimensionnés pour la réalisation d'assemblages spécifiques (tête de mât, nœud « arrière »)
- Les montants extérieurs des cadres principaux dimensionnés, sont ceux du contreventement, soit ceux les plus sollicités car ils reprennent les efforts engendrés par la torsion de la tribune.

4.3 VÉRIFICATION DE L'APTITUDE AU SERVICE

Les vérifications à l'état limite de service ont permis les constatations suivantes :

- Les treillis doivent être contrefléchés. Les valeurs des contreflèches au niveau de la panne faîtière sont de 280 mm, respectivement 70 mm, pour les treillis des tribunes principale et latérale
- Les mâts doivent être contrefléchés. Les valeurs des contreflèches au niveau de la tête de mâts sont de 90, respectivement 20 mm pour les mâts des tribunes principale et latérale.
- Les solives doivent être contrefléchées. Les valeurs des contreflèches à mi- portée sont de 20, respectivement 13 mm, pour les solives des tribunes principale et latérale.
- La rigidité des crémaillères préfabriquées empêche toutes les déformations horizontales des « angles » de cadres.

4.4 ASSEMBLAGES

La conception des assemblages est soumise à de nombreuses contraintes d'ordres constructives, qui influencent directement et fortement leur dimensionnement et ou/ leur esthétisme. Cette remarque est particulièrement valable pour les nœuds qui sont propres à la structure conçue :

- La présence de la tôle en toiture par exemple, influence particulièrement le dimensionnement de l'attache entre les butons et la membrure supérieure du treillis, l'efficacité de l'étanchéité étant directement proportionnelle aux nombres de découpes qu'elle doit subir pour contourner les profilés. La solution adoptée en soudant une amorce sur la membrure supérieure, nécessitant le décalage de la panne de toiture, ainsi qu'un élargissement local de cette membrure, illustre parfaitement toute la difficulté qui réside dans la conception et le dimensionnement des assemblages.

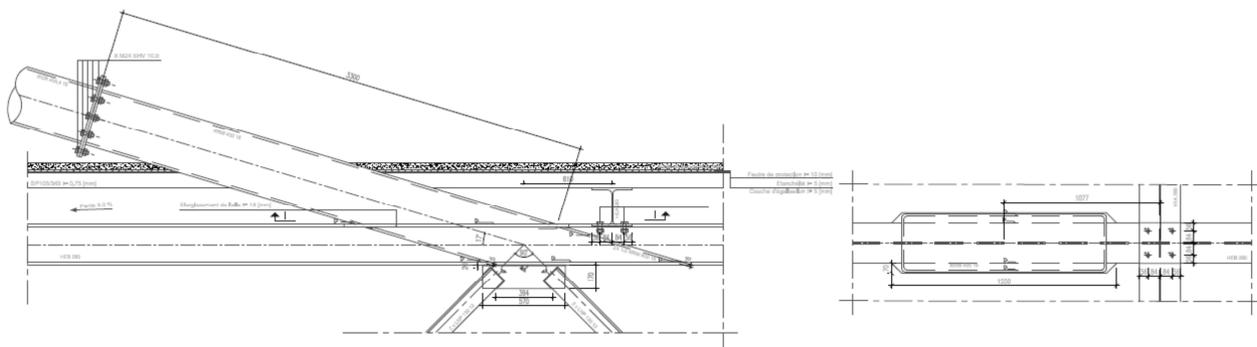


Figure 6: Attache butons-treillis

- Le dimensionnement des assemblages de profilés tubulaires creux est incomplet dans les normes suisses, c'est pourquoi il est nécessaire de se référer aux Eurocodes afin de déterminer les risques éventuels de ruine et, le cas échéant, la nécessité d'un renforcement.
- La tête de mât et le nœud arrière étant des assemblages particulièrement visibles, il convient de leur conférer une certaine qualité esthétique. Les diamètres des profilés sont alors uniformisés de manière à réaliser un assemblage aux lignes épurées.

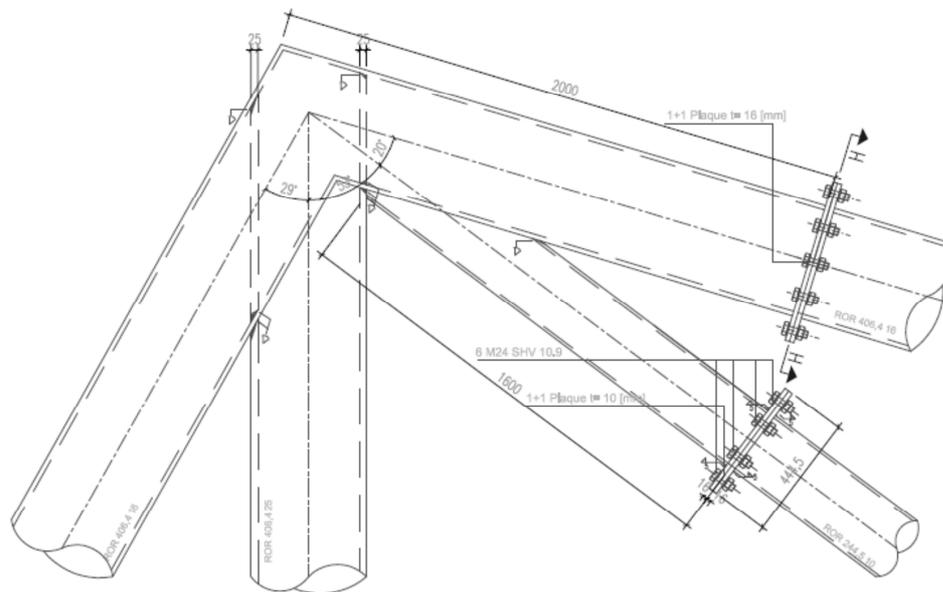


Figure 7: Tête de mât

- La liaison entre le treillis et le mât doit permettre la transmission des efforts vers l'élément stabilisateur, à l'arrière de ce premier. C'est pourquoi l'utilisation de plaques frontales est requise de façon à pouvoir souder deux goussets horizontaux traversant, dans la continuité directe des deux ailes de la membrure supérieure, les dimensions correspondant parfaitement au profilé tubulaire soudé de manière complètement pénétrée au mât.

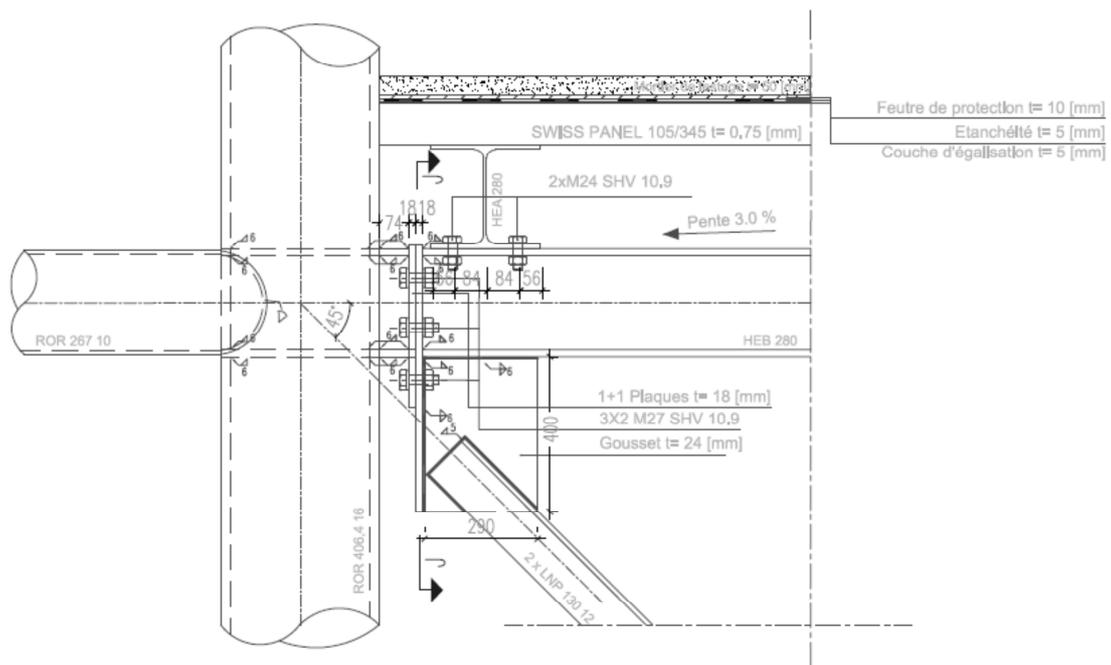


Figure 8: Liaison treillis-mât

4.5 MÉTRÉ ET COÛTS

4.5.1 Evaluation du métré

A partir des dimensionnements effectués pour les tribunes principale et latérale, on détermine le métré de la charpente métallique dont on peut trouver le détail dans les tableaux 1 et 2 ci-après. Ainsi **1500 tonnes** d'acier sont nécessaire pour la réalisation complète de ce futur stade de Lausanne. De manière conventionnelle, on ramène le poids aux surfaces et aux volumes utiles. On obtient :

$$S' = \frac{\text{Masse totale}}{(S_1 + S_2)} = \frac{1500 \cdot 10^3}{2 \cdot (7680 + 3252)} = 68.6 \text{ kg/m}^2$$

$$V' = \frac{\text{Masse totale}}{(V_1 + V_2)} = \frac{1500 \cdot 10^3}{2 \cdot (59520 + 32795)} = 8.1 \text{ kg/m}^3$$

Où S_1 , S_2 , V_1 , V_2 correspondent aux surfaces et aux volumes utiles de la tribune principale, respectivement latérale.

Le poids ramené aux surfaces utiles est légèrement supérieur à ce qui est fait en général dans la construction métallique (entre 50 et 60 kg/m²).

4.5.2 Evaluation des coûts

En prenant un coût d'ensemble (fabrication, livraison, montage) au kilo d'acier de 7.50 CHF, l'estimation du prix de vente de la charpente métallique vaut **11.25 millions CHF**.

5 CONCLUSIONS

Les remarques suivantes peuvent être formulées traitant de ce travail en général:

- Les phases de conception, générale ou de détails constructifs, ne devraient jamais être négligées, ni en termes de qualité, ni en durée. Une bonne conception est toujours source d'un concept structural de qualité et d'un dossier solide.
- Des situations de risques supplémentaires devraient être considérées : le calcul de résistance au feu et une analyse dynamique de la structure sont effectivement manquants dans le dimensionnement proposé.
- Des doutes peuvent être émis sur les valeurs des coefficients de pression des vents utilisés. Bien qu'ils soient issus des normes SIA, les effets d'engouffrements du vent ne sont pas considérés, les valeurs données étant déterminées pour une tribune ouverte sur les côtés. Une analyse plus poussée des forces de vent qui s'appliquent sur la toiture, en fonction de la direction de leur inclinaison, paraît ainsi judicieuse car les situations de risques dues à ces forces sont prépondérantes pour la grande majorité des profilés dimensionnés.
- La disposition des locaux et les nécessités en découlant, pourraient créer des discontinuités dans les systèmes porteurs considérés. L'affectation de la surface utile devrait être clairement définie, pour effectuer des calculs particuliers.
- Il est probable que l'hétérogénéité des profilés laminés dimensionnés pose des problèmes logistiques sur le chantier.
- Une étude détaillée sur les coins de la toiture devrait également être effectuée, notamment en ce qui concerne la continuité de la pente pour assurer un écoulement des eaux de pluies de qualité, dans le but d'éviter les problèmes liés aux eaux stagnantes
- Avant d'envisager une hypothétique construction de ce stade, de très nombreux détails, liés à la mise en service de l'éclairage par exemple, devraient encore être pris en considération.
- De manière générale, les objectifs fixés au début du travail ont été atteints.

5.1 RÉCAPITULATIF DU DIMENSIONNEMENT ET MÉTRÉ DE LA TRIBUNE PRINCIPALE

Eléments	Système statique	Portée/ longueur	Etat limite	Profilé	Acier	Formule SIA 263	Taux de solicitation	Masse [kg/m]	Nombre	Total [t]
Pannes	Poutres sur 3 appuis	15m	ELU 2	HEA 280	S355	49	93%	76.4	64	73.344
Membrures supérieures	Barres	4m	ELU 3	HEB 280	S355	15	83%	103	56	23.072
Membrures inférieures	Barres	4m	ELU 2	HEA 220	S355	15	90%	50.5	48	9.696
Diagonales	Barres	5,65m	ELU 2	2X LNP 130 · 12	S235	15	93%	47.2	112	29.868
Butons longs	Barres	21m	ELU 3	ROR 406,4 · 16	S355	15	80%	154	8	25.872
Butons courts	Barres	10m	ELU 3	ROR 244,5 · 10	S355	15	90%	57.8	8	4.624
Mâts	Barres	12.5m	ELU 2	ROR 406,4 · 25	S355	15	71%	235	8	23.500
Stabilisateurs "mâts"	Barres	6.9m	ELU 3	ROR 406,4 · 16	S355	15	64%	154	8	8.501
Stabilisateurs "treillis"	Barres	3.3 m	ELU 2	ROR 267 · 10	S355	15	99%	69.4	8	1.832
Stabilisateurs "diagonaux"	Barres	10.5m	ELU 3	ROR 298.5 · 10	S355	15	96%	71.1	16	11.945
Stab. "horizontaux"	Barres	10.3m	ELU 2	ROR 323,9 · 16	S355	15	89%	121	16	19.941
Stab. "pieds"	Barres	11.4m	ELU 3	ROR 406,4 · 16	S355	15	53%	154	8	14.045
Montants extérieurs	Appuyés-encastés	4.5 m	ELU 2	HEB 500	S355	51	91%	187	12	10.098
Montants intérieurs	Appuyés-encastés	4.5 m	ELU 2	HEB 260	S355	52	33%	93	18	7.533
Sommiers	Poutres bi-encastées	8m	ELU 4	HEB320	S355	51	97%	127	18	18.288
Solives	Poutres simples	7.5m	ELS 4	HEA300	S235	-	135%	88.3	154	101.987
Montants extérieurs	Bi-encastés	4.5 m	ELU 3	HEB 260	S355	51	84%	93	18	7.533
Montants intérieurs	Bi-encastés	4.5 m	ELU 6	HEB 340	S355	52	86%	134	27	16.281
Sommiers	Poutres bi-encastées	8m	ELU 4	HEB 360	S355	51	92%	142	27	30.672
Toiture	Barres	21.9m	ELU 3	ROR 63.5 · 3,2	S235	6	97%	4.51	4	0.395
Façade	Barres	20.5m	ELU 3	ROR 76.1 · 5	S235	6	95%	10.3	2	0.422

Total 439.448 [t]

Tableau 1: Récapitulatif du dimensionnement et métré de la tribune principale

5.2 RÉCAPITULATIF DU DIMENSIONNEMENT ET MÉTRÉ DE LA TRIBUNE LATÉRALE

Éléments	Système statique	Portée/longueur	Etat limite	Profilé	Acier	Formule SIA 263	Taux de sollicitation	Masse [kg/m]	Nombre	Total [t]
Pannes	Poutres sur 3 appuis	12m	ELU 3	HEA 240	S355	52	69%	60.3	60	43.416
Membrures supérieures	Barres	4m	ELU 2	HEB 180	S355	15	93%	51.2	55	11.264
Membrures inférieures	Barres	4m	ELU 2	HEA 180	S355	15	82%	35.5	55	7.81
Diagonales	Barres	5,65m	ELU 2	2x LNP 110 10	S235	15	82%	33.2	50	9.379
Butons	Barres	13.4m	ELU 3	ROR 273 10	S355	15	97%	64.9	11	9.56626
Mâts	Barres	12.5m	ELU 2	ROR 273 25	S355	15	60%	153	11	21.0375
Stabilisateurs "mâts"	Barres	6.9m	ELU 3	ROR 273 10	S355	15	64%	64.9	11	4.92591
Stabilisateurs "treillis"	Barres	3.3 m	ELU 2	ROR 193.7 6.3	S355	15	93%	29.1	11	1.05633
Stabilisateurs "diagonaux"	Barres	9.5m	ELU 3	ROR 219.1 4.5	S355	15	97%	23.8	22	4.9742
Stab. "horizontaux"	Barres	9.2m	ELU 2	ROR 244.5 10	S355	15	83%	57.8	22	11.69872
Stab. "pieds"	Barres	11.4m	ELU 3	ROR 273 10	S355	15	86%	64.9	11	8.13846
Montants extérieurs	Appuyés-encastés	4.5 m	ELU 4	HEB 300	S355	51	89%	117	18	9.477
Montants intérieurs	Appuyés-encastés	4.5 m	ELU 4	HEB 280	S355	52	10%	103	9	4.1715
Sommiers	Poutres bi-encastées	8m	ELU 4	HEB 280	S355	51	90%	103	9	7.416
Solives	Poutres simples	6m	ELS 4	HEA 260	S235	-	109%	93	240	133.92
Montants extérieurs	Bi-encastés	4.5 m	ELU 3	HEB 300	S355	51	90%	117	24	12.636
Montants intérieurs	Bi-encastés	4.5 m	ELU 2	HEB 300	S355	52	75%	117	12	6.318
Sommiers	Poutres bi-encastées	8m	ELU 6	HEB 280	S355	51	79%	103	12	9.888
Toiture	Barres	16.9m	ELU 3	ROR 57 2.9	S235	6	93%	3.87	4	0.261612
Façade	Barres	19.6m	ELU 3	ROR 63.5 5	S235	6	84%	7.21	2	0.282632

Total 317.63 [t]

Tableau 2: Récapitulatif du dimensionnement et métré de la tribune latérale