

SOMMAIRE

1. Préambule	p2
2. Présentation de l'ouvrage	p2
3. Hypothèses considérées	p4
4. Modélisation de l'ouvrage	p4
5. Options de calcul retenues	p7
6. Interprétation des résultats	p9
7. Conclusion	p11

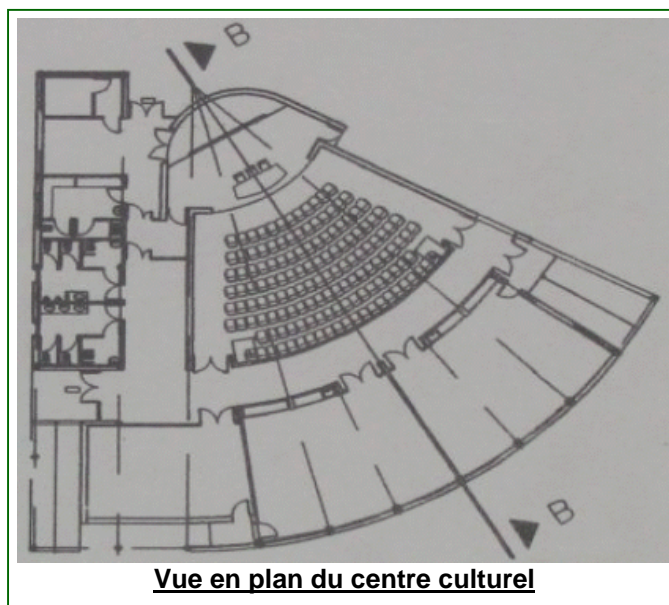
1. Préambule

Pour concrétiser le cours portant sur la méthode des éléments finis, il nous a été donné l'occasion d'étudier un ouvrage de notre choix au travers du logiciel de calcul CAST3M. Nous avons décidé d'orienter l'objet de notre étude vers la modélisation d'une structure de bâtiment : le théâtre du centre culturel de Sondika (Bilbao) sur lequel l'un d'entre nous a été affecté au cours d'un de ses stages.

On se propose d'étudier le comportement et les déformations des poutres de la charpente du théâtre sous l'action du poids propre de la structure et des autres charges prises en compte (charges d'exploitation et effet du vent).

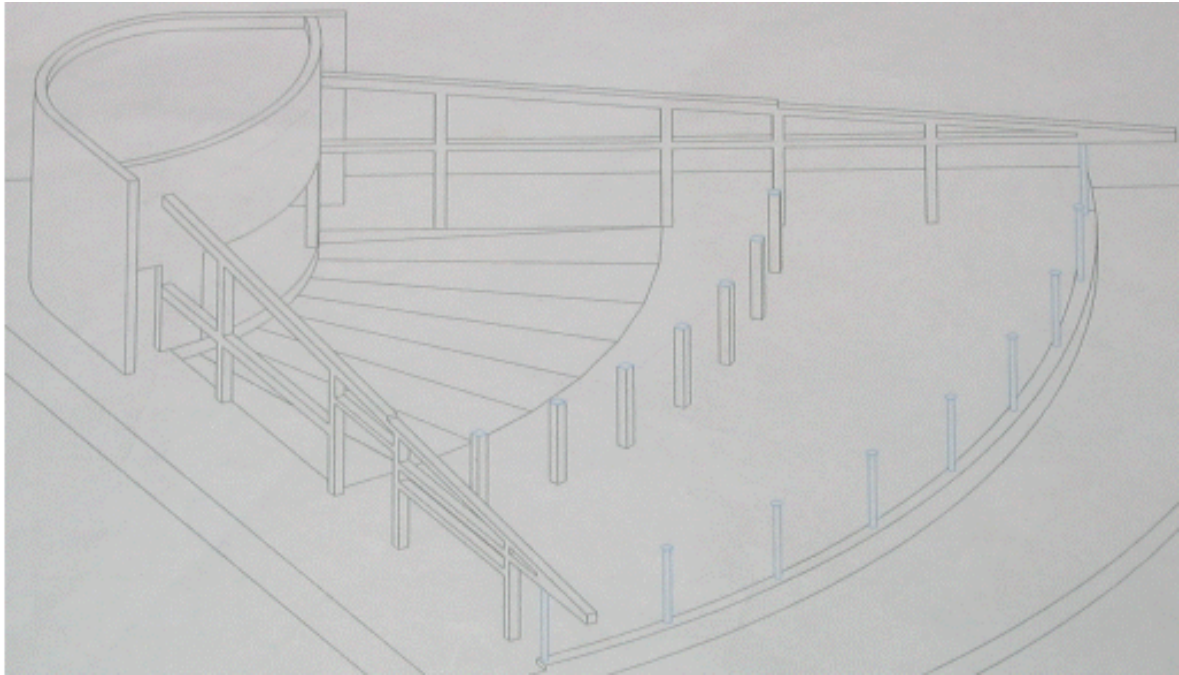
2. Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage est un bâtiment de plein-pied, de la forme d'un hémicycle couvrant une surface de 475 m^2 . Ce théâtre a une capacité d'accueil de 200 personnes. Aussi, afin d'avoir une vaste surface, les murs de refends sont limités.



Vue en plan du centre culturel

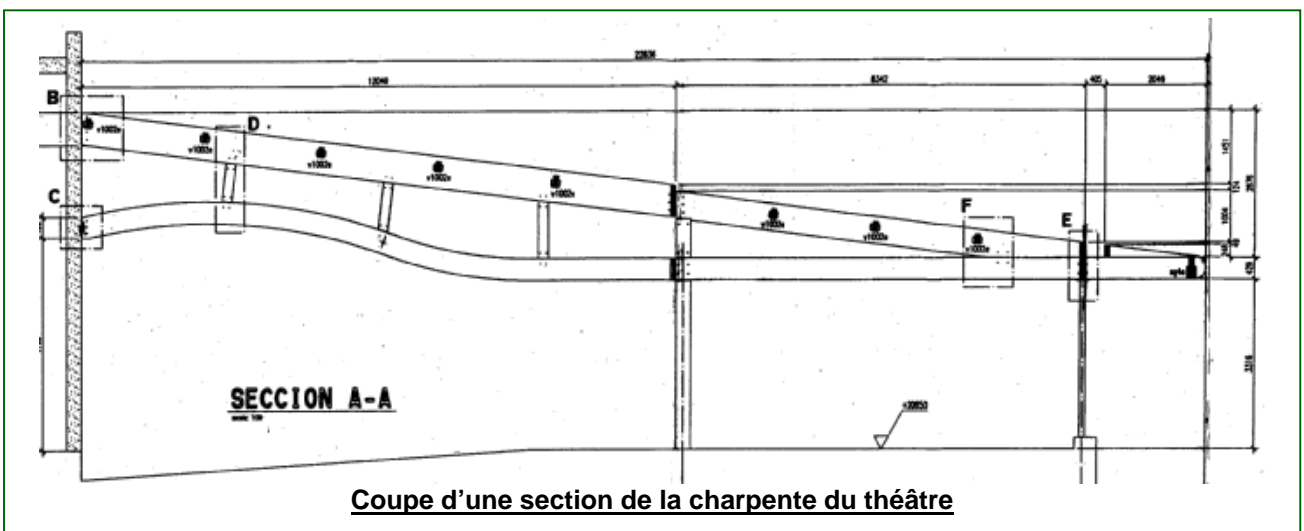
Ce théâtre présente une structure associant une superstructure en béton armé à une charpente bois en lamellé collé soutenant une couverture en zinc.



Vue en perspective de la superstructure en béton armé du théâtre

Ainsi, la superstructure en béton armé est composée d'un voile courbe (constituant la scène), de 2 voiles latéraux et de 14 poteaux répartis (2 rangées de 7) suivant le même arrondi que le voile courbe.

Sur cette superstructure repose la charpente en lamellé-collé découpée en sept sections orientées autour d'un même axe. Chacune des sections est composée d'arbalétriers, de poutres courbes, de contrefiches (liant les arbalétriers aux poutres courbes) et des pannes (liant les arbalétriers entre eux).



Coupe d'une section de la charpente du théâtre

3. Hypothèses considérées

Nous avons décidé de réaliser quelques modifications en ce qui concerne la géométrie afin de pouvoir modéliser l'ouvrage plus aisément : les lucarnes présentes en toiture ont été supprimées, l'ouverture matérialisant la scène a été supprimée (cette dernière est représentée par un voile courbe) et les dimensions ont été arrondies à l'entier supérieur.

Le bois, qui est un matériau orthotrope, est ici considéré comme isotrope car la charpente est amenée à se déplacer principalement dans une direction, du fait de son chargement. En conséquence, les déplacements dans les autres directions sont considérés comme négligeables et le module d'Young peut être pris égal dans les trois directions.

Les charges d'exploitation reprises par la couverture sont celles des toitures terrasses inaccessibles, soit $1,5 \text{ kN/m}^2$.

Par ailleurs, la hauteur du bâtiment variant entre 3,5 et 6,5m, on peut considérer le bâtiment comme étant de faible hauteur, et donc les actions de vent ne sont pas des actions dynamiques. Les charges variables prises en compte au cours du dimensionnement étaient :

- $0,4 \text{ kN/m}^2$ horizontal pour la neige ;
- $0,72 \text{ kN/m}^2$ pour le vent.
-

Etant intéressés par le comportement de la charpente, on appliquera ces charges à la seule toiture.

4. Modélisation

Pour traiter cet ouvrage, nous avons choisi de modéliser les lignes moyennes des éléments constituant la structure, auxquelles on affecte leur caractéristique mécanique et géométrique. Le théâtre est ici défini dans l'espace tridimensionnel. Par ailleurs, La structure est constituée de trois matériaux.

➤ Le béton armé

- La dalle (nommée « dalle »)

Elle a été représentée pour permettre l'encastrement des pieds de poteaux et des voiles, lors de la détermination des conditions limites.

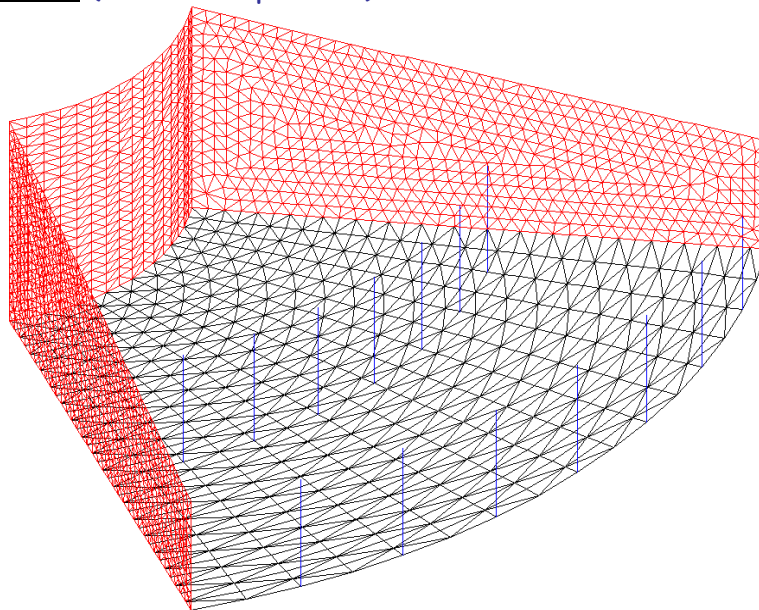
- Le voile courbe (nommé « voicourb »)

Il a été divisé en deux dans sa hauteur au niveau du point d'ancrage de la poutre courbe, pour faire coïncider ce point avec le maillage du voile et en huit surfaces dans sa longueur pour faire correspondre les sept sections avec les intersections de ces surfaces.

- Les deux voiles latéraux (nommés « voilat »)

Ils sont de forme trapézoïdale. Le segment qui réalise la pente est le même que pour les arbalétriers afin de voir correspondre les pannes avec le maillage de ces voiles.

- Les poteaux (nommés « potot »)



Aperçu de la structure en béton armé

➤ Le lamellé collé

- Les poutres courbes (nommées « poucour »)

Elles constituent la particularité de la charpente de ce bâtiment.

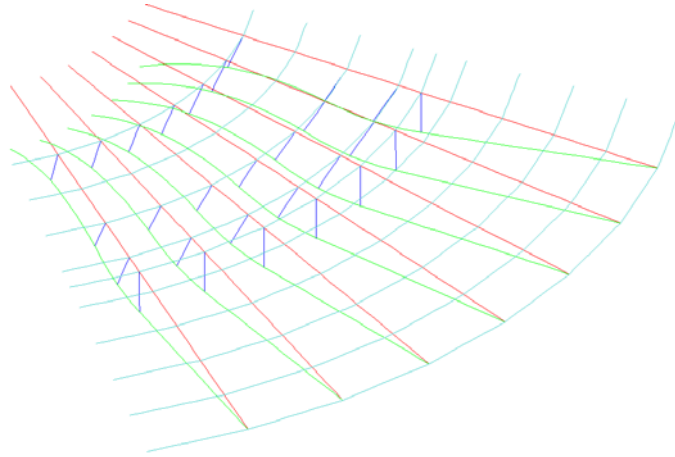
- Les arbalétriers (nommés « arba »)

- Les contrefiches (nommées « contfic »)

Elles permettent de lier les arbalétriers aux poutres courbes.

- Les pannes (nommées « panne »)

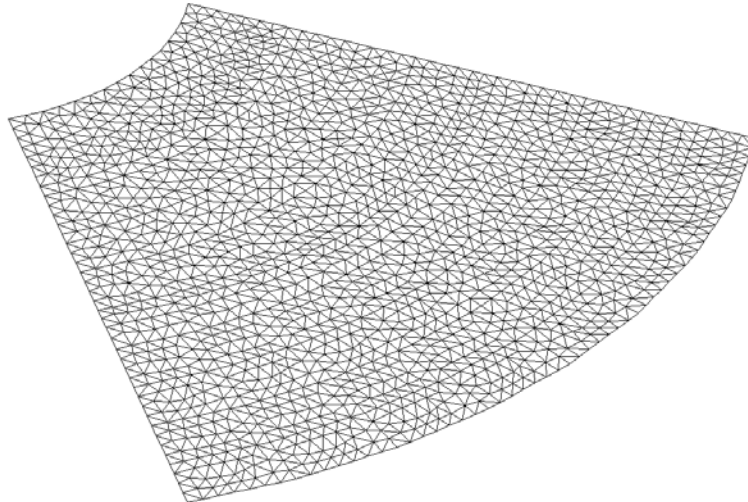
Elles liaisonnent les arbalétriers entre eux et soutiennent la couverture.



Aperçu de la charpente en lamellé collé

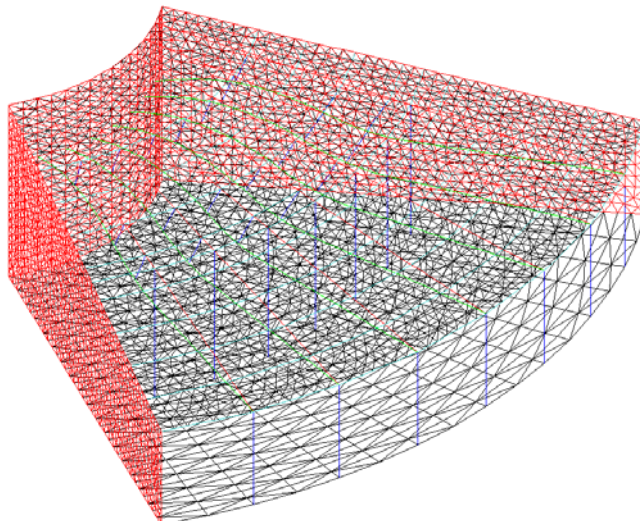
➤ Le zinc

- La couverture (nommée « couv »)



Aperçu de la couverture en zinc

➤ Modélisation finale



5. Options de calcul retenues

➤ Les liaisons

Il est nécessaire de définir différents types de liaisons entre les éléments afin de modéliser correctement la structure et ses déformations.

Dalle : encastrement pour fixer la structure dans l'espace

Poteaux : encastremets en pied avec la dalle

Voiles : encastremets entre eux et avec la dalle

Poteaux / Poutres courbes : rotules

Poutres courbes / Voiles courbes : rotules

Poutres courbes / Contre fiches : rotules

Contre fiches / Arbalétriers : rotules

Arbalétriers / Pannes : rotules

Couverture / Charpente : rotules

Couvertures / Voiles : rotules

Arbalétriers / Poteaux : rotules

Les encastremets sont réalisés à l'aide de l'opérateur bloq et les liaisons rotules sont réalisées à l'aide de l'opérateur rela ense.

➤ Le maillage

Dans le cas présent, le maillage des surfaces créées comporte des éléments triangulaires (tri3), car si on avait opté pour des éléments de type quadrilatère (qua4), les surfaces auraient été composées d'éléments quadrilatères et triangulaires et il semblerait que l'alternance de ces types d'éléments ait généré des erreurs chez certains camarades de la classe.

➤ La densité

La densité représente la « finesse » du maillage et permet d'évaluer correctement les déformations et le comportement du système considéré.

Dans le cas présent elle vaut 0,5 (densité 0.5).

➤ Les matériaux

Les caractéristiques définies pour les matériaux sont les suivantes :

Béton :

- Module de Young : 30 GPa
- Coefficient de Poisson : 0.2
- Masse volumique : 2500 kg/m³

Lamellé collé :

- Module de Young : 10 GPa
- Coefficient de Poisson : 0.35
- Masse volumique : 500 kg/m³

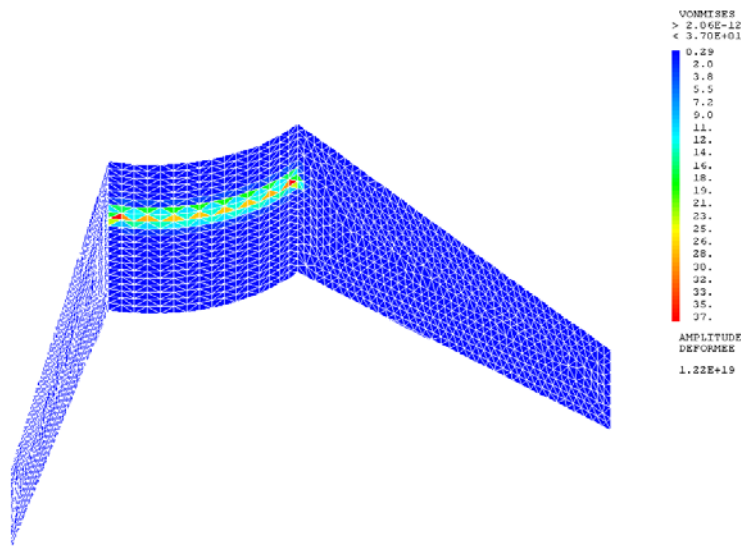
Zinc :

- Module de Young : 210 GPa
- Coefficient de Poisson : 0.25
- Masse volumique : 1250 kg/m³

Nota : La couverture en zinc (voligeage et tasseaux compris) a un poids surfacique de 25 daN/m² que l'on a réparti dans les 2cm d'épaisseur. On viendra y ajouter 18 daN/m² horizontal pour représenter les charges apportées par 2 cm de plaques de plâtre.

6. Interprétation des résultats

La déformée de la géométrie ne présente pas d'intérêt particulier, étant donné qu'elle est clairement visible si elle est amplifiée avec un facteur de $10.E+15$. Cela peut s'expliquer par le fait que la structure a été bien dimensionnée par rapport aux charges appliquées.

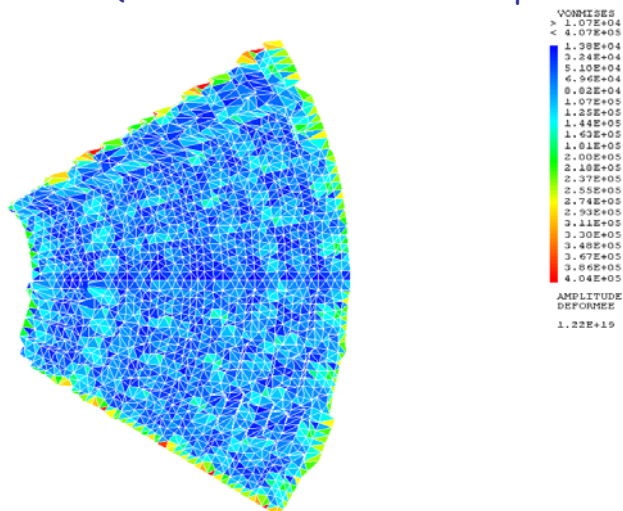


Contraintes dans le voile

Les voiles ne semblent pas être affectés par le chargement. Ils semblent que les contraintes maximums se situent au niveau de la liaison entre les poutres courbes et le voile courbe.

Cependant, les contraintes engendrées (qui sont des moments) ne dépassent pas 40Pa. On ne peut pas dire que les voiles « souffrent » sous les charges.

Pour les poteaux, les poutres courbes, les arbalétriers, les contrefiches et les pannes, les contraintes sont inférieures à 1Pa, le chargement ne semble pas les affecter. Ces contraintes sont principalement des efforts suivant Z ; ce qui paraît normal, étant donné que les charges sont surtout appliquées horizontalement, et que les liaisons entre éléments sont majoritairement des rotules (les moments ne sont donc pas transmis d'un élément à un autre).



Contraintes dans la couverture

En revanche, la couverture subit des contraintes allant de 0,1 à 4bars. Ces contraintes sont majoritairement des moments : cet élément étant particulièrement sollicité en flexion.

Les contraintes maximales se retrouvent en périphérie, car c'est là que se trouve le support principal de la couverture (le voile en béton).

Au vue du comportement de la poutre courbe, nous pouvons dire qu'elle a un comportement similaire à une poutre droite. Nous sommes donc amenés à penser que la forme en courbe a été adoptée, simplement pour offrir une meilleure vision de la scène par le public et non pas, comme nous l'aurions espéré, pour une éventuelle meilleure tenue face aux chargements générés.

Pour conclure, nous pouvons dire que ce bâtiment a une très bonne tenue au chargement. Il est peut être même un peu trop rigide (les déformées sont quasiment confondues avec la structure initiale).

Cela est peut être dû à un mauvais choix, de notre part, au niveau des conditions limites ou bien au fait que les charges appliquées sont trop faibles ou mal appliquées. Par ailleurs, il nous faut reconnaître que l'on a connu quelques difficultés au niveau de l'interprétation des résultats.

7. Conclusion

En premier lieu, il nous semble important de souligner les capacités quasi « infinies » que présente ce logiciel. Bien au-delà de cette initiation et du sujet traité, ce programme est applicable à bon nombre de domaines et constitue, à nos yeux, un outil indispensable pour étudier certains phénomènes complexes.

En second lieu, nous souhaiterions évoquer les difficultés auxquelles nous avons été confrontés en tant que « néophytes », que ce soit pour l'utilisation des opérateurs durant la programmation, ou bien encore pour le choix des hypothèses nous permettant de mettre en place cette étude. D'une manière plus précise, ces difficultés concernent :

- la création d'un maillage correct afin que les jonctions entre les éléments et les différents nœuds correspondent parfaitement ;

- l'utilisation de certains opérateurs de part la compréhension de leur domaine d'application ;

- la détermination et le choix des hypothèses de liaison entre les différents éléments composant la structure afin de modéliser une structure ayant le comportement le plus proche de l'ouvrage réel.

Enfin, l'utilisation du logiciel aura contribué, au travers de l'étude d'un ouvrage concret, à la compréhension de la méthode des éléments finis par l'application directe du cours.