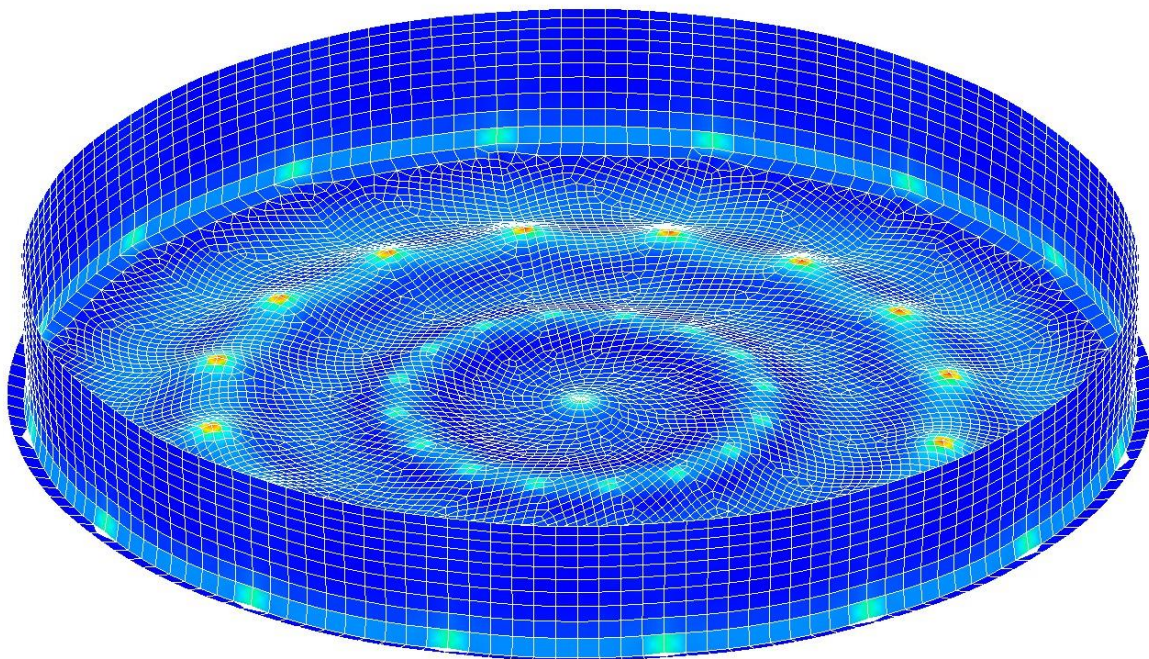


PROJET ELEMENTS FINIS

MODELISATION D'UN BASSIN TAMPON SOUS CASTEM



Antton LERISSA – Paul LEDOUX – Bittor LARTIGUE

ISA4 – Année 2020-2021

Enseignant : Christian LABORDERIE

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
I. Présentation du projet	2
II. Options de calcul	3
Espace dimensionnel.....	3
Liaisons du modèle	3
Maillage et densité	3
III. Géométrie du bassin tampon.....	4
IV. Caractéristiques mécaniques des éléments	6
V. Modélisation des pressions.....	6
VI. Interprétation des résultats	7
Réactions d'appuis	7
Déformations du bassin	8
Contraintes dans la structure	10
Conclusion	12

INTRODUCTION

Au cours de notre quatrième année d'études à l'ISA BTP, nous avons à réaliser un projet de calcul aux éléments finis à l'aide d'un logiciel appelé CASTEM. Cast3M (Castem) est un logiciel de simulation numérique utilisé en mécanique des structures, et développé par le Département de Modélisation des Systèmes et Structures (DM2S), autrefois Département Mécanique et Technologie (DMT), du Commissariat français à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives (CEA). Le langage de programmation utilisé pour développer Cast3M est le langage ESOPE, extension du langage Fortran.

La méthode de résolution aux éléments finis consiste à résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles représentant un phénomène physique, et ce à différents points d'un maillage, ce qui permet d'obtenir des solutions approchées du problème.

Dans le cadre de notre projet, nous avons décidé de nous intéresser à un ouvrage bien spécifique, à savoir la modélisation d'un bassin tampon. C'est une zone de stockage des eaux pluviales, enterrée, qui permet de gérer les fluctuations dans l'apport des eaux de pluies afin de les restituer d'une manière homogène dans le milieu. Cela nous a semblé bon d'étudier un tel ouvrage, peu vu en cours, afin d'analyser l'effort de l'eau sur les parois.

Nous allons commencer par établir la géométrie de l'ouvrage, grâce aux plans que nous avons à notre disposition, afin de le modéliser sur le logiciel CASTEM. Puis nous étudierons les contraintes et les déformations maximales que va subir le bassin tampon sous l'effet de l'eau qu'il contient. Cela nous permettra d'identifier les zones sensibles et donc d'améliorer la stabilité de notre structure.

I. PRESENTATION DU PROJET

La station d'épuration des eaux usées de Saint Bernard de Bayonne a été initialement conçue pour traiter les eaux usées de 5000 habitants. Aujourd'hui, la capacité de la station a atteint ses limites et est parfois dépassée notamment en période de fortes pluies. Cette nouvelle station d'épuration va être construite sur le site de l'actuel ouvrage. Elle a été pensée pour répondre aux obligations réglementaires et aux enjeux démographiques tout en prenant en compte les contraintes de préservation de l'environnement. La capacité de traitement est quintuplée, soit pour 26 000 habitants. Pour gérer et réguler les flux par temps de pluie, et ainsi limiter les déversements dans le milieu naturel, le projet a prévu la construction d'un bassin tampon de 1700 m³ en tête de station.

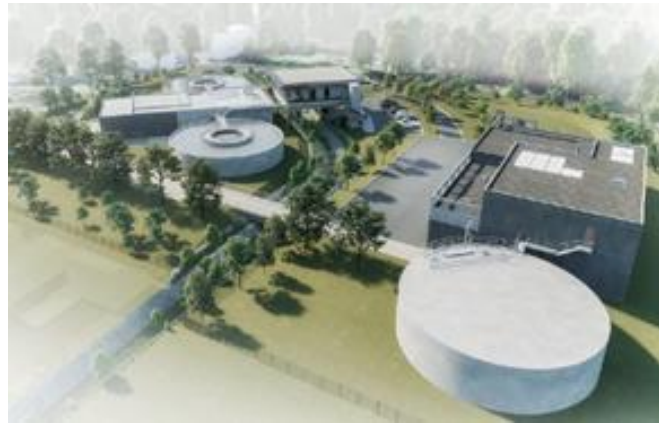


Figure 1 : Visuel 3D du projet de la STEP

Afin d'apprendre l'utilisation du logiciel CASTEM, nous avons décidé d'effectuer notre projet sur le bassin tampon de la STEP St Bernard. Le but de cette étude va être de déterminer l'ensemble des contraintes et des déformations présente dans cet ouvrage. On verra alors l'impact de la pression de l'eau stockée sur la structure par la méthode des éléments finis. Notre bassin sera composé de différents éléments : les fondations profondes composées de pieux, le radier circulaire ainsi que les voiles périphériques.

Ce rapport reprendra le développement de la réflexion que nous avons eu au cours de ce projet, en détaillant les différentes étapes suivies tout au long de l'écriture du code CASTEM pour modéliser notre bassin. Ces étapes suivent un ordre précis, de la définition de la géométrie du modèle au renseignement des caractéristiques mécaniques et enfin à la résolution du modèle à travers des résultats calculatoires et graphiques que nous exploiterons pour appréhender le fonctionnement et l'intérêt d'une telle modélisation.

II. OPTIONS DE CALCUL

ESPACE DIMENSIONNEL

Après une première tentative de modélisation de notre projet en 2D selon une coupe du rayon du bassin, il nous a semblé plus pertinent de modéliser le bassin en 3D pour observer les effets de la pression de l'eau dans toutes les directions.

QUA4 Machin on verra plus tard...

LIAISONS DU MODELE

Au sein du bassin, nous avons des liaisons d'encastrement entre le radier et les voiles périphériques. Dans notre cas, la reprise des charges par les pieux sera représentée par la modélisation de nœuds bloqués en z à l'emplacement de l'interface pieux / radier. La structure sera donc appuyée dans l'espace via ces encastresments dans le sol.

MAILLAGE ET DENSITE

La déformée sera visualisée en 3D par l'action des sollicitations sur le découpage en petits éléments de la structure, le maillage. La modélisation est définie par une association de figures géométriques de dimensions identiques, des triangles ou des parallélépipèdes, coq3 ou coq4. Nous utiliserons donc les deux types de maillage pur modéliser notre bassin, car il ne peut pas être modélisé qu'à partir de parallélépipèdes.

La modélisation par éléments coq permet de définir les éléments par des surfaces et de leur attribuer par la suite des épaisseurs et des caractéristiques mécaniques. Cela permet de travailler avec la fibre moyenne et donc d'avoir des liaisons et une définition de la géométrie de nœud à nœud, ce qui donne des résultats plus exacts et proches de la réalité.

III. GEOMETRIE DU BASSIN TAMPON

Pour réaliser la géométrie de notre ouvrage, nous avons suivis les plan EXE du bureau d'étude structure. Il faut savoir que pour cette étude nous avons décidé de simplifier le bassin. En effet, dans le projet de base, le bassin tampon est recouvert d'une dalle béton qui est supporté par un système poteau poutre. Nous avons donc considéré dans notre modélisation les fondations profondes, le radier et le voile périphérique.

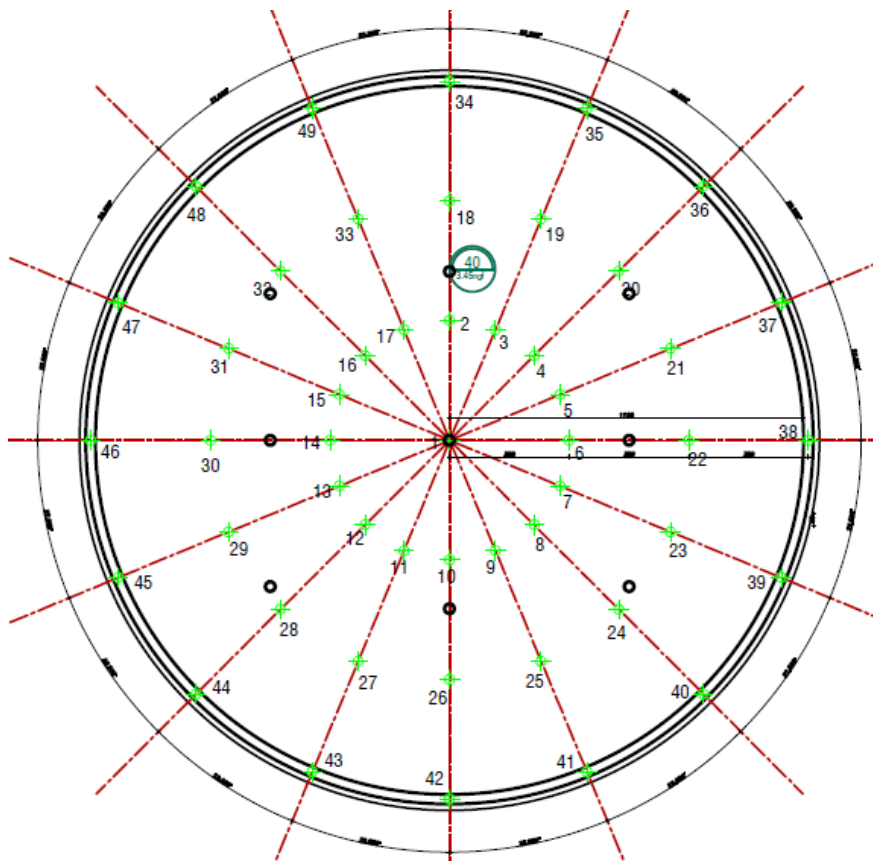


Figure 2 : Vue plane du bassin et du positionnement des éléments structuraux

Pour réaliser un maillage continue entre les différents éléments de notre bassin, nous les avons générés à partir de point identique. Ainsi l'encastrement est bien représenté.

Nous intégrons la fonction « ELIM » de façon à supprimer les nœuds doubles aux zones de contacts entre plusieurs éléments.

Le nombre de couches et la densité sont communs à tous les éléments.

- Dimensions du radier : Diamètre 45 m et épaisseur 40 cm
- Dimensions des voiles : Hauteur 5.65 m et épaisseur 30 cm

Pour définir la géométrie du bassin de manière exacte, nous sommes partis du motif le plus petit possible, c'est-à-dire une part du bassin reprenant une file de pieux ainsi qu'une surface de radier et de voile. Un premier 16^{ème} du radier et du voile périphérique a été modélisé puis copié par symétrie pour former un quart, puis la moitié et enfin la totalité du bassin.

Le modèle reprend donc les mêmes géométries à partir d'un simple motif, uniformisant les figures et évitant de créer une grande quantité de points / boucles qui sont susceptibles de provoquer des erreurs dans la suite du code.

Les points représentant l'interface pieux / radier sont quant à eux à modéliser séparément car on leur appliquera par la suite des conditions limites, c'est-à-dire des blocages de déplacement, ici selon UZ. Il faut pouvoir identifier ces points pour définir ces conditions.

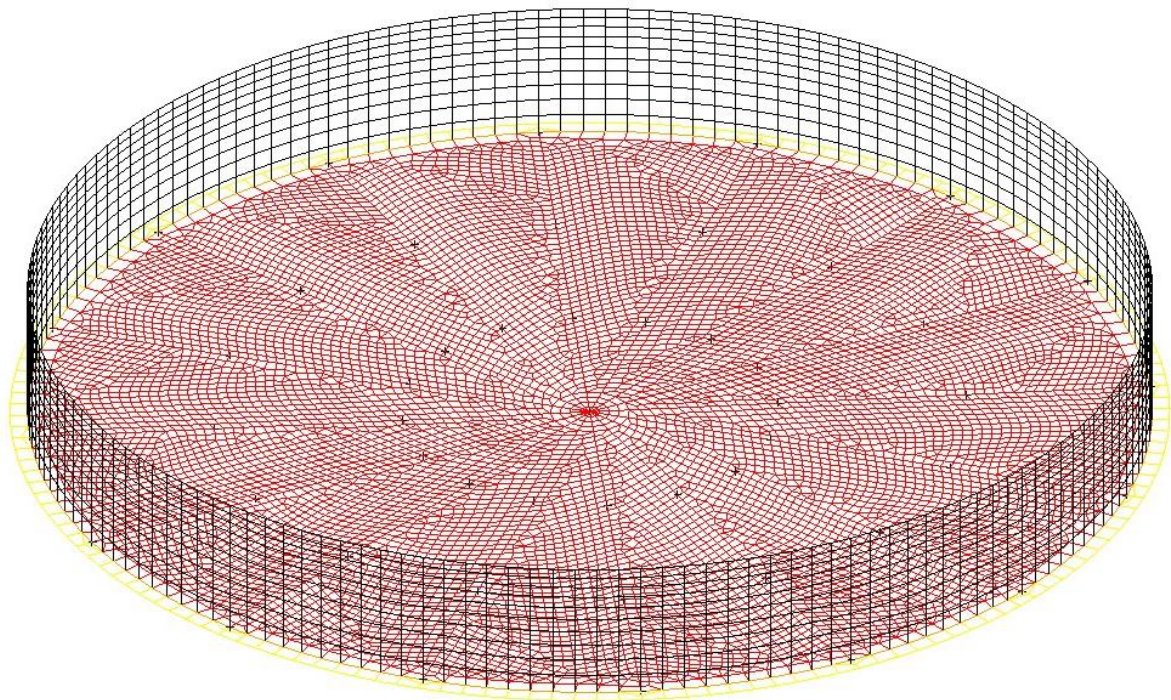


Figure 3 : Visualisation graphique du maillage du modèle du bassin tampon

IV. CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES ELEMENTS

Une fois que nous avons défini notre structure, nous allons lui appliquer ses propriétés mécaniques. Pour cela, nous avons défini les propriétés du béton qui constituera l'ensemble de nos éléments.

Afin d'observer les déformations et les contraintes engendrées par la structure, nous nous sommes placés dans le domaine élastique.

Pour réaliser les calculs de résistance des matériaux, il faut avoir une structure rigide. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé une matrice de rigidité. Cette dernière prend en compte les propriétés isotropes du béton, mais aussi de ses caractéristiques mécaniques et des conditions de la liaison de la structure avec l'extérieur (blocage du mouvement UZ au point haut des pieux).

Le matériau constitutif de chaque élément est le béton. Voici les caractéristiques du béton que l'on applique au projet :

- Module de Young : 30 Gpa
- Coefficient de Poisson : 0.2
- Masse volumique du béton : 25 kN/m³
- Epaisseur de l'élément : 0.40 ou 0.30

V. MODELISATION DES PRESSIONS

Afin d'étudier le comportement du bassin tampon dans son utilisation, nous avons décidé de modéliser la pression de l'eau ainsi que le poids propre des éléments béton.

Après avoir assigné des épaisseurs à nos éléments COQU, représentations de la fibre moyenne, nous calculons la masse des éléments à partir des caractéristiques mécaniques et un champ de gravité orienté négativement (-9.81). Le poids propre n'est plus que le produit de la gravité et la masse.

Ensuite, nous avons modélisé la pression de l'eau sur le bassin en deux temps. La pression sur le radier est constante, avec un champ de pression équivalent à la hauteur d'eau multipliée

au poids volumique et à la gravité, elle est donc définie dans une première pression. La pression s'exerçant sur les parois est quant à elle variable. On définit donc un point eau d'hauteur eau (ici le point haut du voile périphérique afin de prendre la situation la plus défavorisante si le bassin est totalement rempli) et on lui soustrait la coordonnée verticale du voile ce qui donne un champ de pression augmentant avec la hauteur d'eau.

Ces pressions doivent être correctement orientées. Au cours de la première modélisation, ces pressions étaient orientées vers l'intérieur du bassin, ce qui ne représentait pas du tout la réalité. On doit alors orienter les éléments dans le sens opposé pour que les pressions s'orientent correctement par défaut ou alors on oriente directement les pressions grâce à un vecteur directeur.

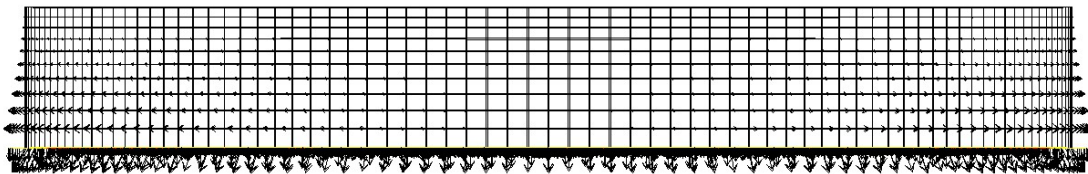


Figure 4 : Visualisation graphique des champs de pression exercés sur le bassin

VI. INTERPRETATION DES RESULTATS

REACTIONS D'APPUI

Nous n'avons pas modélisé les pieux par des éléments COQU mais nous avons bloqué directement les déplacements en z au niveau de l'encastrement entre les pieux et le radier. C'est donc au niveau de ces points que les réactions d'appuis des pieux vont être calculées. Nous cherchons à connaître la valeur des charges maximales reprises par les pieux et transmises au sol.

Dans la première version de notre modélisation, un encastrement avait été modélisé entre le sol et le radier. Le logiciel aurait considéré le sol comme infiniment rigide. Cela ne nous aurait pas permis de calculer les charges reprises par ces pieux et donc pas d'éventuel dimensionnement ou étude préliminaire pour choisir le bon sol.

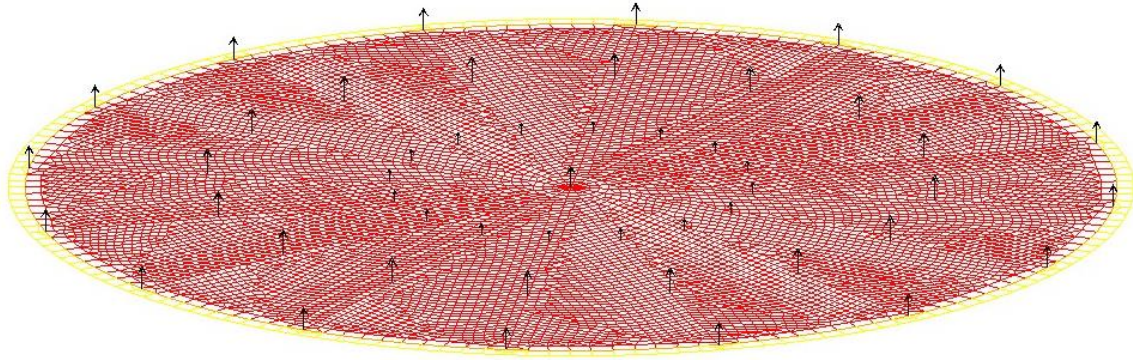


Figure 5 : Réactions d'appuis des pieux modélisés par des nœuds encastres

Grâce à une extraction sur Castem, on peut déterminer une valeur maximale de $3.052E+06\text{Pa}$ soit environ 3MPa . Cette valeur maximale est reprise par chaque pieu du second cercle intérieur, reprenant le poids propre du radier, une partie du poids propre des voiles ainsi que la pression de l'eau appliquée sur le radier.

Les réactions d'appui sur ces nœuds sont toujours positives, quelques soient les charges, il n'y a pas de risques de basculement car la charge du bassin est répartie de manière à couvrir une surface conséquente.

DEFORMATIONS DU BASSIN

En prenant en compte la gravité et la pression de l'eau du bassin en charge, nous voulons obtenir les déformations subies par la structure.

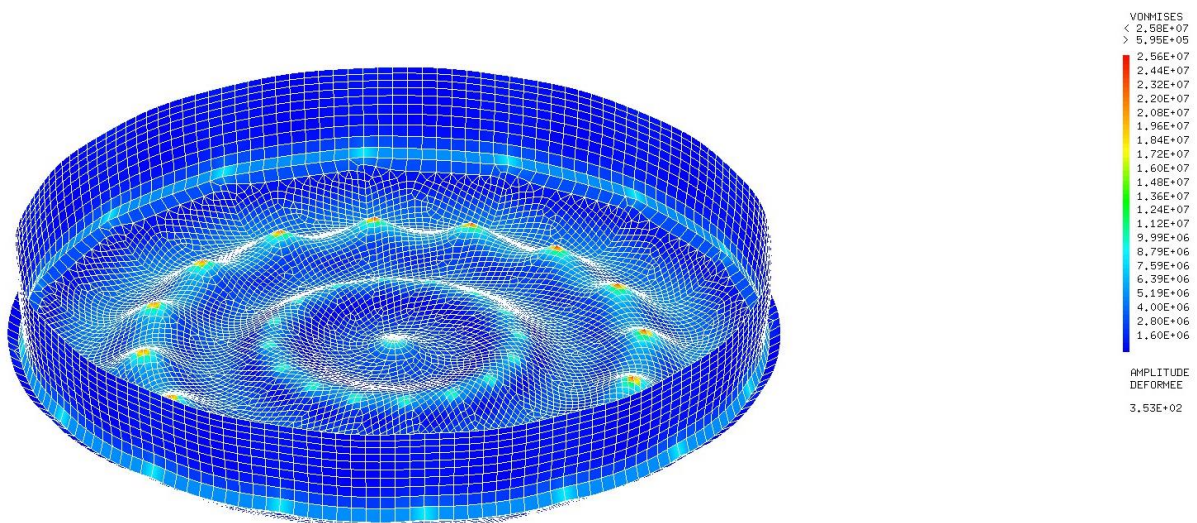


Figure 6 : Déformations subies par le bassin

On observe clairement les points encastrés représentant les pieux et les déformations qui s’opèrent autour d’eux. On voit bien que les éléments qui vont subir le plus de déformations sont les voiles périphériques. Néanmoins cette visualisation graphique ne permet pas de connaître facilement les zones de déformations et leurs valeurs. C’est pourquoi nous générons une visualisation des déplacements et de la déformation du bassin pour avoir une vue d’ensemble du comportement de notre structure.

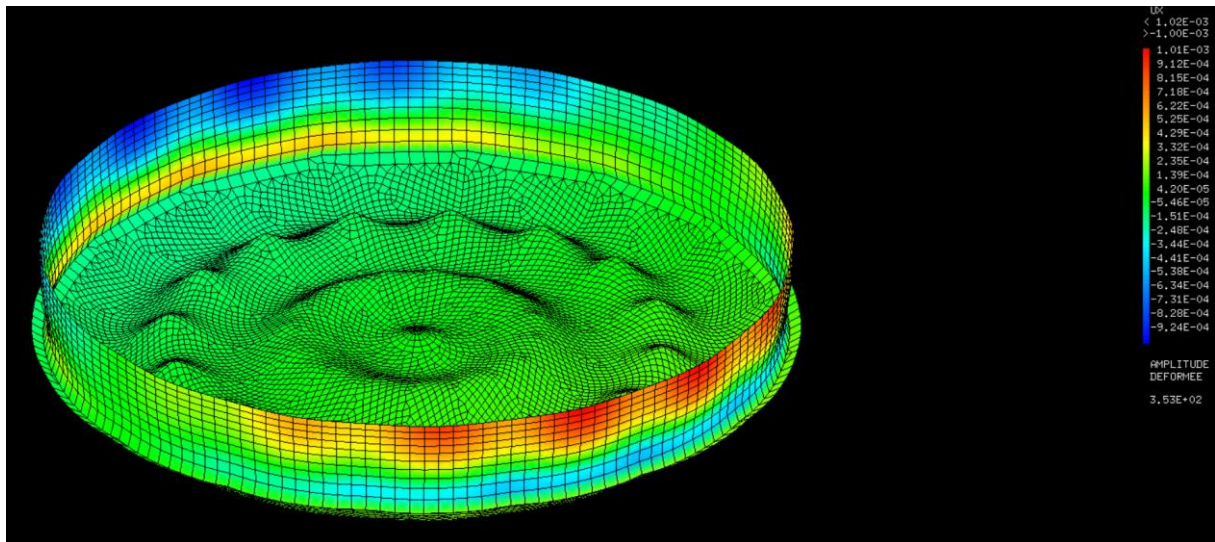


Figure 6 : Déformations et déplacements du bassin en charge

On observe alors que les zones supérieures du voile périphérique sont les plus déformées, par rapport à un radier qui est déformé environ à $4.20 \times 10^{-5} \text{ m}$ sur la majorité de sa surface. Il faudra prêter une attention particulière à la bonne disposition du ferrailage ou augmenter l’épaisseur du voile pour limiter la déformée.

Cette représentation graphique ne permet pas de définir exactement les valeurs des déformations maximales, c’est pourquoi nous utilisons une fois de plus une extraction pour obtenir ces valeurs :

Déplacement maxi suivant x **$1.02441 \times 10^{-3} \text{ m}$**

Déplacement maxi suivant y **$1.01866 \times 10^{-3} \text{ m}$**

Déplacement maxi suivant z **$1.01065 \times 10^{-3} \text{ m}$**

Ces déformations sont de l’ordre du mm, dans toutes les directions. Cela nous a étonné, pour une structure de 23m de diamètre et 5m de haut, cela semble peu pour un bassin chargé et rempli d’eau. Néanmoins, la possibilité d’extraire les valeurs maximales grâce à des extractions sur Castem représente un outil très puissant et efficace.

CONTRAINTES DANS LA STRUCTURE

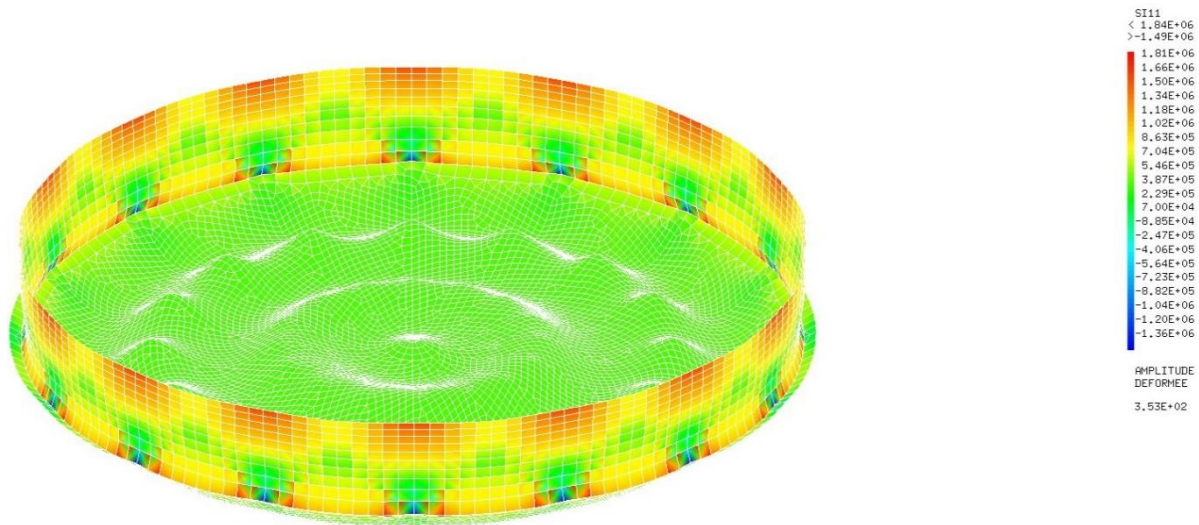


Figure 7 : Répartition des contraintes dans le bassin en charge

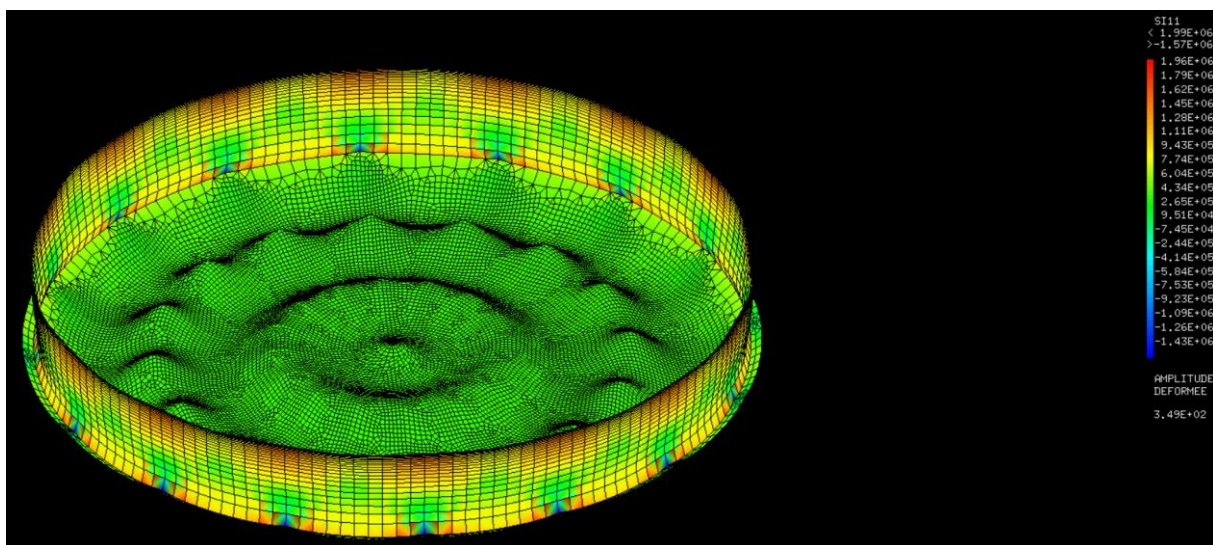


Figure 8 : Répartition des contraintes dans le bassin en charge avec densité de maillage plus faible

L'opérateur SIGM calcule un champ de contraintes à partir d'un champ de déplacements. En représentant l'état de contraintes sur la structure, nous nous apercevons que les têtes de pieux périphériques sont des points critiques (en raison de la concentration de couleurs au niveau de la liaison pieu- réservoir).

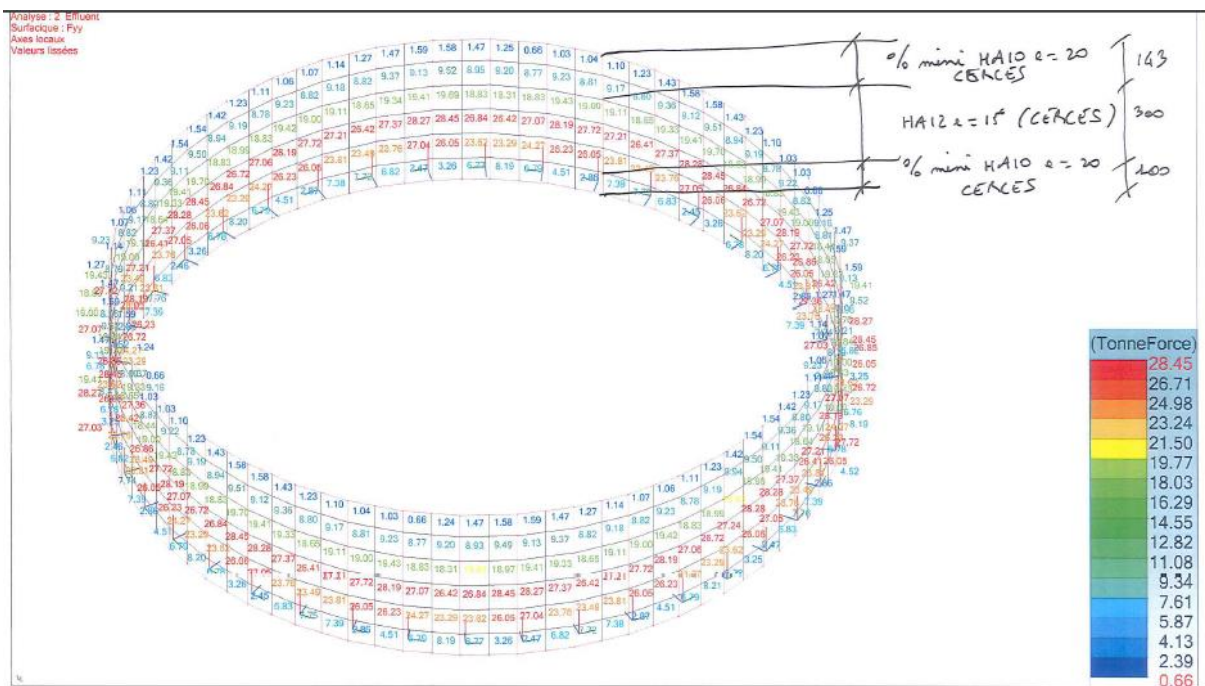
Extraction sous Castem :

Contrainte normale maxi 5.54265E+04 Pa

De plus on constate une plus forte concentration des contraintes en partie haute, ce qui correspond aussi une zone de déformation plus élevé. La partie basse du bassin est en soit plus soumise aux charges d'où l'augmentation de la contrainte.

Ce qui est curieux c'est que normalement nous devrions observer une augmentation de la contrainte sur les parois ce qui n'est pas le cas. Voici les résultats trouvés par le bureau d'études structure pour le calcul des efforts sur les voiles.

On constate que l'effort en yy augmente en profondeur jusqu'à réduire au niveau du radier.



CONCLUSION

Castem nous a permis d'appréhender la méthodologie à adopter afin de résoudre un problème aux éléments finis. A travers plusieurs étapes, nous arrivons à modéliser notre structure géométriquement et mécaniquement, ce qui nous amène à pouvoir résoudre notre modèle grâce aux calculs de Castem. Une fois cette résolution effectuée, on peut observer toute la puissance de Castem qui permet d'exploiter de nombreux résultats graphiques et analytiques.

Ils permettent de mettre en évidence les zones à traiter avec attention et donnent des valeurs de contraintes, déformées, réactions qui permettent d'établir un premier dimensionnement simplifié. Avec un code affiné et proche de la réalité, on peut obtenir des résultats très précis et donc obtenir des résultats que l'on ne pourrait pas approcher avec des calculs « manuels ».

Nous pouvons observer que les déformations les plus importantes se situent au niveau des voiles périphériques, en particulier dans la zone supérieure des voiles. Il sera donc nécessaire de faire attention au dimensionnement de ces ouvrages afin de réduire au maximum ces déformées et d'améliorer la stabilité de notre structure. Toutefois, ces résultats nous semblent biaisés et le code pourrait contenir des erreurs. Néanmoins, cela nous permet d'avoir une vision de la méthodologie à adopter, les résultats que l'on peut attendre du logiciel ainsi que le recul à garder afin d'avoir un regard critique sur nos résultats.

De par son listing d'aide et ses fonctions en français, ce logiciel qui ne semble pas facile d'accès, nous a permis de nous habituer à ce nouveau langage informatique. Sa syntaxe et sa documentation française sont très intéressantes. Néanmoins, malgré les exemples d'application disponibles sur le site, plus de projets ou de cas pratiques dans la documentation officielle auraient été bénéfiques. Sa prise en main, bien qu'ardue au départ, devient efficace à force d'utilisation mais un travail conséquent est à réaliser pour optimiser le workflow et obtenir les résultats voulus rapidement et efficacement (traitement des erreurs, ciblage des résultats, optimisation du temps de calcul, etc.).

C'est un outil très puissant avec une grande valeur ajoutée. Son étude et cette première initiation ont été très intéressante et offre une nouvelle vision de la modélisation informatique dans le BTP et les informations que l'on peut en tirer.