

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Mécanique



MEMOIRE DE MASTER EN GENIE MECANIQUE

Spécialité : Construction Mécanique

THEME :

**Étude et vérification d'un silo métallique pour le
stockage du ciment avec élancement intermédiaire**

Réalisé par :

**Ameur Rahma
Bougrab Imane**

Eencadré par :

Dr. Ezzraimi

2022/2023

Dédicace

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et dédier ce travail à des personnes qui ont joué un rôle essentiel dans ma vie et qui m'ont soutenu de manière inconditionnelle. Tout d'abord, à ma mère, qui a été ma source constante d'amour, de soutien et d'inspiration. Sa présence bienveillante et ses encouragements ont été une force motrice dans mon parcours, me donnant la confiance nécessaire pour persévérer et me dépasser. Je lui suis infiniment reconnaissante pour tout ce qu'elle a fait et continue de faire pour moi.

Je tien également à dédier ce travail à mon père, dont la sagesse, l'expérience et les conseils avisés m'ont guidé tout au long de ma vie. Son dévouement, son exemple de travail acharné et son soutien inébranlable m'ont montré l'importance de la détermination et de la persévérance. Je suis honorée de pouvoir lui dédier ce travail en reconnaissance de son impact profond sur ma vie.

A mes frère Zaki et Hakou, qui ont toujours été là pour moi, je souhaite exprimer ma gratitude. Leur présence joyeuse et leur camaraderie ont illuminé mon parcours et ont été une source constante de motivation. Leurs encouragements sincères et leur soutien indéfectible ont été des piliers essentiels dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je souhaite dédier ce travail à ma binôme Imane, avec qui j'ai partagé de nombreux moments d'apprentissage et de collaboration. Sa perspicacité, sa créativité et son dévouement ont enrichi mon expérience et ont contribué à la qualité de notre travail commun. Je suis honorée d'avoir eu chance de travailler à ses cotés et je lui suis reconnaissante pour sa précieuse contribution à ce projet.

C'est avec humilité et gratitude que je dédie ce travail ces personnes exceptionnelles leur soutien indéfectible et leur amour inconditionnel ont été les fondations sur lesquelles je me suis appuyée pour atteindre mes objectifs. Je ne pourrai jamais assez les remercier pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Ameur Rahma

Dédicace

Avec l'expression de ma gratitude, j'ai dédié cet humble travail À ceux qui, quels que Soient les termes adoptés, ne pouvaient Je ne leur exprime pas mon amour sincère. Je dédie ma graduation à celui dont je porte fièrement le nom «celui qui a récolté les Épines sur mon chemin pour me guider vers la voie du savoir mon cher père. Après la Grâce de Dieu ce que je suis aujourd'hui est dû à mon père «l'homme qui s'est perdu toute Sa vie pour que nous soyons les meilleurs. À celui qui nous a quittés et qui reste dans mon Cœur «celui qui attrait ma graduation il Ya un ans et qui nous a quittés aujourd'hui «mais Dont le souvenir est toujours vivant et vivra dans nos cœurs. Même si tu n'étais pas Physiquement avec moi dans cette étape importante de ma vie «ton esprit et ton souvenir Sont avec moi à chaque Instant. J'aurais souhaité que tu sois ici aujourd'hui pour témoigner De nos réalisations et ressentir la fierté d'un père envers sa fille. Je te dédie mon graduat «mon cher père en témoignage de mon estime et de mon amour pour ton âme. A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non Pas à mes Demandes et qui n'a ménagé aucun effort pour moi Ma merveilleuse mère. A mon frère et mes sœurs n'a pas elles ont cessé de me donner des conseils, des Encouragements et du soutien tout au long de ma carrière études. Sans oublier ma binôme pour son soutien moral et sa patience et compris tout au long du projet Que Dieu les protège et leur accorde succès et bonheur merci pour leur amour et leurs Encouragements.

Bougrab Imane

Remercîment

On remercie dieu le tout puissant de nos avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. ezzraimi, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude envers de Cr Métal pour leur contribution précieuse à notre travail. Leur expertise et leur soutien ont été essentiels dans la réalisation de ce mémoire. Leurs connaissances techniques et leur disponibilité ont grandement enrichi notre travail. Nous sommes reconnaissants envers toute l'équipe de Cr Métal pour leur contribution remarquable.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'aboutissement de ce travail, nos parents qui n'ont guère cessés de nous encourager pour ce donné d'avantage, notre entourage et nos amis.

Résumé

Les silos sont des structures très utilisées pour le stockage des produits divers. Leur importance augmente surtout ces derniers temps avec la grande perturbation des chaînes d'approvisionnement depuis covid2019, alors ils sont devenus stratégiques. Notre étude concerne un silo pour le stockage du ciment avec un gabarit moyen, qui est dit à élancement intermédiaire.

C'est un dossier d'étude complet qui a été réalisé, de l'étude technologique des composantes, à la conception du silo utilisant l'outil SolidWorks, jusqu'aux calculs de vérification des différentes parties du silo effectués par le logiciel Ansys.

Abstract

Silos are structures widely used for the storage of various products. Their importance is increasing especially recently with the great disruption of supply chains since covid2019, so they have become strategic. Our study concerns a silo for the storage of cement with a medium gauge, which is said to be intermediate slenderness.

It is a complete study file that has been carried out, from the technological study of the components, to the design of the silo using the Solidworks tool, to the verification calculations of the different parts of the silo carried out by the Ansys software.

ملخص

الصوامع هي هياكل تستخدم على نطاق واسع لتخزين منتجات مختلفة. تتزايد أهميتها بشكل خاص مؤخرًا مع الاضطراب الكبير في سلاسل التوريد منذ covid2019، لذلك أصبحت استراتيجية. تتعلق دراستنا بصوامع لتخزين الأسمنت بمقياس متوسط، والذي يقال إنه نحافة وسيطة.

إنه ملف دراسة كامل تم إجراؤه، من الدراسة التكنولوجية للمكونات، إلى تصميم الصومعة باستخدام برنامج Solidworks، إلى حسابات التحقق من الأجزاء المختلفة من الصومعة التي يقوم بها برنامج Ansys.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Introduction générale

Chapitre I : recherche bibliographique

Introduction :	3
I.1 Définition :	3
I.2 Les différentes formes des silos :	4
I.2.1 Silo rend à fond conique :	4
I.2.2 Silos ronds à fond plat.....	4
I.2.3 silo carré.....	5
I.3 Les types de silos	6
I.3.1 Dans l'agriculture :	6
I.3.1.3 Silo toure :	7
I.3.1.3.1 silo double paroi :	7
I.3.1.3.2 silo monolithique :	7
I.3.1.4 Silo en acier :	7
I.4 Dans l'industrie :	8
I.4.1 Silo à ciment :	8
I.4.2 Silo à farine :	9
I.5 Les avantages de silo :	9
I.6 Les inconvénients de silo :	9

conclusion

Chapitre II : étude technologique

Introduction :	11
II.1 Description de silo.....	12
II.2 Composent de silo :	13
II.2.1 La robe :	13
II.2.2 La trémie.....	13
II.2.3 Le toit :	13
II.2.4 Support de silo	13
II.3 Accessoire pour silo	13
II.3.1 filtres à air :	13

II.3.2 Soupape de sécurité :	14
II.3.3 Indicateur de niveau :	15
II.3.4 systèmes de ventilation :	15
II.3.5 Convoyeur à vise :	15
II.4 Choix de matériaux	16
II.4.1 la nuance :	16
II.4.2 la qualité :	16
II.5 L'assemblage de silo	18
II.5.1 Type d'assemblage	18
II.5.1.1 Assemblage par soudage	18
II.5.1.2 Assemblage boulonnier	18
II.6 Les panneaux	20
II.6.2 les panneaux nervures :	21
II.6.3 les panneaux plats	21
I.7 Installation et utilisation de silo a ciment	22
Conclusion	23
Chapitre III : calcule des effort exercés sur les parois du silo	
Introduction :	25
III.1 L'Eurocode 1 partie 4 (EN 1991-4) :	25
III.2 Capacité de stockage	25
III.2.1 Application numérique	25
III.2.2 Le volume du ciment stocké et le volume de sécurité	26
III.3 Les actions de la matière sur les parois du silo	26
III.3.1 Contrainte horizontale <i>phou pn</i>	27
III.3.2 Les frottement <i>pwet pt</i>	27
III.3.3 Contrainte vertical <i>pv</i>	27
III.3.4 Application numérique :	29
III.4 Calcule de la pression sur les parois de la robe du silo :	30
III.4.1 La pression asymptotique :	30
III.4.2 Application numérique	30
III.5 La contrainte du boulon	30
Conclusion :	31
Chapitre IV : conception du silo	
Introduction :	32
IV.1 La modélisation avec SolidWorks :	32

IV.2 Métrologie de conception :	32
IV.3 Les dimensions du silo	32
IV.4.2 La trémie :	32
IV.4.3 Le toit:	35
IV.4.4 La robe :	36
IV.4.5 Le porte filtre :	37
IV.5 Assemblage :	37
Conclusion :	37

Chapitre V : vérification de la charpente (support silo)

Introduction :	39
V.1 Description de charpente :	39
V.2 Définition de flambement :	40
V.3 Problème :	40
V.3.1 classifications de la section de profiler :	41
V.3.2 Vérification de l'élément (flambement en compression simple) :	42
V.3.3 Vérification en section effort axial en compression :	46
V.4 Implémentation et calcul avec robot structurale :	47
V.4.1 Robot structural :	47
V.4.2 le rapport de robot structural de charpente du silo :	47
Conclusion :	50

Chapitre VI :simulation

Introduction :	52
VI.1 Présentation de logiciel :	52
VI.2 Application sur Ansys :	52
VI.2.1 Simulation de niveau 1 de la robe du silo :	52
VI.2.1.1 Modélisation :	52
VI.2.1.2 Introduction les ppropriété de matériau :	53
VI.2.1.3 Maillage :	54
VI.2.1.4 Condition aux limites et chargement :	54
VI.2.1.5 Résultat :	54
VI.3.2 Simulation de partie 1 de la trémie :	56
VI.3.2.1 Condition aux limites :	56
VI.3.2.2 Résultat :	57
Conclusion :	58

conclusion générale

Liste des figures

Chapitre I :

FigureI. 1 les silos	3
FigureI. 2 silos ronds a fond conique	3
FigureI. 3 silo rond à fond plat.....	5
FigureI. 4 silo carré	5
FigureI. 5 silo monobloc	5
FigureI. 6 silo couloire	6
FigureI. 7 silo à double paroi	7
FigureI. 8 silo monolithique	7
FigureI. 9 silo en acier.....	8
FigureI. 10 silo à ciment.....	8
FigureI. 11 silo de la farine	8

Chapitre II

Figure II. 1 les composant de silo.....	10
Figure II. 2 filtre à aire	12
Figure II. 3 soupapes de sécurité	12
Figure II. 4 indicateur de niveau	13
Figure II. 5 systèmes de ventilation.....	13
Figure II. 6 convoyeur à vise.....	14
Figure II. 7 assemblage boulonnier	17
Figure II. 8 boulonne de classe 8.8.....	18
Figure II. 9 panneau ondulée.....	19
Figure II. 10 panneaux nervures.....	19
Figure II. 11 panneaux plats	20

Chapitre III

Figure III. 1 schéma de silo	30
Figure III. 2 les actions exercées sur les parois du silo	31
Figure III. 3 schéma de la trémie de silo	32
Figure III. 4 actions sur la trémie et force de traction au sommet de la trémie[51]	33
Figure III. 5 schémas représentent les trois partie de silo pour le calcul de pression	34
Figure III. 6 schémas représentent les trois niveaux de la robe pour calcule de pression.....	35

Chapitre IV

Figure IV. 1 la charpente du silo a ciment	42
Figure IV. 2 le bas du cône de la trémie.....	43
Figure IV. 3 le cône moyen de la trémie	43
Figure IV. 4 le cône supérieur de la trémie	44
Figure IV. 5 le toit du silo	44
Figure IV. 6 panneaux est virole d'épaisseur 8	44
Figure IV. 7 panneaux d'épaisseur 5 et hauteur 1016mm.....	44

Figure IV. 8 tôle porte filtre	45
Figure IV. 9 Silo après avoir créé tous les constraint	45
Figure IV. 10 Assemblage avec des boulon	46

Chapitre V

Figure V. 1 charpente du silo	46
Figure V. 2 le flambement [61].....	47
Figure V. 3 poteau en compression.....	47
Figure V. 4 notation pour déterminer la classe de la section	48
Figure V. 5 un applicatif javascript connaitre directement la classe des profilés laminée. [63]	49
Figure V. 6 les courbe de flambement [65].....	51
Figure V. 7 modélisations de la charpente dans robot structural	53

Chapitre VI

Figure VI. 1 panneaux d'épaisseur 8	53
Figure VI. 2 maillage de panneau 8	53
Figure VI. 3 la pression appliquée sur le panneau 8.....	53
Figure VI. 4 déformation totale du panneau 8.....	54
Figure VI. 5 la contrainte von-mises de panneau 8	54
Figure VI. 6 maillage de la partie supérieur de la trémie	55
Figure VI. 7 les partie fixe de la partie supérieur de la trémie	55
Figure VI. 8 la pression appliquée sur la partie supérieure de la trémie.....	56
Figure VI. 9 la déformation totale de la partie supérieure de la trémie	56
Figure VI. 10 la contraintes von-mises de la partie supérieur de la trémie	57

Liste des tableaux

Chapitre II

tableau II. 1 équivalence acier de construction [33].....	28
Tableau II. 2 caractéristiques géométriques d'un boulon.....	34
Tableau II. 3 classes de boulons et valeurs de F_{yb} et F_{ub}	35

Chapitre III

Tableau III. 1 caractéristiques des matières granulaire [52].....	42
Tableau III. 2 résultats des calculs de pression exercée sur les parois de la trémie de silo	43
Tableau III. 3 résultats des calculs de pression exercée sur les parois du la robe de silo	44

Chapitre IV

Tableau IV. 1 dimensions de silo	49
--	----

Chapitre V

Tableau V. 1 caractéristiques de HE320B.....	58
Tableau V. 2 influences des liaisons aux appuis [64].....	61
Tableau V. 3 coefficient d'imperfection.....	62

Liste des symboles

V : volume de cylindre

C : capacité de silo

h_t : La hauteur de sommet du cône de toit du ciment stocké.

h : La hauteur de la robe.

h_c : La hauteur de sommet du cône de trémie du ciment stocké.

R : le rayon du cylindre.

γ : Le poids volumique du produit stocké

θ_t : angle de toit

θ_c : angle de trémie

v_s : volume de sécurité

p_n : la pression sur les parois de la trémie.

x : est une longueur comprise entre 0 et l_h .

P_{n1} et P_{n2} : sont les pressions correspondant à la pression verticale dans la matière ensilée directement au-dessus de la transition.

P_{n3} : est la pression correspondant au remplissage la trémie

c_z : représente une fonction utilisée pour modéliser la variation de la pression latérale dans un silo en fonction de la profondeur z par rapport à une hauteur de référence z_0

k_s : Le rapport de pression horizontale/ pression verticale

γ : Le poids volumique du ciment

u : Le coef de frottement sur la paroi

Z_0 : La hauteur référence à partir de laquelle la pression est mesurés (hauteur caractéristique de Janssen)

z : la profondeur considérée

p_0 : Est la pression asymptotique.

F : la force appliquée sur un seul boulon

N : le nombre des boulons

s : est la section transversale du boulon

σ : La contrainte du boulon

e : est l'épaisseur en mm

P est la pression maximale en MPa

r : est le rayon de silo en mètre

σ_{adm} : Est la contrainte admissible du matériau

ε : est un rapport il faut tenir compte du type de formage du profilé (laminé ou soudé)

f_y : la nuance d'acier 275 MPa (la limite d'élasticité)

N : les efforts axiaux de compression

L_{fy} : longueur de flambement dans l'axe yy

L_{fz} : longueur de flambement dans l'axe zz

N_{cr} : Charge critique

$\bar{\lambda}$: Élancement

α : est le coefficient d'imperfection correspond à la courbe de flambement

χ : est le coefficient de réduction pour le mode de flambement à considérer et fonction de l'élancement

χ_y : Coefficient de réduction

$N_{b,Rd}$: Est la résistance au flambement calculée, est utilisée dans le dimensionnement et la vérification des éléments structurels soumis à une compression axiale

Introduction générale

Depuis la matière première brut, à la transformation, le transport et la distribution jusqu'au consommateur, ça constitue une longue chaîne qui nécessite des moyens logistiques colossales pour assurer l'approvisionnement continu dans un pays comme l'Algérie.

Le stockage est un maillon très important qui complète cette chaîne. Cette étape est utilisée pour préserver le produit stocké, ou pour assurer des grandes stocks d'approvisionnement à des sites nécessitant l'approvisionnement continu à des chantiers comme le ciment par exemple, ou pour des villes comme les céréales ...

Les silos sont des structures très utilisées pour le stockage des produits divers. Leur importance augmente surtout ces derniers temps avec la grande perturbation des chaînes d'approvisionnement depuis covid2019, alors ils sont devenus stratégiques.

Les stages pratiques sont des outils complémentaires mais incontournables pour augmenter les compétences des étudiants durant et après leur formation. Dans ce cadre, et à travers un stage au sein de la société de construction métalliques CR METAL Blida, ce qui a donné l'idée de réaliser un dossier d'étude d'un silo pris en thème de projet de fin d'études. Notre silo est destiné au stockage du ciment avec un moyen gabarit, qui est dit à élancement intermédiaire.

Ce projet est divisé en six chapitres, chacun abordant des aspects spécifiques liés à l'étude approfondie du silo de stockage. Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique sur les silos en général. Cette étude permet d'acquérir une vision globale sur les différents types de silos.

Le deuxième chapitre se concentre sur l'étude technologique du silo de stockage. Il examine les différentes technologies et méthodes de construction utilisées dans la conception des silos, en mettant l'accent sur les particularités des silos avec élancement intermédiaire.

Le troisième chapitre est dédié au calcul des efforts exercés sur les parois du silo. Il s'agit d'une étape cruciale pour assurer la sécurité et la stabilité structurelle du silo. Des modèles mathématiques et des méthodes de calcul sont utilisés pour déterminer les efforts agissants sur les parois du silo.

Dans le chapitre suivant, le quatrième, la conception du silo est réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks. Ce logiciel de conception assistée par ordinateur permet de créer des modèles 3D précis du silo.

Le cinquième chapitre se concentre sur la vérification de la charpente qui supporte le silo. Des calculs structuraux détaillés sont effectués pour garantir la résistance et la sécurité de la charpente sous les charges appliquées par le silo.

Enfin, le sixième et dernier chapitre est consacré à la simulation avec Ansys Workbench des panneaux du silo soumis à des pressions élevées. Cette étape permet de vérifier la résistance des panneaux du silo pour assurer leur intégrité structurelle.

L'objectif global de ce PFE est de fournir une étude complète du silo de stockage de ciment avec élancement intermédiaire, en prenant en compte les aspects théoriques et pratiques de sa conception et de sa performance.

Chapitre I :
Généralités sur les silos de stockage

Introduction :

La fabrication d'un produit industriel (liquide solide ou en forme de grain) est une tâche très importante, mais ce n'est qu'une étape par rapport à d'autres dans la chaîne d'approvisionnement, on note aussi le transport et le stockage qui doivent être maîtrisés pour préserver le produit.

Si on s'intéresse au stockage des matériaux, c'est un secteur qui nécessite d'investissements importants et des technologies adéquates pour maintenir la qualité du produit et pour une durée de plus en plus longue. Dans ce domaine, les silos de stockage sont très utilisés, surtout par rapport à leur volume de stockage qui est énorme, aussi la facilité de charge et décharge du produit.

I.1 Définition :

Le silo est un réservoir de grande capacité destiné pour stocker et/ou transvaser des matières plus ou moins granulaires (ciment, sucre, céréales, charbon, farines, pommes de terre, cendres, pellets de toute nature...etc.) [1].

On trouve des silos dans l'industrie dans les installations portuaires, dans les milieux agricoles [2]. Il s'agit généralement de réservoirs verticaux, souvent, cylindrique, construits, en divers matériaux (bois, acier, béton, le plus souvent) ; il peut aussi s'agir d'installations horizontales ; silo-couloir ; silo meule, utilisé notamment en agriculture pour préparer et conserver des ensilages.



Figure I. 1 les silos

Les silos verticaux sont constitués par plusieurs cellules de stockage à développement vertical, en tôle ou en béton armé. Cette catégorie comprend les silos composés de :

- Cellules rondes en tôle galvanisée, plane ou ondulée ;
- Cellules polygonales en panneaux métalliques peints ou galvanisés ;
- Cellules rondes en béton armé.

Ils possèdent des capacités de 10 à 2.000 tonnes par cellule. Il existe par ailleurs des silos plus petits au niveau de la ferme. Les silos à grande capacité, qui comportent de nombreuses cellules, peuvent contenir plus de 100.000 tonnes de céréales. Les silos horizontaux s'agissent généralement de vastes magasins construits en béton armé, en brique ou en tôle métallique. Ces silos appelés magasins-verts occupent une surface plus importante que les silos

verticaux. Ils doivent être équipés de murs suffisamment résistants pour soutenir la pression causée par le poids des grains. Ils sont aussi en tôle ou en béton, et sont formés de cellules juxtaposées, carrées ou rectangulaires, à développement horizontal.[3]

I.2 Les différentes formes des silos :

Il existe plusieurs formes de silos qui varient selon l'utilisation ; en voici les plus fréquentes :

I.2.1 Silo rond à fond conique :

Cette forme de silo est conçue pour les applications agricoles, ils sont utilisés pour le stockage à court et à long terme des céréales, maïs, soja, riz, oléagineux et toute autre matière fluide. Ils peuvent être conçus selon les normes américaines ASAE / ANSI ou européennes.[5] Le silo conique peut être utilisé pour stocker des produits très sensibles à l'humidité[6].



Figure I. 2 silos ronds à fond conique

Cette forme de silo lui permet de faire plusieurs fonctions, on cite parmi elles :

- Stockage Avant machines
- Stockage tampon
- Minoteries
- Fabrique aliment
- Stockage des grains humide avant séchoirs. [4]

I.2.2 Silos ronds à fond plat :

Cette forme de silo est la plus courante et la plus imposante, elle est utilisée en ferme comme dans l'industrie. Les silos à fonds plats disposent d'une très grande capacité [7] Ces silos sont destinés au stockage de diverses céréales ou produits granuleux, et différents produits, dont la fluidité lors de la vidange est acceptable, et dont l'humidité n'est pas trop importante. Ces cellules ont l'avantage d'avoir de nombreuses configurations possibles et d'être rapidement mis en place et aussi ont une longue durée de vie, économique, et leur utilisation est polyvalente.



Figure I. 3 silo rond à fond plat

I.2.3 silo carré :

Les silos carrés à fonds coniques 55° assurent le bon écoulement des produits, réalisent des vidanges complète et permettent de stocker de nombreux types de produits tel que les céréales, les grains, copeaux de bois, les granulés, le café et le cacao. Ils sont idéals pour les produits à écoulement difficile. Les silos carrés à fonds coniques ont plus de capacité stockée par rapport à l'occupation au sol donc, moins encombrant et aussi une diverse utilisation. Leur assemblage est réalisé par boulon avec hauteurs de cône et dimensions des sorties variables. [8]

Les silos carrés permettent de stocker différents produits, à la fois de différentes qualités dans le même lieu,



Figure I. 4 silo carré

Ou en cas de manque d'espace, car ce système permet de stocker plus de 25% de produit pour la même surface.[9]

I.2.4 Silos non conventionnels

Les formes de silos ne sont pas toujours standard, mais peuvent dépendre de la vision du constructeur ; ou des besoins de l'utilisateur. On peut citer parmi les plus connus le silo monobloc, conçu pour être étanche et destiné à des volumes de stockage plus modestes, mais également les silos divisible, destiné aux personnes souhaitant disposer d'un grand volume de stockage, mais qui doivent entre poser de nombreux produits différents.[10]



Figure I. 5 silo monobloc

I.3 Les types de silos :

Il n'y a pas de classification uniforme des différents types de silos. Le type de silo dépend de nombreux facteurs, notamment : Par exemple : matériaux à stocker, formes, tailles, capacités, utilisations, etc. De plus, les silos peuvent être personnalisés pour répondre aux besoins spécifiques de chaque projet. Cela peut rendre la classification des types de silo complexe et subjective.

I.3.1 Dans l'agriculture :

Les silos sont indispensables pour stocker les céréales, les grains, et autres produits agricoles en vrac. Ils aident à préserver la qualité des récoltes et à les distribuer efficacement.

I.3.1.1 silo à grains :

Les silos à grains sont des structures de stockage conçues pour stocker les récoltes de céréales et de grains tels que le blé le maïs le riz. etc. Ils sont généralement construits en béton ou en acier et sont conçus pour protéger les grains. [11]

Les silos à grains peuvent également être équipés de systèmes de ventilation pour maintenir une température et une humidité appropriées à l'intérieur du silo.

Les silos à grains peuvent être équipés de différents types d'équipements tels que :

Les équipements d'extraction pour décharger le grain, systèmes de surveillance pour mesurer la température et l'humidité, bandes transporteuses pour transporter le grain, systèmes de lavage pour éliminer les impuretés, etc... [12].

I.3.1.2 silos à ensilage (silo couloire) :

Le silo couloire appelé aussi silo de sout. Les silos de souté sont des tranchées qui sont remplies à l'aide de tracteurs et de chargeurs. C'est silo sont fabriqués à partir de murs en béton. Une bâche en plastique recouvre les silos de souté entièrement emballés pour les rendre étanches à l'air. Le chargeur ou le tracteur peut décharger les matériaux des silos de souté [13].

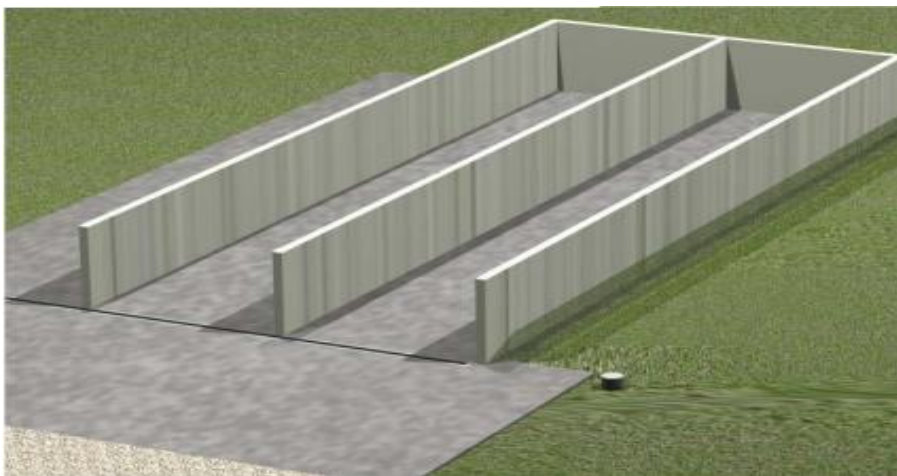


Figure I. 6 silo couloire

I.3.1.3 Silo toure :

Un silo tour est un type de silo à grains cylindrique conçu pour être autoportant et offrant une grande capacité de stockage. Les silos tours sont généralement fait en une série d'anneaux verticaux réunis pour former une structure en forme de tour [14].

Il existe trois types de base de Silo tour, chacun avec ses propres caractéristiques uniques. Que ce soit à double paroi, Monolithique ou en acier, ils ont tous une chose en commun, ce sont tous des Silos tour.

I.3.1.3.1 silo double paroi :

Les silos à double paroi sont construits avec une couche externe en acier et une couche interne en béton. Cette structure offre une double protection contre les fuites et la corrosion, et peut être utiliser pour stocker des produits sensibles à l'humidité ou à la corrosion. Les silos à double paroi sont également utilisés dans les zones sismiques pour offrir une protection supplémentaire contre les tremblements de terre.[15]



Figure I. 7 silo à double paroi

I.3.1.3.2 silo monolithique :

Un silo monolithique est un type de silo en béton coulé en une seule pièce, sans joints ni soudures. Ce type de silo est construit en utilisant des moules spéciaux qui permettent de couler la structure entière en une seule fois. Les silos monolithiques sont très résistants et peuvent être utilisés pour stocker une grande variété de produits en vrac, tels que des grains, des aliments pour animaux, des engrais, etc. [16]

Les silos monolithiques ont plusieurs avantages par rapport aux autres types de silos, notamment leur durabilité, leur résistance aux intempéries et leur capacité à supporter des charges importantes. En outre, les silos monolithiques ont une construction plus simple et plus rapide par rapport aux silos en acier. Cependant, ils sont plus difficiles à réparer ou à modifier, car ils ne peuvent pas être démontés.[17]



Figure I. 8 silo monolithique

I.3.1.4 Silo en acier :

Les silos en acier ont mis en œuvre la mécanisation et l'automatisation dans l'industrie du stockage et fonctionnent bien dans de nombreux domaines, y compris l'entrée et la sortie des matériaux, la surveillance et la manutention des matériaux, ainsi que la ventilation et la

mesure de la température. La construction de silos en acier est très efficace. Les avantages de la structure de silo en acier comprennent une fondation simple, une courte période de construction et une résistance aux intempéries.[18]



Figure I. 9 silo en acier

I.4 Dans l'industrie :

De nombreuses industries utilisent des silos pour stocker et transporter des matières premières en vrac. Parmi les plus communs, on peut citer les silos à ciment, à farine.

I.4.1 Silo à ciment :

Ils sont utilisés pour stocker des matériaux en vrac tels que le ciment, la chaux, le plâtre, etc. Ils sont généralement construits en acier et ont une forme cylindrique ou rectangulaire. Les silos à ciment sont souvent équipés de dispositifs de contrôle de l'humidité et de la température pour garantir que le ciment reste dans des conditions optimales.[19]



Figure I. 10 silo à ciment

I.4.2 Silo à farine :

Le silo à farine sont utilisés pour stocker la farine et d'autre poudre alimentaire en vrac, telle que la levure, les épices, ct. Les silos à farine sont souvent construits en acier inoxydable ou en aluminium pour éviter toute contamination du produit. [20]



Figure I. 11 silo de la farine

I.5 Les avantages de silo :

- Les silos de stockage consomment moins d'espace de stockage que les entrepôts de stockage horizontal
- Les matériaux ou produits sont stockés dans des conditions optimales.
- Les silos de stockage coutent moins cher que d'autres options de stockage.
- Les silos protègent les produits stockés contre les intempéries et les éléments extérieurs.

I.6 Les inconvénients de silo :

- les conditions météorologiques peuvent avoir un impact sur la qualité des produits stocké dans les silos, ce qui peut nécessiter une gestion plus contrôlée des stocks.
- Les silos entraînent l'accumulation de dioxyde de carbone, ce qui provoque une suffocation lors de son ouverture.
- La décomposition des grains stockés dans les silos produit des vapeurs inflammables. Ces vapeurs apportent la suffocation de peuvent entrainer un empoisonnement si elles sont inhalées.[21]

Conclusion :

En conclusion cette recherche bibliographique sur les silos en général, tant dans le domaine industriel que dans celui de l'agriculture, nous a permis de comprendre l'importance et l'utilisation de chaque type. On a constaté aussi que le silo à ciment est l'un des types les plus largement utilisée dans l'industrie. D'où l'intérêt particulier à ce type, et qui fera l'objet de notre étude. Alors il sera traité en détails dans le chapitre suivant.

Chapitre II :
Étude technologique

Introduction :

Après un aperçu général sur le silo à ciment dans le chapitre précédent. Une étude plus approfondie exposant tous ces composants par rapport à leur fonction et technologie. Aussi, les avantages et les inconvénients de différentes options technologiques pour la construction et l'installation de ces structures sont explorés.

II.1 Description de silo :

Le silo de notre étude est un réservoir pour stocker des matériaux de construction (stockage et décharge de ciment), La forme de ce silo est ronde (forme cylindrique) à fond conique, Généralement les silos à ciment sont fabriqués en acier, ce type de silo peut protéger les propriétés techniques du ciment contre les impacts environnementaux et les effets néfastes. [21]

Ce silo est assemblé essentiellement avec des boulons par ailleurs il est démontable il est constitué de quatre grandes partie qui sont la robe du silo, la trémie conique, le toit et le support de silo qui est la charpente. (Voire figure II.1)

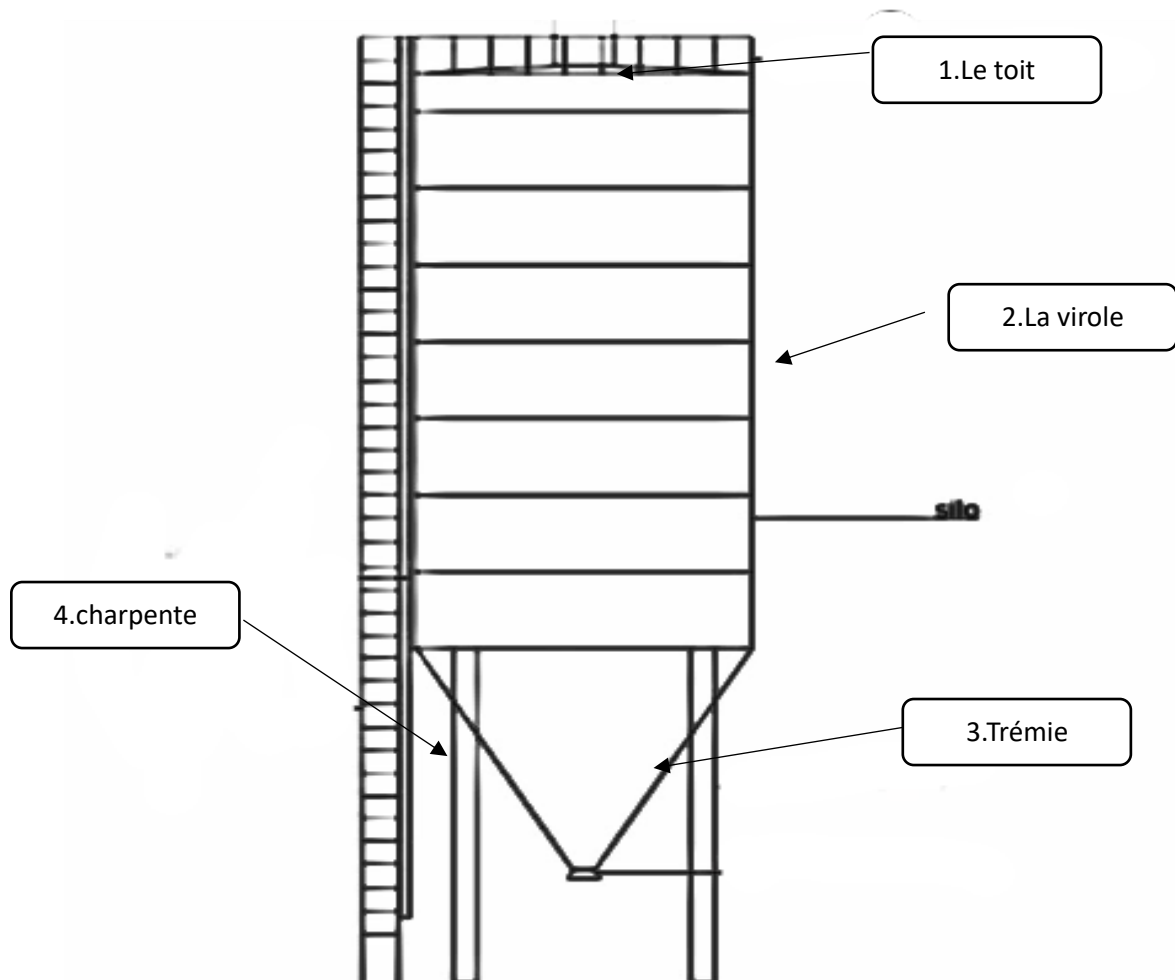


Figure II. 1 les composant de silo

II.2 Composants de silo :

Le silo de stockage de ciment est généralement divisé en 4 parties qui sont :

II.2.1 La robe :

La robe d'un silo circulaire est décomposée en viroles une virole correspond à une « rondelle » (un tronçon horizontal) du silo. Les différentes viroles ont des épaisseurs de tôle différentes selon la pression de la matière ensilée en fonction de la hauteur, pour optimiser la quantité d'acier. [22]

II.2.2 La trémie :

Une trémie sert à drainer le silo par gravité, très souvent en ouvrant simplement le trou de drainage au point le plus bas du volume de stockage. Sauf cas particulier, une trémie métallique est conçue pour être suspendue sur son bord supérieur.

A partir de la forme plane de la robe, de la forme du trou de vidange et de l'emplacement du trou, toute forme géométrique permettant le flux de l'ensilage est possible.[23]

II.2.3 Le toit :

C'est la partie supérieure du silo de la structure qui abrite le ciment stocké à l'intérieur. Son rôle principal est de protéger le ciment des intempéries et des éléments extérieurs tels que la pluie, la neige, le vent, le soleil et la poussière.[24]

II.2.4 Support de silo :

Une charpente de silo en acier est une structure composée de poutre en acier utilisée pour supporter le poids d'un silo en acier et de son contenu. Elle doit être suffisamment solide pour résister aux charges de poids du silo, aux forces horizontales causées par les vents et les tremblements de terre, et aux autres conditions environnementales.

Remarque : la partie de la charpente sera détailler dans chapitre 5

II.3 Accessoires pour silo :

II.3.1 filtres à air :

Le filtre à air est un équipement utilisé pour collecter et filtrer les poussières générées lors du chargement et du déchargement de ciment dans le silo, il est généralement composé d'un boîtier, d'un système de ventilateur, d'un ensemble de filtres, d'une vanne de décharge de poussière et d'un système de nettoyage des filtres. Les particules de poussière sont capturées par les filtres lorsqu'elles passent à travers le boîtier du filtre, tandis que l'air propre est évacuée à travers le système de ventilation. Le système de nettoyage des filtres permet de maintenir une efficacité de filtration élevée en éliminant régulièrement les particules de poussière piégées dans les filtres.[25]



Figure II. 2 filtre à aire

II.3.2 Soupape de sécurité :

La soupape de sécurité est un dispositif mécanique de contrôle de sur dépression qui intervient automatiquement en cas de conditions de pression anormales à l'intérieur du silo. Elle est généralement installée sur le dessus du silo et sont équipées d'un ressort de compression qui maintient la soupape fermée tant que la pression à l'intérieur du silo est normale. Lorsque la pression dans le silo dépasse une valeur prédéterminée, la soupape s'ouvre automatiquement pour libérer l'excès de pression. [26]



Figure II. 3 soupapes de sécurité

Remarque : la soupape de sécurité pour silo à ciment ne doit être utilisée qu'en cas d'urgence et ne doit pas être considérée comme une alternative à la mise en place de mesures préventives pour éviter la suppression dans le silo. Des mesures telles que mise en place de système de contrôle de pression, l'utilisation de trappes d'aération ou de ventilateurs peuvent être utilisées pour éviter les suppressions et minimiser la nécessité d'utiliser la soupape de sécurité. [27]



Figure II. 4 indicateur de niveau

II.3.3 Indicateur de niveau :

L'indicateur de niveau est généralement utilisé pour détecter le niveau minimum et maximum du produit contenu dans les silos. Dans le cas d'une utilisation comme indicateur de maximum, le signal d'alarme ne sera envoyé par l'indicateur que lorsque la palette est complètement immergée dans le produit et ne peut donc plus tourner. S'il est utilisé comme indicateur de minimum, en modifiant les connexions électriques, le signal d'alarme sera envoyé lorsque la palette sera libérée du matériau et pourra commencer à tourner.[28]

II.3.4 systèmes de ventilation :

Un système de ventilation pour silo à ciment est utilisé pour maintenir un flux d'air régulier dans le silo, afin de prévenir l'accumulation de poussière et d'humidité, ainsi que maintenir la qualité du ciment stocké.[30]



Figure II. 5 systèmes de ventilation

II.3.5 Convoyeur à vis :

Un convoyeur à vis est un système de transport mécanique qui utilise une vis sans fin pour déplacer des matériaux en vrac d'un point à un autre. Le convoyeur se compose généralement d'un tube ou d'une trémie dans lequel est installée une vis hélicoïdale qui tourne sur un axe central. Lorsque la vis tourne, elle pousse les matériaux le long du tube ou de la trémie jusqu'à l'extrémité du convoyeur ou ils sont déchargés.[29]

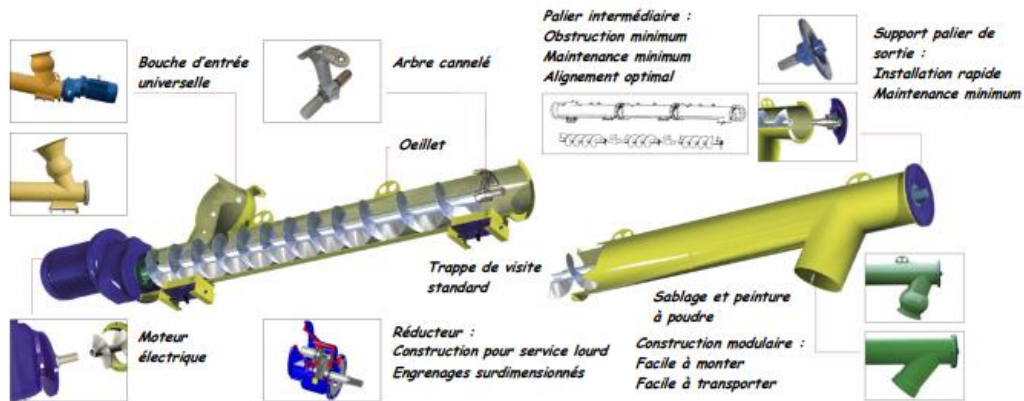


Figure II. 6 convoyeur à vis

II.4 Choix de matériaux :

Généralement on utilise les aciers pour la fabrication du silo a ciment, L'acier est un alliage métallique ferreux, lequel est principalement composé de fer.

Il y a deux grandes familles d'acier :

- Les aciers non alliés composés uniquement de fer et de carbone ;
- Aciers alliés, qui incorporent d'autres éléments chimiques tels que le silicium, le molybdène ou le chrome

L'acier a des propriétés mécaniques intéressantes :

- Résistance à la déformation élastique ;
- Rupture et résistance aux chocs ;
- Dureté.

Le choix de l'acier se fait à partir de deux paramètres qui sont :

II.4.1 la nuance :

A la limite d'élasticité est appelée à servir de référence dans les calculs de dimensionnement, et donc on peut être amené à rechercher le niveau le plus élevé de contrainte admissible, car il en résulte :

- Une économie sur les coûts de matière
- Une mise en œuvre plus aisée en atelier
- Une amélioration des conditions de transport et de montage

Néanmoins il arrive souvent que ce soit les limitations de flèches et non le niveau des contraintes qui régissent le dimensionnement. De plus l'augmentation de flexibilité qui résulte d'une plus haute limite élastique peut aggraver des effets dynamiques éventuels, comme ceux du vent, et rend aussi plus pénalisants les critères de résistance des éléments soumis aux différents phénomènes d'instabilité.

II.4.2 Choix de la qualité :

Les états de contraintes triaxiales complexes que l'on rencontre dans les structures ne sont que pauvrement représentées par l'essai de traction et la détermination de la limite d'élasticité comme unique critère de dimensionnement. On complète donc la notion de nuance par celle de qualité, qui traduit l'aptitude de l'acier à supporter ces états de contraintes et sa sensibilité au phénomène de rupture fragile qu'ils sont susceptibles de générer.

La norme EN 10025 (la norme EN 10025 est une norme européenne qui spécifie les exigences pour les produits en acier utilisés dans la construction) retient trois niveaux de qualité possibles [32] :

- JR pour une garantie à 20°C
- J0 pour une garantie à 0°C
- J2 pour une garantie à -20°C

Le tableau suivant représente l'équivalence de quelque acier de construction :

Europe			France	Italy	U.K.	International	USA
S181	fe310-0	st33	fe320	A 320			A283 A,B,C,D
S235JR(G2)	fe E360B(FN)		E24-2	Fe 360 B	40(A)B	FE 360 B	A284 gr,C,D
S235 JO	Fe E 360 C		E24-3	Fe 360 C	40C	Fe 360C	
S275 JR	Fe430 B		E 28-2	Fe430B	43(A)B	Fe 430B	A529
S 275 JO	Fe 430 C		E 28 3	Fe 430 C	43 C	Fe 430C	GR24,50
A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D	A633 gr A,C,D

Tableau II. 1 équivalence acier de construction [33]

L'acier utilisé pour notre silo est le S275JR est un type d'acier structurel à faible teneur en carbone, similaire à l'acier S275 Standard, mais avec une résistance à la traction légèrement supérieure. La désignation JR signifie « Junior », ce qui indique que sa résistance à la traction est inférieure à celle des aciers plus avancés.

L'acier S275 est souvent utilisé dans la construction de silos à ciment en raison de sa combinaison de Résistance, de durabilité et de coût relativement bas. Les silos à ciment sont des structures qui doivent être capable de supporter le poids du ciment stocké, ainsi que la contrainte causée par le Chargement et le déchargement. L'acier S275JR est un choix courant pour ces applications en raison de sa résistance suffisant pour supporter ces contraintes, tout en étant relativement facile à souder et à travailler.[34]

Les caractéristiques mécaniques de l'acier S275JR :

- Module d'élasticité longitudinale : $E=2.1 \cdot 10^6 \text{ DaN/cm}^2$
- Coefficient de Poisson : $\nu=0.3$

- Coefficient d'élasticité transversale : $G=8.1 \cdot 10^5 \text{ DaN/cm}^2$
- Dilatation : $\lambda=11 \cdot 10^{-6}$
- Masse volumique : $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$
- Résistance à la traction minimale de 430 MPa.
- Limite d'élasticité minimale de 275MPa
- Allongement à la rupture d'environ 23%
- Dureté brinell d'environ 150 HB Cela signifie que l'acier a une résistance modérée à la déformation et peut résister à une certaine usure et abrasion. Cependant, il est important de noter que la dureté Brinell est seulement l'un des nombreux facteurs qui déterminent les propriétés mécaniques globales de l'acier et ne doit pas être utilisée isolément pour évaluer la performance de l'acier.[35]

II.5 L'assemblage de silo :

II.5.1 Type d'assemblage :

Le choix de la méthode d'assemblage pour un silo à ciment dépend de plusieurs facteurs tels que la taille du silo, le lieu d'installation, les conditions climatiques, la durée de vie requise, les exigences de maintenance et les coûts associés. Comme il existe plusieurs types d'assemblages de silos permette elle en site :

II.751.1 Assemblage par soudage :

Le soudage d'un silo à ciment consiste à assembler les différentes parties d'un silo en utilisant une technique de soudage, généralement au moyen d'un fil ou d'une électrode soudée. Les pièces à assembler peuvent comprendre la base, les murs et les tuyaux du silo. Cependant, en général, les étapes de montage comprennent la coupe et la préparation des pièces, l'installation des sections de base et de paroi, l'alignement et le soudage des sections, le renforcement des joints de soudure, l'installation d'accessoires tels que des tuyaux et des bouchons, ainsi que le nettoyage et le contrôle de qualité de la structure finie.

II.5.1.2 Assemblage boulonnier :

Ce type d'assemblage est une méthode couramment utilisée pour construire des silos en métal. Cette méthode consiste à utiliser des boulons pour fixer les différents éléments du silo ensemble. Les boulons sont généralement en acier galvanisé et sont installés à l'aide d'écrous et de rondelles pour les fixer en place.

L'assemblage boulonné permet l'installation rapide et facile des silos. Il offre également une grande flexibilité en termes de conception et de taille, car les différents éléments peuvent être ajustés et modifiés en fonction des besoins spécifiques. En outre, l'assemblage boulonné permet un démontage et un remontage faciles du silo si nécessaire, ce qui peut être utile pour le déplacer ou le réparer. Il est important de noter que l'ensemble boulonné nécessite une installation appropriée pour assurer la sécurité et la stabilité de la structure. Les boulons doivent être serrés correctement pour éviter tout risque de fuite ou de défaillance structurale. Il est recommandé de suivre les instructions du fabricant pour garantir un montage correct et sûr.[36]

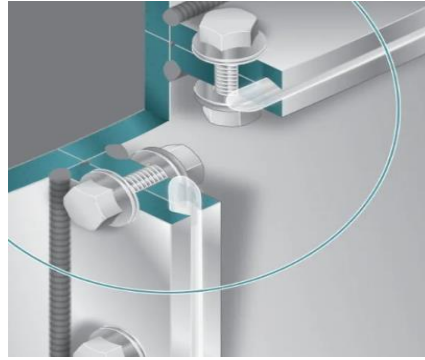


Figure II. 7 assemblage boulonnier

Ce type d'assemblage est le type utilisé pour notre silo. il présente plusieurs avantages :

- Cette méthode permet d'assembler le silo rapidement et facilement en utilisant des éléments préfabriqués qui peuvent être livrés directement sur le chantier.
- L'assemblage par boulonnage permet de concevoir des silos de différentes formes et tailles pour répondre aux besoins spécifiques de l'utilisateur.
- La structure du silo peut être démontée et réassemblée facilement, permettant de le déplacer ou de le modifier selon les besoins.
- L'assemblage boulonné peut être plus économique que d'autres méthodes de construction, car il nécessite moins de main-d'œuvre et de matériaux. [37]

Comme il a des inconvénients :

- Les boulons peuvent se desserrer au fil du temps, ce qui peut entraîner des fuites de matériau stocké dans le silo.
- Les boulons peuvent rouiller et se corroder au fil du temps, ce qui peut réduire la durée de vie de la structure.[38]

Comme on a utilisé des boulonne de classe 8.8 (sons le boulon à H.R) pour notre assemblage de silo. (Les boulonne sont des M16 et M18) voire les caractéristiques géométriques dans Tableau II.2 et les caractéristiques mécaniques dans Tableau II.3

Désignati on	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27
d_0	9	11	13	15	18	20	22	24	26	30
A (mm ²)	50,3	78,3	113	154	201	254	314	380	452	573
A_s (mm ²)	36,6	58	84,3	115	157	192	245	303	353	459

Tableau II. 2 caractéristique géométrique d'un boulon.

Les boulons sont produits en sept nuances d'acier appelées classe de boulon. Chaque classe donne une résistance à la limite élastique, que \mathcal{F}_{yb} et une résistance ultime à la traction \mathcal{F}_{ub} . Les boulons de classe 8.8 et 10.9 sont appelés boulons à haute résistance (HR). [44]

Classe	Classe : a.b	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
\mathcal{F}_{yb} (N/mm ²)	$\mathcal{F}_{yb}= a.b.10$	240	320	300	400	480	640	900
\mathcal{F}_{ub} (N/mm ²)	$\mathcal{F}_{ub}= a.100$	400	400	500	500	600	800	1000

Tableau II. 3 classes de boulons et valeur de \mathcal{F}_{yb} et \mathcal{F}_{ub}



Figure II. 8 boulon de classe 8.8

II.6 Les panneaux :

La construction d'un silo se compose de viroles qui sont des ensembles de panneaux qui sont assemblés les uns des autres pour former une structure cylindrique. Ces panneaux sont des éléments plats et rigides qui peuvent être utilisés pour diverses applications, Ils sont généralement fabriqués à partir de matériaux tels que le bois, le métal, le verre, le béton, le plastique ou une combinaison de ces matériaux.

Pour notre silo à ciment les panneaux sont fabriqués en acier galvanisé, ce qui les rend résistants à la corrosion et aux intempéries. Ils sont disponibles en différents tailles et épaisseurs et peuvent être assemblés en utilisant des boulons et des écrous.[39]

Il existe différents types de panneaux en acier galvanisé qui peuvent être utilisés pour la construction de silos à ciment :

II.6.1 les panneaux ondulés :

Les panneaux de silo en acier fabriqué à partir de feuilles ondulées. Ces panneaux sont fabriqués en pliant des feuilles d'acier galvanisé ou peint un motif ondulé, qui est connu pour sa résistance et sa durabilité

Les panneaux de silo en acier ondulé sont disponibles dans une large gamme de tailles et de formes pour répondre aux besoins spécifiques. Ils sont également faciles à assembler sur place, ce qui réduit les coûts de construction et le temps. Incluent leur résistance à la corrosion et aux intempéries, leur capacité à supporter des charges importantes, leur légèreté, leur facilité

d'installation et leur durabilité. Ils peuvent également être peints pour s'harmoniser avec l'environnement ou pour des raisons esthétiques. Cependant, les panneaux de silo en acier ondulé peuvent avoir des inconvénients, notamment leur résistance relative aux charges latérales, leur sensibilité aux températures extrêmes et leur faible isolation thermique et acoustique.[40]



Figure II. 9 panneau ondulé

II.6.2 les panneaux nervures :

Les panneaux à nervures sont des panneaux en acier galvanisé qui ont été renforcé avec des nervures pour augmenter leur résistance et leur rigidité. Ils sont souvent utilisés pour la construction de murs et le toit de silo a ciment. [41]

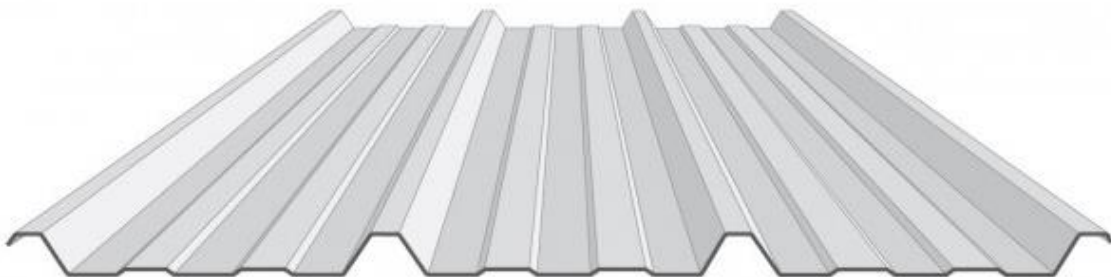


Figure II. 10 panneaux nervures

II.6.3 les panneaux plats :

C'est le type utiliser pour la conception de notre silo, ces panneaux ont une surface plane et lisse.il peuvent être facilement assemblés en utilisant des boulons et des écrous pour former une structure solide et résistante.

Les panneaux plats en acier galvanisé sont appréciés pour leur résistance à la corrosion, leur durabilité et leur légèreté. Ils sont également faciles à installer et nécessitent peu d'entretien. [43]



Figure II. 11 panneaux plats

Panneaux peuvent être renforcés par des renforts qui sont des éléments supplémentaires en acier qui sont fixés aux panneaux du silo à l'aide de soudures. Ces renforts sont généralement placés à des endroits stratégiques pour renforcer les zones soumises à une contrainte importante, telle que les points de fixation des viroles ou les zones de transition entre différentes parties du silo. Ces renforts augmentent la rigidité et la résistance du silo, lui permettant de supporter des charges plus importantes.[42]

Installation et utilisation de silo à ciment :

Pour installer le silo à ciment, il faut utiliser un camion-grue pour le soulever, puis le placer sur les fondations préfabriquées en béton, vérifier et s'assurer que le silo est vertical, puis le fond du silo à ciment doit être soudé fermement avec les parties encastrées des fondations.

Après la fixation du silo de stockage, le ciment est transporté sur le site par le camion de ciment en vrac, puis le tuyau de transport du camion de ciment en vrac est connecté au tuyau d'alimentation du silo de ciment, puis le ciment dans le réservoir est transporté dans le silo de ciment à l'aide de la pression du gaz du camion de ciment en vrac.

Pendant le transport, l'opérateur doit appuyer sans interruption sur le bouton du moteur de vibration du dépoussiéreur pour secouer le ciment attaché au sac filtrant du dépoussiéreur afin d'empêcher le ciment de bloquer le sac en tissu et d'éviter les explosions.

Le remplissage et le manqué de matériau peuvent être observés à partir du niveau de matériau haut et bas.

Lors du déchargement, ouvrez d'abord la vanne de déchargement manuel au bas du cône, puis transférez le ciment par le dispositif de transport du ciment. Pendant le déchargement, si le phénomène de « voûte » se produit, appuyez à temps sur le bouton de la vanne électromagnétique du dispositif de voûte brisée. Le dispositif soufflera de l'air pour éliminer le phénomène de « voûte » et assurer la livraison régulière du ciment.[31]

Conclusion

En conclusion, l'étude technologique d'un silo à ciment est essentielle pour comprendre le fonctionnement de cette installation importante dans l'industrie de la construction. Les silos à ciment à fond conique sont utilisés pour stocker et distribuer du ciment, et ils doivent être équipés de divers accessoires pour garantir leur sécurité, leur fiabilité et leur efficacité. Les technologies utilisées pour assurer la sécurité et la fiabilité des silos à ciment comprennent des systèmes de contrôle automatisés, des systèmes d'aération, des indicateurs de niveau et des systèmes de pesage. L'utilisation de ces accessoires peut contribuer à améliorer la productivité, la sécurité et la durabilité des silos à ciment.

Chapitre III :
Calcul des efforts exercés sur les parois du silo

Introduction :

Ce chapitre constitue une introduction approfondie au calcul de la pression interne du silo à ciment. En comprenant les principes fondamentaux et les méthodes de calcul appropriées.

Les calculs et les normes sont faits à partir du l'Eurocode 1. Partie 4 (EN 1991-4) actions dans les silos et réservoirs.

III.1 L'Eurocode 1 partie 4 (EN 1991-4) :

Est une norme européenne qui fait partie de la série des Eurocodes. Elle concerne les actions sur les structures et fournit des directives pour le calcul des charges liées au stockage des matériaux en vrac, (les charges dans les silos).

Plus spécifiquement, l'Eurocode 1 partie 4 traite des actions sur la structure due à la pression du matériau ensilé dans les silos, les réservoirs et les trémies. Elle fournit des méthodes et des coefficients de calcul pour déterminer les charges à prendre en compte dans la conception des structures de stockage en vrac.[47]

III.2 Capacité de stockage :

Avant de commencer les calculs de la pression en passe d'aborde au calcule de la capacité de silo :

La capacité de silo fait référence à la quantité de matière que peut contenir un silo, qui est un conteneur cylindrique ou en forme de tour utilisé pour ce stockage de ciment.

La capacité d'un silo est généralement mesurée en volume, et elle varie considérablement en fonction de taille et de la forme du silo. Les silos peuvent avoir une capacité allant de quelques dizaines des tonnes à plusieurs milliers de tonne.

Il est important de déterminer la capacité de silo nécessaire pour répondre aux besoins de stockage de la matière à stocker [48]. Elle est calculée d'après la formule :

$$V = \pi R^2 ((h_t/3) + h + h_c) \dots \dots \dots \text{(III.1)}$$

La capacité du silo en tonne :

$$C = V \times \gamma \dots \dots \dots \text{(III.2)}$$

Avec :

- h_t : La hauteur de sommet du cône de toit du ciment stocke.
- h : La hauteur de la robe.
- h_c : La hauteur de sommet du cône de trémie du ciment stocke.
- R : le rayon du cylindre.
- γ : Le poids volumique du produit stocké. (voir Tableau III.1)

III.2.1 Application numérique :

- Angle de toit : $\theta_t = 10.48 \approx 10^\circ$
- Angle de la trémie : $\theta_c = 52.94 \approx 53^\circ$
- $\gamma = 16 \text{ KN/m}^3$
- $R = \frac{D}{2} = \frac{6150}{2} = 3075 \text{ mm} = 3.075 \text{ m}$

$$h_t = R \tan \theta_t = 3.075 \tan 10 = 0.542 \text{ m}$$

$$h = 11080 \text{ mm} = 11.08 \text{ m}$$

$$h_c = R \tan \theta_c = 3.075 \tan 53 = 4.08 \text{ m}$$

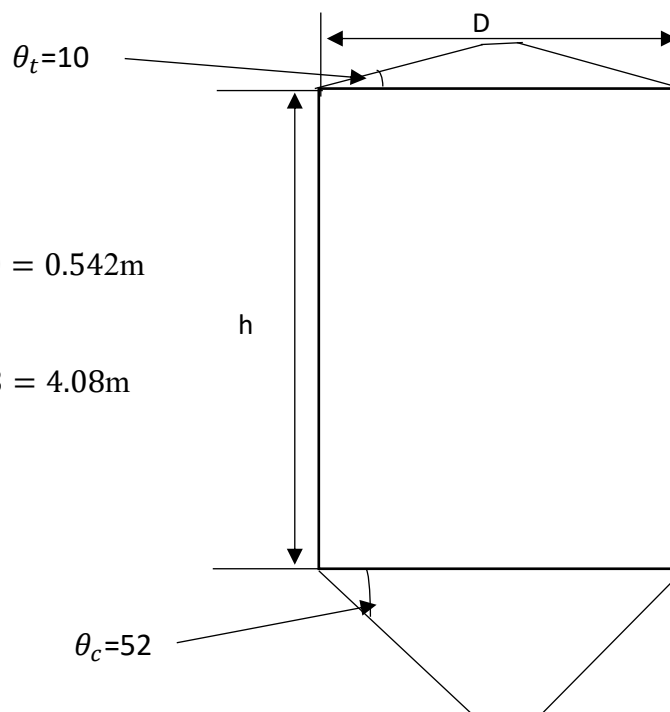


Figure III. 1 schéma de silo

$$V = \pi \times (3.075)^2 (0.542/3 + 11.08 + 4.08) = 455.71 \text{ m}^3$$

$$C = V \times 16 = 7291.36 \text{ KN} = 792.13 \approx 792 \text{ tonnes}$$

Remarque : le silo ne sera pas rempli complètement jusqu'à sa capacité maximale qui est 792 tonnes, il faut prendre en compte le volume de sécurité qui est un élément crucial pour assurer le bon fonctionnement du silo.

Si en néglige le volume de sécurité cela peut entraîner des conséquences graves notamment des surcharges, des blocages, des déversements ; des pertes de matériaux ...etc.

Il est donc essentiel de prendre en compte ce facteur lors de la conception et de l'exploitation du silo.

III.2.2 Le volume du ciment stocké et le volume de sécurité :

Pour calculer le volume de sécurité il faut multiplier la capacité maximale par la marge de sécurité en décimale.

La marge de sécurité de notre silo est 30 % (la marge de sécurité a été pré a partir de la société Cr Métal) donc

$$V_{\text{Sécurité}} = C \cdot 0.30 = 792 \cdot 0.30 = 237.6 \approx 238 \text{ tonnes}$$

Donc le silo vas stocké 554 tonnes

III.3 Les actions de la matière sur les parois du silo :

Dans le contexte des actions exercées par la matière ensilée sur les parois d'un silo, les contraintes sont décomposées en trois composantes principales :

III.3.1 Contrainte horizontale p_h ou p_n :

La contrainte horizontale, notée p_h pour une paroi verticale et p_n pour une paroi inclinée, se réfère à la composante de pression exercée par la matière ensilée perpendiculairement à la paroi du silo.

III.3.2 Les frottement p_w et p_t :

- **Frottement p_w :**

Le frottement, représenté par p_w est la force exercée par le matériau ensilé contre la paroi verticale du silo dans une

Direction parallèle à la paroi. Il s'agit de la résistance à la glissance du matériau le long de la paroi verticale.

- **Frottement p_t :**

Le frottement représenté par p_t désigne la force exercée par le matériau ensilé contre la paroi inclinée du silo dans une direction parallèle à la paroi comme pour le frottement sur une paroi verticale

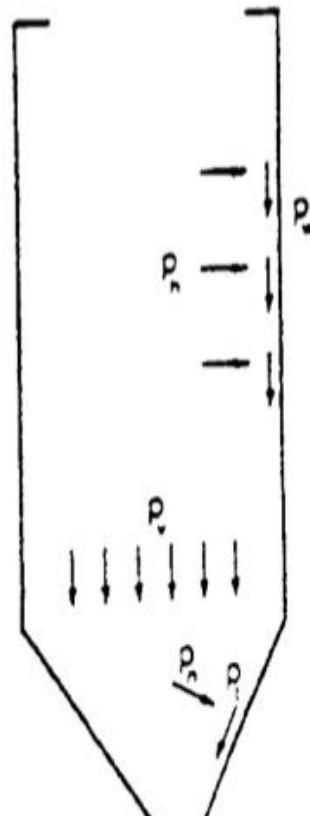


Figure III. 2 les actions exercées sur les parois du silo

III.3.3 Contrainte vertical p_v :

La contrainte verticale fait référence à la pression exercée par la matière ensilée perpendiculairement à la surface de fond du silo ou à l'intérieur du volume du silo cette contrainte verticale est généralement uniforme et s'exerce dans une direction vers le bas.[49],[50]

III.4 Calcule de la pression dans les parois de la trémie de silo :

La trémie de notre silo est décomposée en trois partie :

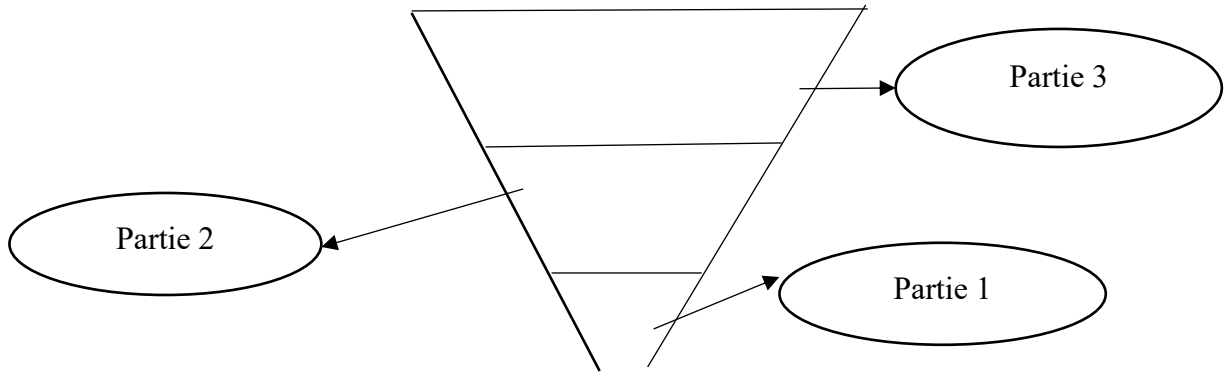


Figure III. 3 schéma de la trémie de silo

Avec $\alpha \geq 20$ La pression p_n exercé sur les parois de trémie est calculer partir de l'expression suivent :

$$P_n = P_{n_3} + P_{n_2} + (P_{n_1} - P_{n_2}) \frac{x}{l_h} \dots \dots \dots \text{(III.3)}$$

Avec :

$$P_{n_1} = P_{v_0} (c_b \cos 2 \alpha + \sin 2 \alpha)$$

$$P_{n_2} = c_b p_{v_0} \cos 2 \alpha$$

$$P_{n_3} = 3 \times \frac{A \gamma k s}{U \sqrt{u}} \sin 2 \alpha$$

Telle que :

p_n : la pression sur les parois de la trémie.

x : est une longueur comprise entre 0 et l_h (voir figure)

P_{n_1} et P_{n_2} : sont les pressions correspondant à la pression verticale dans la matière ensilée directement au-dessus de la transition.

P_{n_3} : est la pression correspondant au remplissage la trémie.

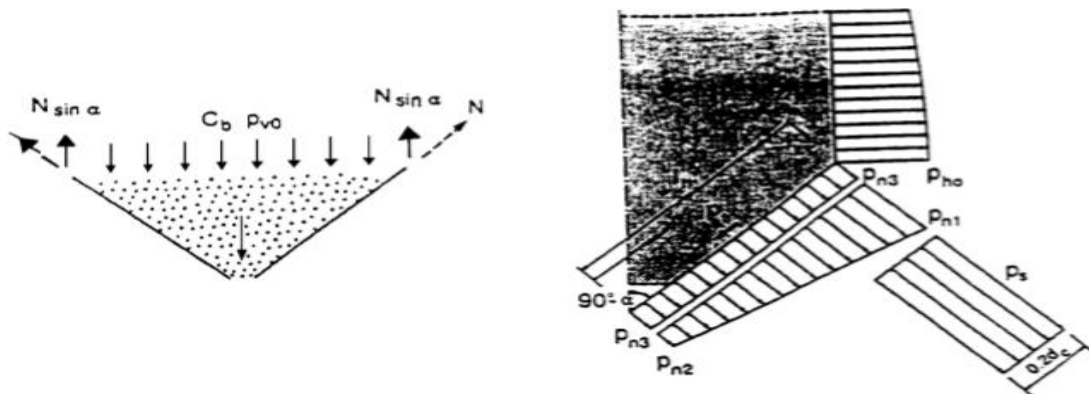


Figure III. 4 actions sur la trémie et force de traction au sommet de la trémie [51]

c_b : Est le coefficient d'amplification ($c_b = 1.2$).

p_{v0} : Est la pression verticale agissant à la transition calculée à l'aide de l'expression suivant :

$$p_{v0} = \frac{\gamma}{k_s u} \frac{A}{U} C_z \quad \text{Et} \quad \frac{A}{U} = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2}$$

Où :

$$C_z = 1 - e^{\left(\frac{-z}{z_0}\right)} \dots \dots \dots \text{(III.4)}$$

C_z : représente une fonction utilisée pour modéliser la variation de la pression latérale dans un silo en fonction de la profondeur z par rapport à une hauteur de référence z_0

$$Z_0 = \frac{R}{2uks} \dots \dots \dots \text{(III.5)}$$

Telle que :

k_s : Le rapport de pression horizontale/ pression verticale (voir tableau III.1)

γ : Le poids volumique du ciment

u : Le coef de frottement sur la paroi (voire tableauxIII .1)

Z_0 : La hauteur référence à partir de laquelle la pression est mesurés (hauteur caractéristique de Janssen)

z : la profondeur considérée

Matière granulaire	Poids Volumique $\gamma \left[\frac{KN}{m^3} \right]$	Rapport des pressions k_s	Coefficient de frottement sur la paroi μ		Coefficient maximale d'amplification c_0
			Acier	Béton	
Orge	8.5	0.55	0.35	0.45	1.35
Ciment	16.0	0.50	0.40	0.50	1.40
Clinker	18.0	0.45	0.45	0.55	1.40
Sable sec	16.0	0.45	0.40	0.50	1.40
Farine	7.0	0.40	0.30	0.40	1.45
Cendre volante	14.0	0.45	0.45	0.55	1.45
Sucre	9.5	0.50	0.45	0.55	1.40
Blé	9.0	0.55	0.30	0.40	1.30
Charbon	10.0	0.50	0.45	0.55	1.45

Tableau III. 1 caractéristiques des matières granulaire [52]

Application numérique :

On va calculée la pression dans chaque partie dans la trémie (dans les 3 partie) :

$$l_n \approx 4828mm$$

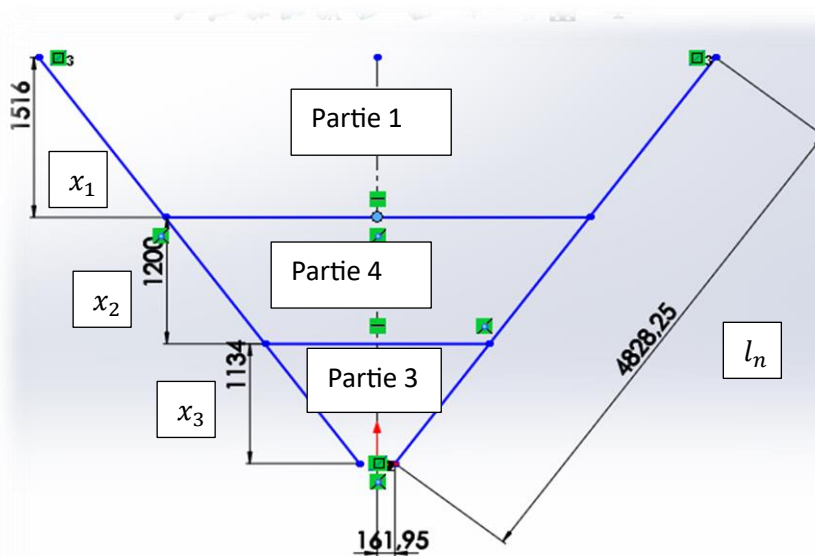


Figure III. 5 schémas représentent les trois partie de silo pour le calcul de pression

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableaux suivant :

	Partie 1	Partie 2	Partie 3
$R [m]$	1.912	0.950	0.16195
$A/U [m]$	0.952	0.485	0.080975
$z [m]$	12.596	13.766	14.93
$z_0 [m]$	4.78	2.425	0.404875
$c_z [m]$	0.93	0.99	1
$p_{v0} [KN/m^2]$	71.1264	38.412	6.478
$p_{n1} [KN/m^2]$	80.23	43.33	7.31
$p_{n2} [KN/m^2]$	54.63	29.50	4.98
$p_{n3} [KN/m^2]$	13.06	6.63	1.11
$x [m]$	1.516	1.200	1.134
$p_n [KN/m^2]$	25.19	12.42	1.99

Tableau III. 2 résultats des calculs de pression exercée sur les parois de la trémie de silo

III.5 Calcule de la pression sur les parois de la robe du silo :

La pression horizontale p_h est calculée d'après la formule suivante :

$$p_h = \frac{\gamma A}{\mu U} c_z \dots \dots \dots (III.6)$$

Avec $p_0 = \frac{\gamma \pi R^2}{\mu 2 \pi R} = \frac{\gamma R}{2 \mu}$ donc $p_h = p_0 c_z$

p_0 : Est la pression asymptotique.

III.5.1 La pression asymptotique :

La pression asymptotique se réfère à la valeur de pression finale atteinte dans un système donné après que certaines conditions ou limites ont été atteintes. Dans le contexte des silos et des matériaux ensilés, la pression asymptotique représente la pression qui se stabilise ou atteint une valeur constante à mesure que la hauteur de la matière ensilée augmente.

Lorsque la matière ensilée est ajoutée ou accumulée dans un silo, la pression exercée sur les parois du silo augmente initialement à mesure que la hauteur de matière augmente. Cependant, à un certain point, la pression cesse d'augmenter de manière significative et atteint une valeur limite. Cette valeur limite est appelée pression asymptotique.[53]

III.5.2 Application numérique :

On suppose que la robe de silo se décompose en 3 viroles donc le calcul de la pression sera à 3 niveaux

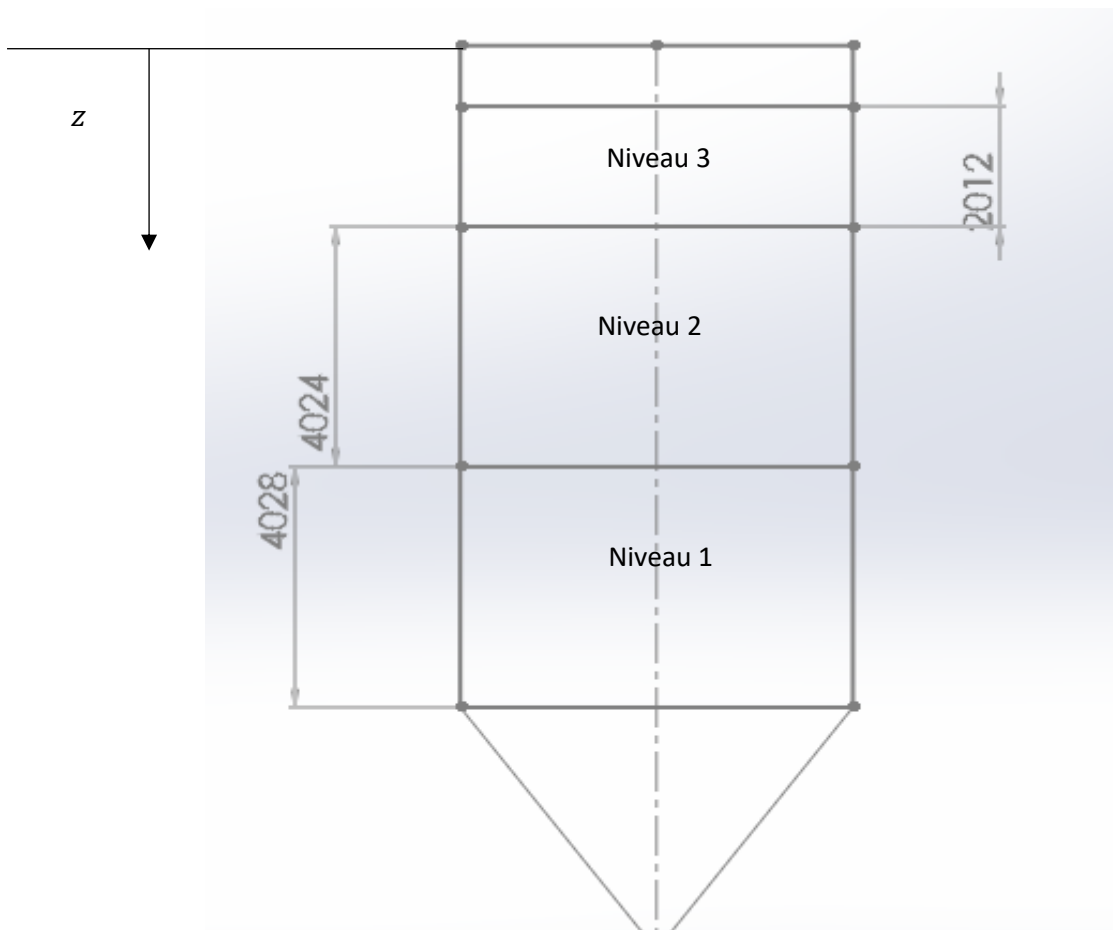


Figure III. 6 schémas représentent les trois niveaux de la robe pour calcul de la pression

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau suivant :

$$p_0 = \frac{16 \times 6.150}{2 \times 0.40} = 123 \text{ KN/m}^2$$

$$z_0 = \frac{R}{2\mu K} = \frac{6.150}{2 \times 0.40 \times 0.50} = 15.375 \quad ; \quad \frac{A}{U} = \frac{R}{2} = \frac{6.150}{2} = 3.075$$

	Niveaux 1	Niveaux 2	Niveaux 3
z[m]	11.08	7.052	3.028
c_z	0.52	0.37	0.18
p_h [KN/m ²]	63.96	45.51	22.14

Tableau III. 3 résultats des calculs de pression exercée sur les parois de la robe de silo

III.6 La contrainte du boulon :

La pression exercée sur les parois du silo, se propage à travers les parois jusqu'aux boulons qui relient. Les boulons agissant comme des éléments de liaison entre les sections et sont soumis à cette pression.

Ils doivent être conçus pour résister à cette pression afin de maintenir l'intégrité structural du silo, ils doivent être suffisamment solides pour supporter les charges exercées sur les parois, ainsi que pour maintenir les panneaux ensemble de manière sécurisée (les boulons qu'en a choisi c'est des boulons à HR voire chapitre II).

Pour calculer la force appliquée sur un seul boulon on va pondre les parois où il y'a une grande pression c'est le niveau 1 de la robe du silo (en considère que la virole du silo dans cette partie et divisée en 2 panneaux)

$$p_h = 63.96 \text{ KN/m}^2$$

$$F = \frac{p_h \times \left(\frac{s}{2}\right)}{N} = 29.69 \text{ KN}$$

Avec N : le nombre de boulon = 32 boulons

$$\text{Donc La contrainte sur le boulon } \sigma = \frac{F}{s} \dots \dots \dots \text{ (III.7)}$$

Avec s : est la section transversale du boulon (voir tableau II.2 caractéristiques d'un boulon M18)

$$\text{Donc } \sigma = \frac{29.69}{254} = 0.117 \text{ KN/mm}^2 = 117 \text{ KN/m}^2 = 0.117 \text{ Mpa}$$

La contrainte calculée est de 0.117MPa, on peut dire que le boulon est largement capable de résister à cette contrainte car la contrainte admissible de boulon est de 800 MPa (voir Tableau II.3). Elle est plus élevée que la contrainte calculée, ce qui signifie que le boulon est adapté pour cette application.

Remarque : pour le calcul des pressions de frottement ne sont pas incluses dans cette étude, car celle-ci concentre uniquement sur l'état statique du silo. L'objectif principale de cette étude était d'analyser les charges gravitationnelles sur les parois du silo et d'évaluer leur impact structurel.

Les pressions de frottement, bien qu'importantes dans la réalité, sont souvent difficiles à quantifier avec précision en raison de divers facteurs tels que la granulométrie du matériau, l'humidité, la rugosité des parois du silo et d'autre paramètre dynamique. Par conséquent, afin

de simplifier l'analyse et de se concentrer sur l'effet des charges statiques, les pressions de frottement n'ont pas été prises en compte dans cette étude spécifique.

Conclusion :

Dans le chapitre consacré au calcul des pressions exercées sur les parois du silo, il convient de souligner que les calculs ont été effectués en considérant un état statique de la structure. Cette approche statique permet d'estimer les pressions appliquées sur les parois du silo dans des conditions stationnaires, sans tenir compte des effets dynamiques tels que les vibrations ou les mouvements du matériau stocké.

L'utilisation d'un état statique est courant dans les calculs de pression des silos, car il permet d'évaluer les charges maximales potentielles qui s'exercent sur les parois dans des situations de stockage normales. Cela permet de concevoir des parois suffisamment solides pour résister à ces charges sans se déformer ou s'affaisser.

Cependant, il est important de noter que dans certaines situations particulières, telles que la décharge rapide du matériau ou les mouvements du silo pendant le remplissage, des effets dynamiques peuvent survenir. Dans de tels cas, il peut être nécessaire de prendre en compte des modèles dynamiques ou des analyses transitoires pour évaluer plus précisément les pressions et les charges sur les parois.

En conclusion, les calculs de pression dans ce chapitre aient été basés sur un état statique de la structure, il est crucial de reconnaître que des conditions dynamiques spécifiques peuvent nécessiter des analyses supplémentaires pour garantir la sécurité et la stabilité du silo dans toutes les situations opérationnelles possibles.

Chapitre IV :
Conception du silo

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons en détail la conception du silo à ciment, en mettant l'accent sur les différentes étapes et considérations prises en compte lors du processus de conception. Nous décrirons également les outils logiciels utilisés, tels que SolidWorks, pour réaliser la modélisation 3D du silo.

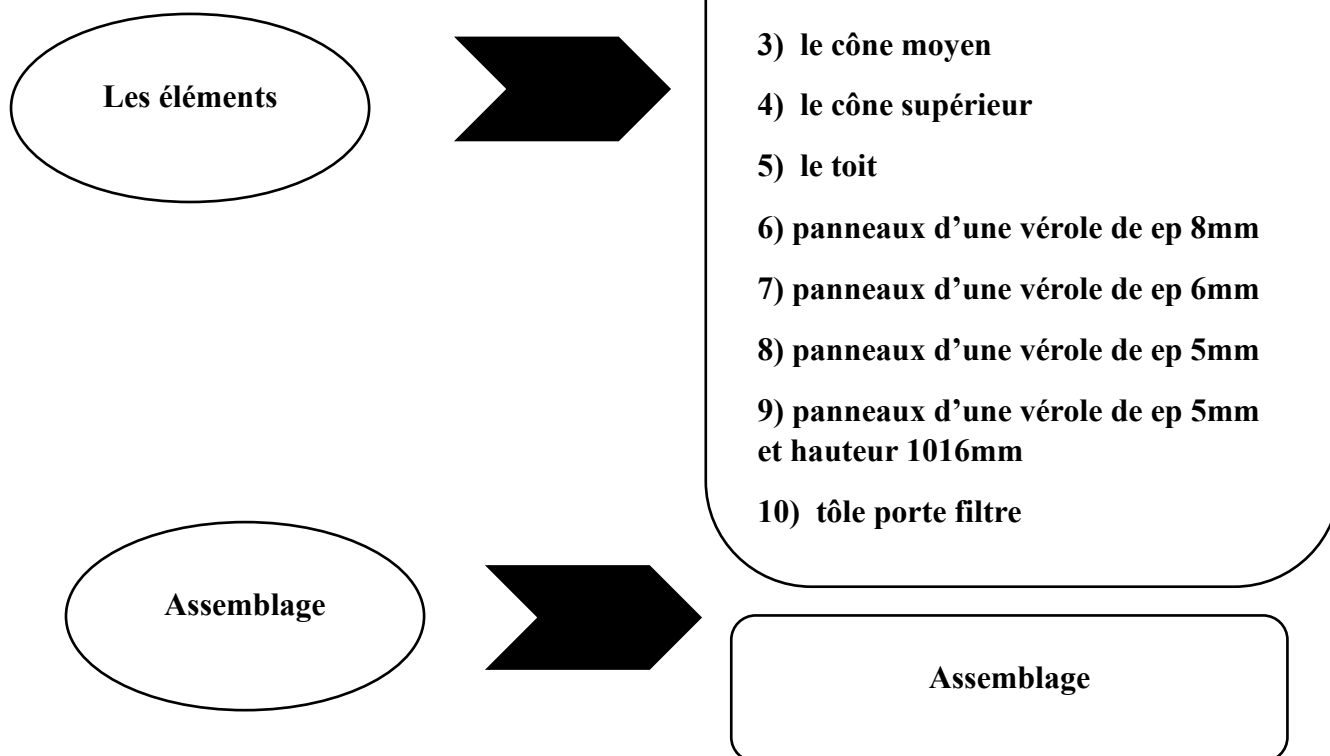
IV.1 La modélisation avec SolidWorks :

Avant d'entrer dans les détails de la conception, nous présenterons la méthodologie générale utilisée et le logiciel SolidWorks pour concevoir la conception du silo.

Le logiciel SolidWorks qui est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2d et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.[55]

SolidWorks a trois environnements de base à savoir : pièce, assemblage et mise en plan

IV.2 Méthodologie de conception :



IV.3 Les dimensions du silo

Les dimensions de notre silo seront présentés dans le tableau suivant :

Diamètre extérieur	6150 mm
Hauteur total	15000mm
Hauteur de la robe	11000 mm
A. Virole	
Hauteur entre 0 et 4m	e =8mm
Hauteur entre 4 et 8m	e =6mm
Hauteur entre 8 et 11m	e =5mm
B. trémie	
Hauteur entre 0 et 1,1 m	e =6 mm
Hauteur entre 1,1 et 2,2	e =7 mm
Hauteur entre 2,2 et 3,5	e =10 mm
C. Toit :	
Épaisseur	5 mm

Tableau IV. 1 dimensions de silo

IV.4 Conception des composants du silo :

IV.4.1 La charpente :

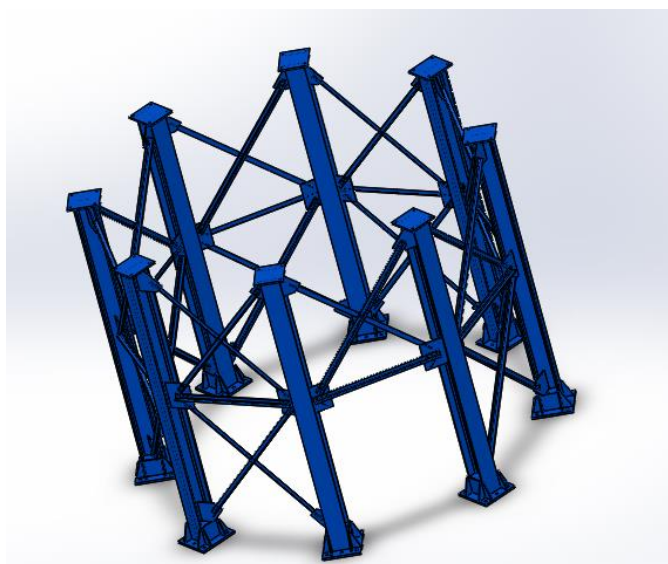


Figure IV. 1 la charpente du silo a ciment

La charpente est conçue pour supporter le silo à ciment, elle est composée de 8 poteaux en HE320B qui sont une section spécifique de poutre en acier (l'acier est le s275jr).

Des barres de stabilité sont utilisées pour relier les poteaux entre eux, les barres de stabilité jouent un rôle crucial pour renforcer la stabilité globale de la structure, ces barres de

stabilité son assemblés avec des boulonne avec les poteaux à l'aide des platines de liaison qui sont soudés avec les poteaux.

La hauteur de la charpente est de 4929mm (4.929 m) cela indique la dimension verticale de la charpente. Qui doit être suffisante pour contenir la trémie, et de laisser assez d'espace pour utiliser le convoyeur à vis qui permet la décharge.

IV.4.2 La trémie :

La trémie de silo se compose de 3 niveaux

- **Niveau 1** : le bas de trémie a une hauteur de 1134 mm et une épaisseur de 7mm cela représente la partie inférieure de la trémie (le cône bas).

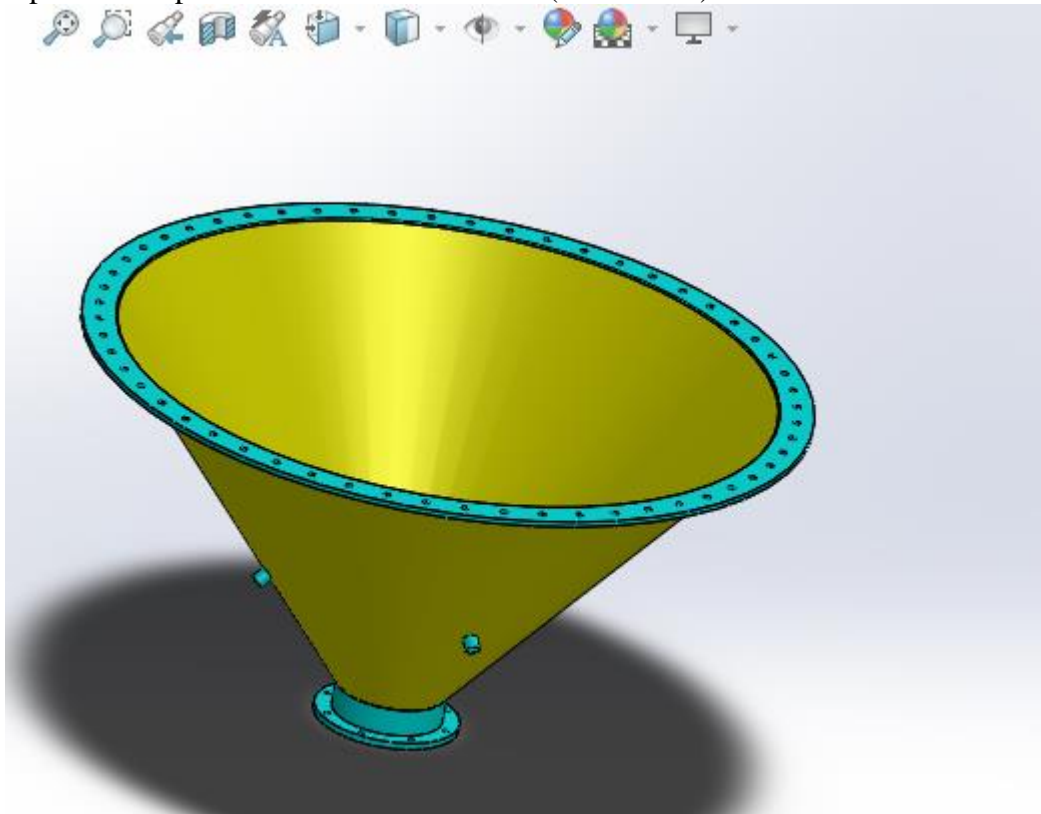


Figure IV. 2 le bas du cône de la trémie

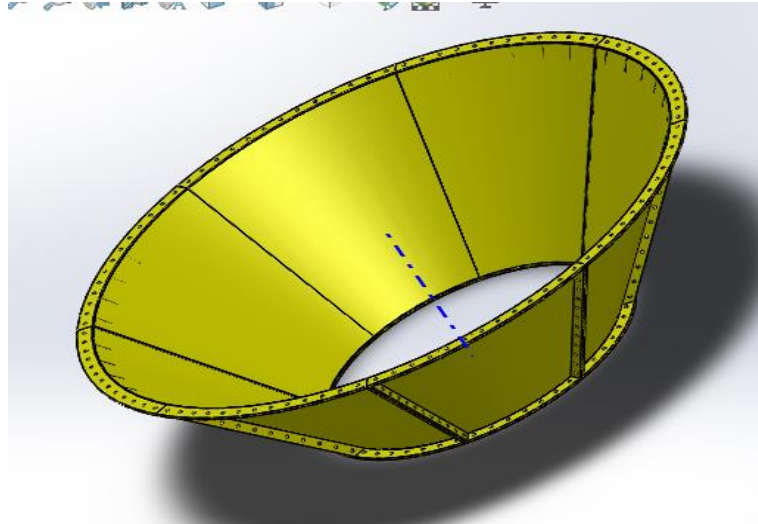


Figure IV. 3 le cône moyen de la trémie

- **Niveau 2** : il se compose de 8 panneaux ayant une hauteur de 1200 mm et une épaisseur de 6mm cette section est située au-dessus de niveau 1 (le cône moyen).
- **Niveau 3** : c'est la partie supérieure qui va être se poser sur la charpente. Cette partie est reliée à la robe du silo, elle est composée de 8 panneaux avec une hauteur de 1500 mm et une épaisseur de 10mm.

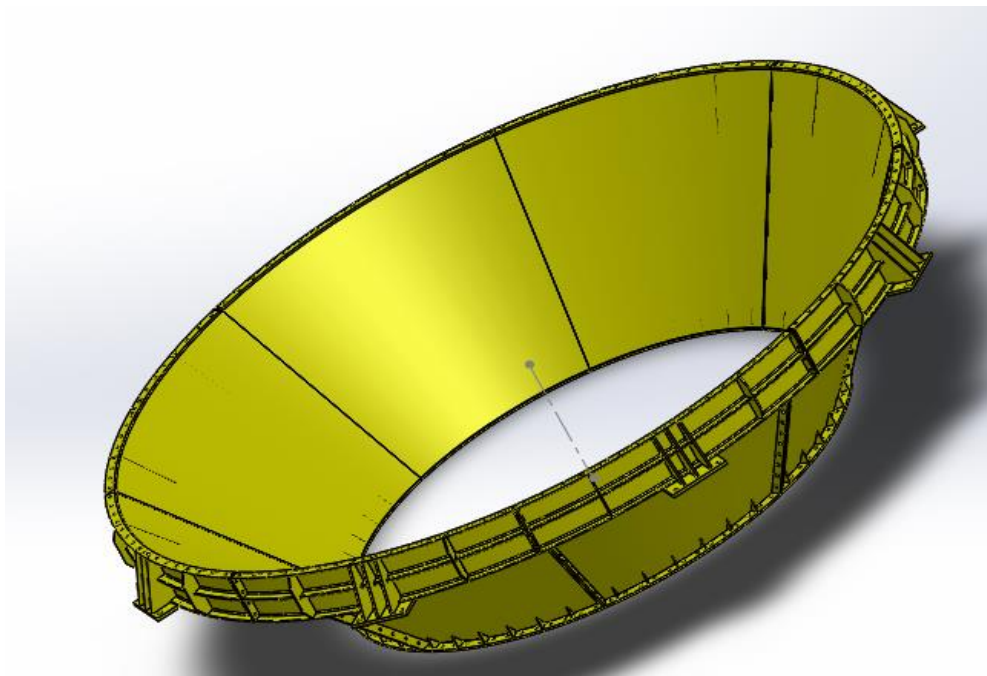


Figure IV. 4 le cône supérieur de la trémie

IV.4.3 Le toit:

Le toit de silo a une forme légèrement conique cette forme permet également de mieux répartir les charges sur la structure du silo, en réduisant la surface d'appui.

L'angle d'inclinaison du toit est de 10.48 degrés.

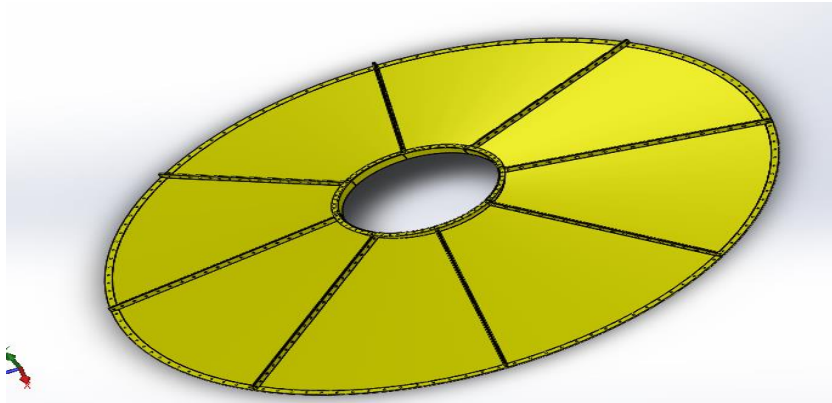


Figure IV. 5 le toit du silo

IV.4.4 La robe :

La robe de silo est de hauteur 11000 mm se compose de 6 viroles de diamètre de 6150 mm avec des épaisseur differentes, alors que chaque virole est composée de 8 panneaux. Les deux premières viroles sont des viroles d'épaisseur 8mm, deux viroles en épaisseur 6mm et 2 viroles en épaisseur 5mm.

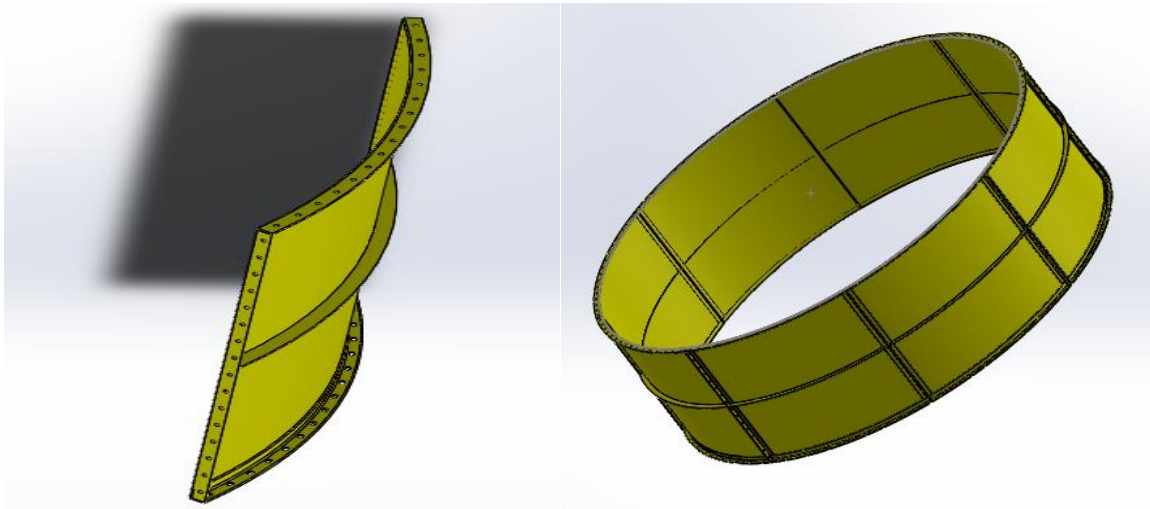


Figure IV. 6 panneaux est virole d'épaisseur 8mm

La conception des panneaux d'épaisseur 6mm et 5mm ont la même métrologie de conception

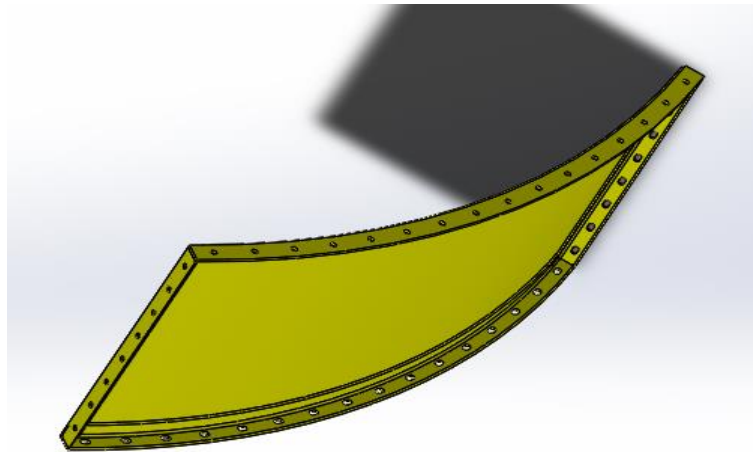


Figure IV. 7 panneaux d'épaisseur 5mm et hauteur 1016mm

IV.4.5 Le porte filtre :

Le port filtre situé en haut du silo il est conçu pour recevoir un filtre afin de capturer les particules de poussière

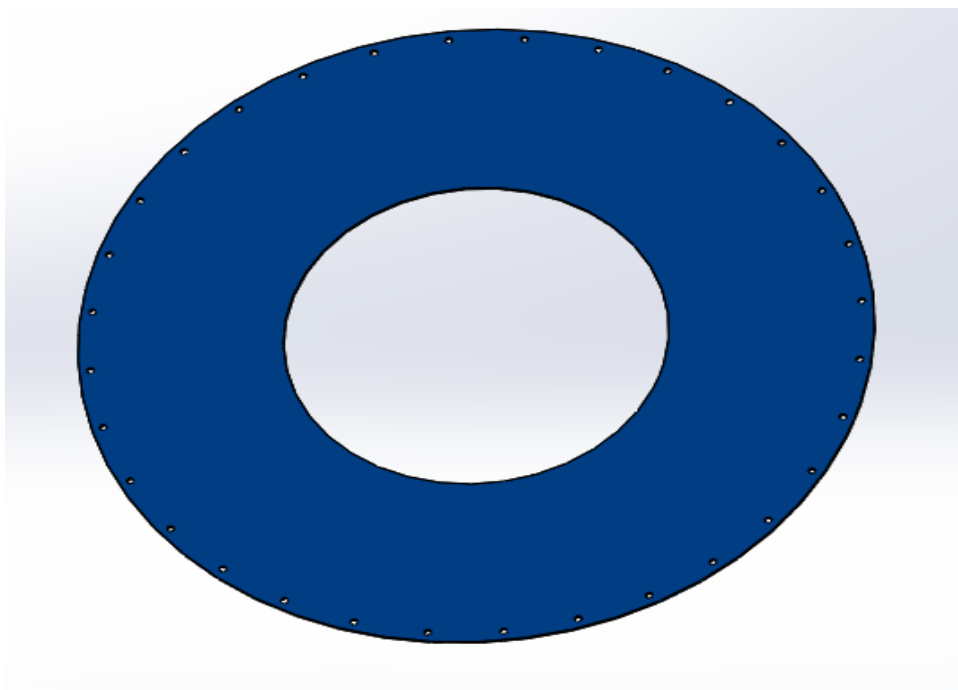


Figure IV. 8 tôle porte filtre

IV.5 Assemblage :

L'assemblage du silo sera fait référence au processus de regroupement des pièces individuelles présentées précédemment pour former un modèle complet (silo). Cela permet de visualiser comment les différentes pièces s'assemblent, interagissent et fonctionnent ensemble. [58]

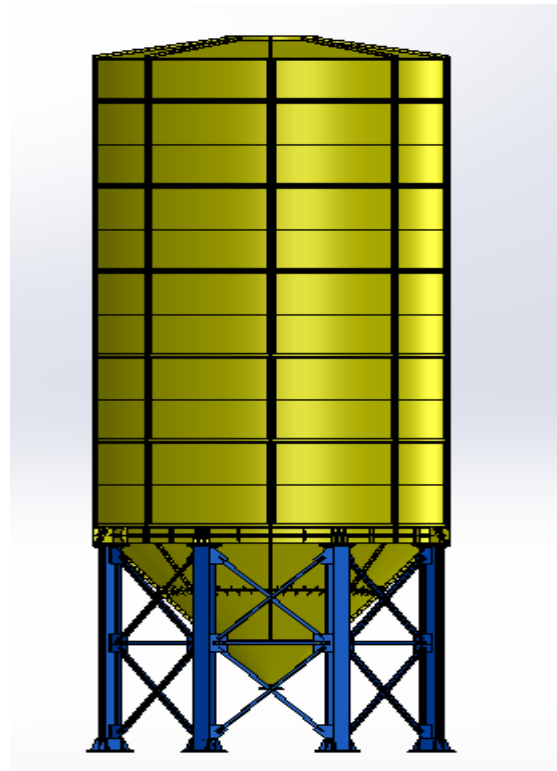


Figure IV. 9 Silo après avoir créé tous les constraint

Les boulons utilisés sont des boulon HR (voire tableau II.2). Pour la partie charpente et le toit les boulons utilisés sont les M16 pour les autres pièces sont les M18.

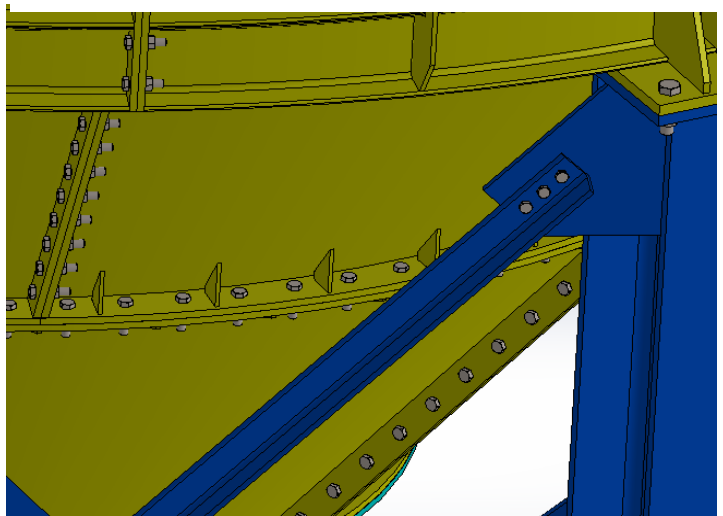


Figure IV. 10 Assemblage avec des boulon

Remarque : Pour plus de détail voir Annexe qui contient les mises planes des éléments

Conclusion :

En conclusion, l'utilisation de solide Works. Pour modéliser la structure d'un silo a ciment et possible de générer des plans et des dessins détaillés ce qui facilite la communication avec les fabricants et l'ingénieur sur le terrain. Et présente de nombreux avantages notamment en termes de précision de la conception de collaboration et de simplification de processus de fabrication cela fait de solide Works un outil puissant pour les professionnels impliqués dans la conception et la construction de silo a ciment.

Chapitre V :
Vérification de la charpente
(Support du silo)

Introduction :

Tous les éléments de structure longs ont un comportement similaire en compression. Lorsque la charge de compression augmente lentement, on atteint une valeur pour laquelle l'élément au lieu de simplement se raccourcir, il fléchit ou sera en flambement. C'est un phénomène d'instabilité transversale sous un effort de compression qui porte le nom de flambement.

Dans le cas du flambage, les formules établies tiennent compte des déformations qui ne peuvent plus être supposées infiniment petites et négligées, de même, les forces extérieures ne sont plus proportionnelles aux déformations. Alors, c'est une valeur critique de la charge qui ne doit être dépasser. Cette valeur critique est appelée charge de flambement.

Dans ce chapitre nous abordons la vérification de résistance de la charpente avec un calcul manuel basé sur des principes de la norme NF EN 1993-1-1 octobre 2005. Et la RDM. Aussi, et dans le but de valider les résultats on va utiliser le logiciel robot structural (robot structural analyses utilisé au niveau de l'entreprise Cr-métal) et comparer les résultats qui offrant une double approche pour évaluer la résistance de la charpente.

V.1 Description de charpente :

La charpente de silo se compose de 8 poteaux en profil HE320B avec des barres de stabilité (en cornière) qui relient les poteaux (profil) entre eux.

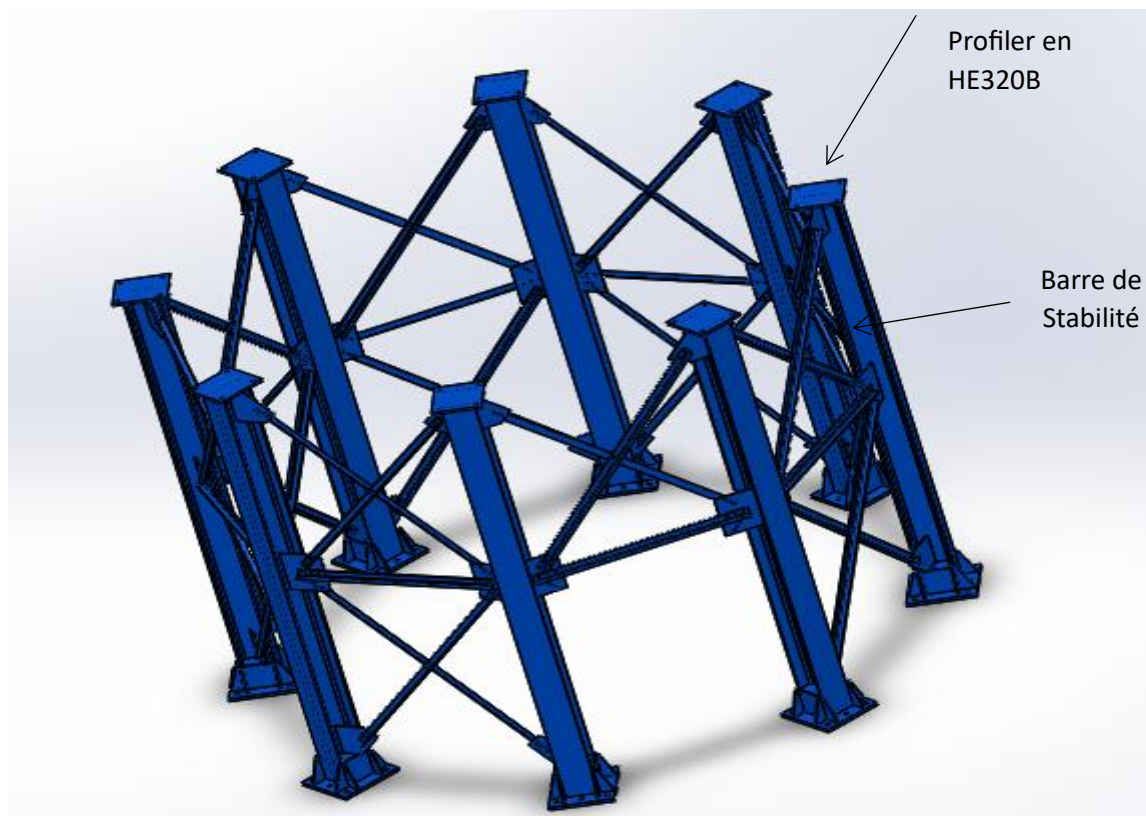


Figure V. 1 charpente du silo

Les barres de stabilité sont des cornières utilisées pour renforcer et stabiliser la structure du support. Elles sont fixées en diagonale par rapport aux poteaux. Leur rôle principal est de

résister aux forces latérales telles que les charges de vent pour les déformations excessives ou les flambages et pour maintenir sa stabilité et sa solidité.[59]

V.2 Définition de flambement :

Le flambage est un phénomène physique relevant des principes de la résistance des matériaux. Lorsqu'une structure est comprimée dans le sens de la longueur, elle a tendance à fléchir perpendiculairement à l'axe de la force appliquée, en raison d'un phénomène d'instabilité élastique.[60]

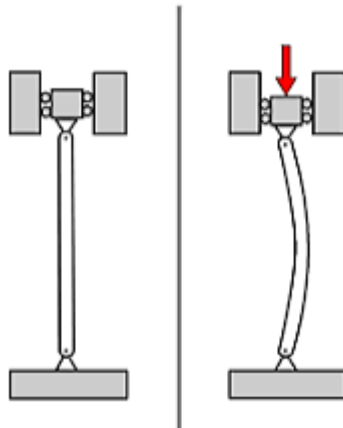


Figure V. 2 le flambement [61]

V.3 Problème :

On se propose de vérifier un poteau encadré encadré soumis à un effort de compression, selon les prescriptions de la norme : NF EN 1993-1-1 octobre 2005.

Acier : s275

Profilé : HE 320B

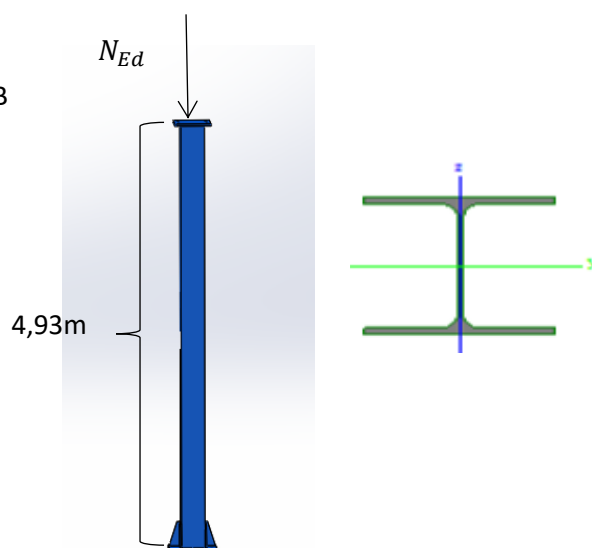


Figure V. 3 poteau en compression

Caractéristique de HE320B

	h [mm]	b [mm]	A [cm ²]	t _f [mm]	t _w [mm]	r [mm]	i _y [cm]	i _z [cm]	I _Y [cm ⁴]	I _Z [cm ⁴]
HE320B	320	300	161.3	20.5	11.5	27	13.82	7.57	30820	9239

Tableau V. 1 caractéristique de HE320B

V.3.1 classifications de la section de profiler :

En fonction de la minceur des parois comprimée ou fléchies de la section et de la résistance de leur acier, la classification de la section transversale doit être faite selon quatre classes.

Permettent de classer toutes les formes de sections et définir la performance de leurs parois comprimées vis-à-vis le voilement local.

Dans ce cadre, les quatre classes de sections transversales ont été définies comme suit :

Classe 1 : une section pouvant donner une résistance plastique et former une rotule plastique (grande capacité de déformation) sans l'apparition du voilement local.

Classe 2 : une section pouvant donner une résistance plastique et former une rotule plastique (capacité de déformation plastique limité)

Classe 3 : une section pouvant donner une résistance élastique mais sans atteindre une résistance plastique à cause du voilement local.

Classe 4 : une section ne pouvant même pas donner une résistance élastique à cause de l'apparition prématurée du voilement local durant cette phase.[62]

Alors en classer la section de profilé comme suit :

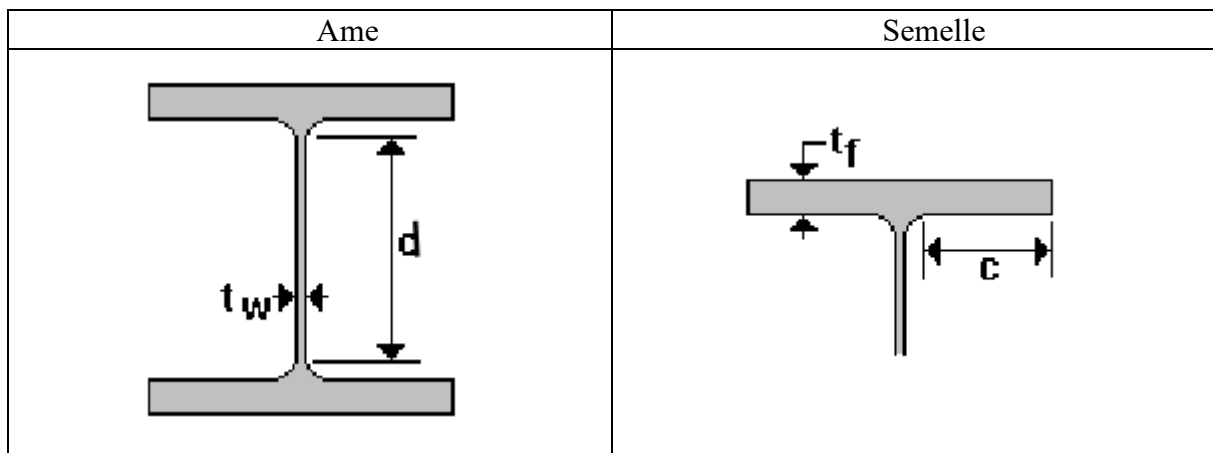


Figure V. 4 notation pour déterminer la classe de la section

Nous devrions examiner la classe de la semelle supérieure et la classe l'âme a en utilisant les valeurs suivantes :

Classe de la semelle supérieure :

Pour déterminer la classe de la semelle supérieure d'un profilé HE320B en calculant le rapport c/t_f . Telle que ce rapport doit être $< 9\epsilon$. Telle que :

- $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 9,2$; f_y est la nuance d'acier s275 jr =275 MPa
- $c = \left(\frac{b}{2}\right) = 300/2 = 150$; t_f est donnée 20.5 mm (voir tableau V.1)
- Alors $c/t_f = 7.32 < 9 \times \varepsilon = 82.8$

Donc la semelle supérieure est de classe 1.

Classe de l'âme du profilé :

Ce qui concerne la classe de l'âme du profilé HE320B, nous devons calculer le rapport d/t_w ou d représente la distance entre les surfaces extérieures de l'âme et t_w est l'épaisseur de l'âme. Ce rapport doit être $< 33 \cdot \varepsilon$. Telle que :

- $d = h - 2t_f = 320 - (2 \times 20.5) = 279$
- $t_w = 11.5$
- $d/t_w = 24.26 < 33 \cdot \varepsilon = 303.6$ donc l'âme est de classe 1

En conclusion, les deux (l'âme et la semelle) sont de classe 1 donc le profilé est de classe 1.

Remarque :

ε : est un rapport il faut tenir compte du type de formage du profilé (laminé ou soudé) dans notre cas le profilé est laminé.

Donc le profilé est de section HE320B est de classe 1

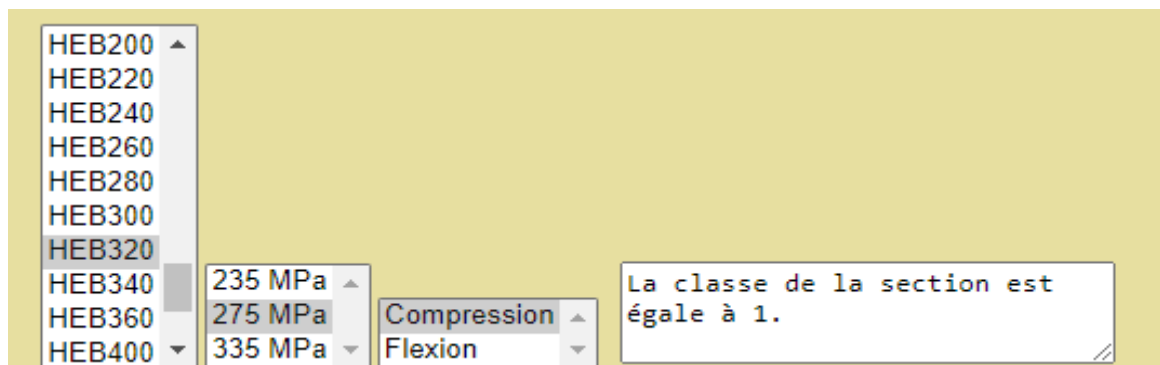


Figure V. 5 un applicatif javascript connaitre directement la classe des profilés laminée. [63]

V.3.2 Vérification de l'élément (flambement en compression simple) :

Dans cette partie de la vérification, nous examinons le flambement en compression simple de la poutre dans la direction y-y et z-z. la poutre est encastree des deux coté, ce qui signifie que nous devons considérer deux cas de flambement : le flambement autour de l'axe y-y et le flambement autour de l'axe z-z.

Selon les formules du tableau V.2 pour les différentes liaisons, nous avons les longueurs de flambement suivantes :

- Pour l'axe y-y : $L_{fy}=0.5 \times 493 \text{ cm} = 246.5 \text{ cm}$
- Pour l'axe z-z : $L_{fz}=0.5 \times 493 \text{ cm} = 246.5 \text{ cm}$

D'après le tableau V.2 la charge critique pour le flambement est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$N_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$$

Telle que :

E : est le module élasticité de l'acier

I : moment d'inertie

- Pour l'axe y-y : $N_{cr,y} = \frac{4 \times \pi^2 \times 2100000 \times 30820}{246.5} = 42051144 \text{ daN}$
- Pour l'axe z-z : $N_{cr,z} = \frac{4 \times \pi^2 \times 2100000 \times 9239}{246.5} = 12605792 \text{ daN}$



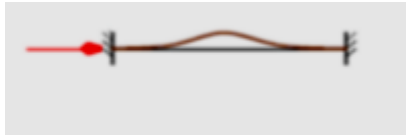

Type de liaison	Schéma	Longueur de flambement	Charge critique
Appui articulé bi-		L	$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$
Libre-encastrement		$2L$	$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$
Encastrement-encastrement		$0.5L$	$N_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$
Appui simple encastrement		$0.7L$	$N_{cr} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2}$

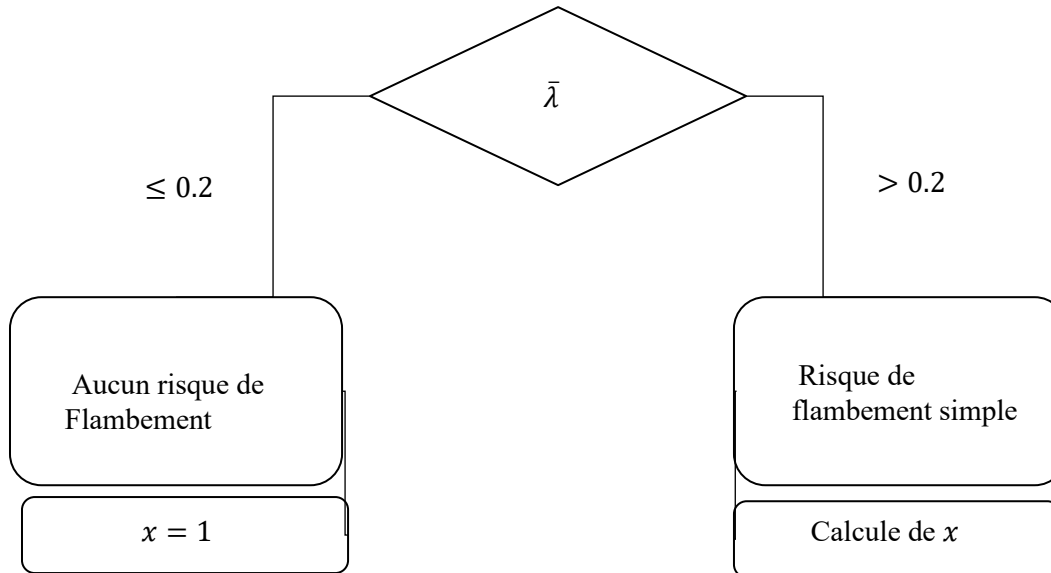
Tableau V. 2 influences des liaisons aux appuis [64]

Ensuite, nous calculons l'élanement réduit $\bar{\lambda}$. Qui est un paramètre utilisé dans l'analyse du flambement des éléments à la charge critique de flambement. On utilise la formule :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

Telle que :

- A : est la section de profilé.



- Pour l'axe y-y : $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{161,3 \times 2750}{170593}} = 0,3 > 0,2$
- Pour l'axe z-z : $\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{161,3 \times 2750}{12605792}} = 0,2 = 0,2$ dans ce cas on n'a pas un risque de flambement suivent l'axe z-z donc le $x=1$.

Dans l'axe y-y, on a : $\bar{\lambda}_y > 0,2$ donc il ya un risque de flambement. Il est nécessaire de calculer x . alors il est nécessaire de choisir la courbe de flambement appropriée en utilisant la figure V.6. Pour déterminer le facteur d'imperfection α qui corresponde à la courbe de flambement.

Alors on calcule le rapport $h/b=320/300=1,06$ il est inférieur à 1,2 est sachent que l'épaisseur de la plaque $t_f=20,5 < 100$ il est inférieur a 100. Donc d'après la figure V.6 la courbe de flambement selon l'axe y-y est b. d'après le tableau V.3 on trouve que $\alpha=0,34$.

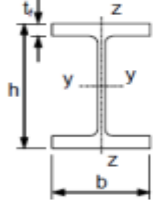
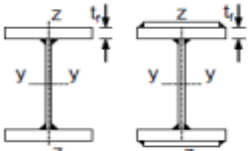
Section transversale		Limites		Flambement selon l'axe (ou autour de l'axe)	Courbes de flambement
Sections laminées en I ou en H		h/b > 1,2	t _f ≤ 40 mm	y-y z-z	a b
			40 mm ≤ t _f ≤ 100	y-y z-z	b c
		h/b ≤ 1,2	t _f ≤ 100	y-y z-z	b c
			t _f > 100	y-y z-z	d d
Sections I ou H soudées		t _f ≤ 40 mm		y-y z-z	b c
		t _f > 40 mm		y-y z-z	c d

Figure V. 6 les courbe de flambement [65]

Courbe de flambement	A	B	c	d
Facteur d'imperfection α	0.21	0.34	0.49	0.76

Tableau V. 3 coefficient d'imperfection

D'après l'obtention du facteur d'imperfection, on calcule le coefficient ϕ utilisé pour prendre en compte l'effet du flambement dans le dimensionnement de l'éléments dimension de l'élément. Ce coefficient est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \dots \dots \dots \text{(V.3)}$$

On remplace les valeurs de α et $\bar{\lambda}_y$ dans la formule (V.3) :

$$\phi = 0.5[1 + 0.34(0.3 - 0.2) + 0.3^2] = 0.562$$

Alors le Coefficient de réduction pour le flambement x :

Est le coefficient de réduction pour le mode de flambement à considérer et fonction de l'élançement réduit.

Pour les poteaux à section transversale constante, sollicités en compression axiale constante, la valeur de x pour l'élançement réduit peut être déterminée par la formule :

$$x = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \dots \dots \dots \text{(V.4)}$$

$$x_y = \frac{1}{0.562 + \sqrt{0.562^2 - 0.3^2}} = 0.96$$

En retient $x = \min(x_y; x_z) = \min(0,96; 1) = 0.96$ le flambement est dans le plan yy

Vérification de critère :

Dans la vérification de l'élément soumis au flambement, nous devez comparer la charge N_{ed} à la résistance au flambement calculée $N_{b,rd}$. Cette résistance représente la charge maximale admissible avant que l'élément ne fléchisse de manière instable en raison du flambement.[58]

Alors on calcule $N_{b,Rd}$ en utilisant la formule suivante :

$$N_{b,Rd} = \frac{x \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} \dots \dots \dots (V.5)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.96 \times 161.3 \times 2750}{1} = 425832 \text{ daN} = 4258.32 \text{ KN}$$

Avec $N_{Ed} = N/8$, telle que N est l'effort de compression (poids propre du silo + poids du ciment stocké + charge de la neige)

Le poids propre du silo = 21960 Kg il calculé à l'aide de SolidWorks

N : les efforts axiaux de compression (poids propre du silo + poids du ciment stocké + charge permanente pour les charges permanentes en à prendre en compte que la charge de la neige).

- $N = 1.35G + 1.5Q +$ la charge de la neige = 489.12 KN

Donc $N_{Ed} = 61.14 \text{ KN}$

Maintenant, on fait la vérification de critère $N_{ed} < N_{b,Rd}$: $61.14 < 4258.32$ de plus $N_{ed}/N_{b,Rd} = 0.014 < 1$

Donc le critère est vérifié ce qui signifie que l'élément satisfait les exigences de résistance au flambement.

V.3.3 Vérification en section effort axial en compression :

La vérification de l'effort axial de compression pour une section de HE320B consiste à déterminer si la section est capable de supporter l'effort de compression.

Sella signifie que le profilé va supporter les charges de compression de silo sans déformation.

Pour cette vérification il faut vérifier que $\sigma_{calculé} < \sigma_{adm}$

$$\sigma_{calculé} = \frac{F}{S} = \frac{N_{Ed}}{A} \dots \dots \dots (V.6)$$

$N_{Ed} = 61.14 \text{ KN}$

- σ_{adm} : Est la contrainte admissible du matériau (acier S275JR)

$$\sigma_{adm} = 0.6 \times \text{la limite élastique du matériau} = 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa} = 165000 \text{ KN/m}^2$$

$$3790.45 < 165000$$

Donc la condition est vérifiée ce qui signifie que la section de HE320B est capable de supporter l'effort de compression.

V.4 Implémentation et calcul avec robot structurale :

V.4.1 Robot structural :

Robot Structural Analysis est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) destiné à modéliser, analyser et vérifier la résistance de différentes structures. Il offre la possibilité de créer des modèles de structures, d'effectuer des calculs, de vérifier les résultats obtenus et de dimensionner les éléments spécifiques de la structure. En outre [66]

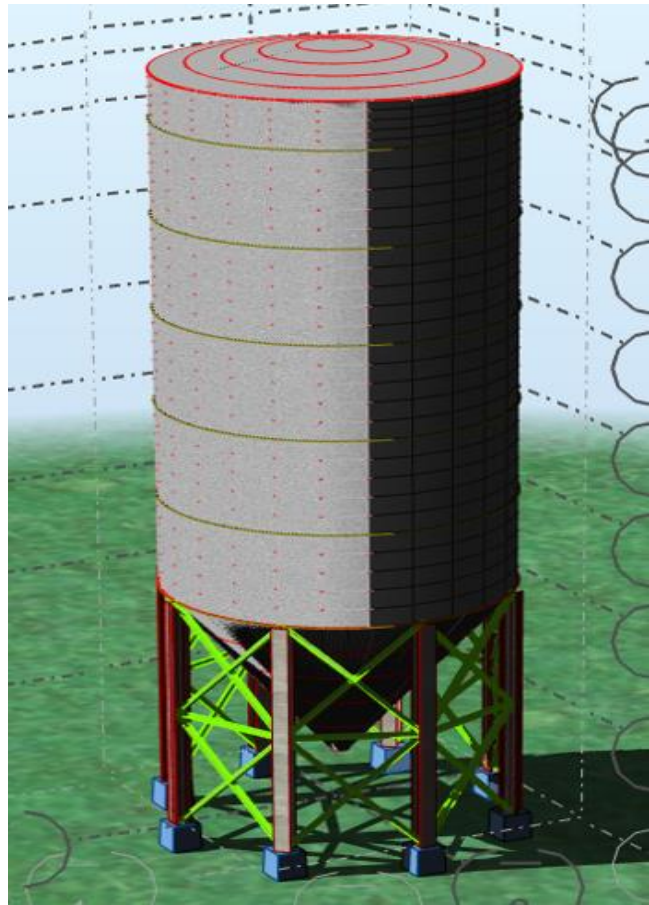


Figure V. 7 modélisations de la charpente dans robot structural

V.4.2 le rapport de robot structural de charpente du silo :

Les tableaux suivants présentent les rapports de vérification des structures en acier, conformément à la norme NF EN 1993-1-1 :2005/NA/A1 :2014, également connu sous la norme d'Eurocode 3 : conception des structures en acier.

Les rapports se concentrent sur la vérification des poteaux et des barres de stabilité

V.4.2.1 Vérification des Poteaux :

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1-1:2005/NA:2013/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des pièces*

FAMILLE:

PIECE: 30 POT_30
2.46 m

POINT: 1

COORDONNEE: $x = 0.50 L =$

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: $4 \cdot 1.35G + 1.5Q \cdot (1+2) + 3 \cdot 1.50$

MATERIAU:

S 275 (S 275) $f_y = 275.00 \text{ MPa}$

**PARAMETRES DE LA SECTION: HEB 320**

$h=32.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=30.0 \text{ cm}$	$A_y=135.47 \text{ cm}^2$	$A_z=51.77 \text{ cm}^2$	$A_x=161.34 \text{ cm}^2$
$tw=1.1 \text{ cm}$	$I_y=30823.50 \text{ cm}^4$	$I_z=9238.83 \text{ cm}^4$	$I_x=233.00 \text{ cm}^4$
$tf=2.1 \text{ cm}$	$W_{ply}=2149.38 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=939.11 \text{ cm}^3$	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{,Ed} = 61.14 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 51.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 2.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = 0.86 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 66.53625 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 51.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,max} = 2.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,c,Rd} = 2150.84 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 4258.32 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 591.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 258.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = -21.03 \text{ kN}$
	$MN_{y,Rd} = 591.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$MN_{z,Rd} = 258.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,c,Rd} = 821.97 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 591.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$		

Classe de la section = 1

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:

en y:

$L_y = 4.93 \text{ m}$	$\lambda_{m,y} = 0.00$
$L_{cr,y} = 0.00 \text{ m}$	$X_y = 1.00$
$\lambda_{m,y} = 0.02$	$k_{yy} = 1.00$



en z:

$L_z = 4.93 \text{ m}$	$\lambda_{m,z} = 0.00$
$L_{cr,z} = 0.00 \text{ m}$	$X_z = 1.00$
$\lambda_{m,z} = 0.03$	$k_{yz} = 0.69$

FORMULES DE VERIFICATION:**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.4.(1))
$M_{y,Ed}/MN_{y,Rd} = 0.09 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
$M_{z,Ed}/MN_{z,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
$(M_{y,Ed}/MN_{y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{z,Rd})^{1.00} = 0.02 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))
$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.03 < 1.00$ (6.2.6.(1))

DEPLACEMENTS LIMITES

Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

Cas de charge décisif: $5 G+Q \cdot (1+2+3) \cdot 1.00$

$v_y = 0.1 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/300.00 = 1.6 \text{ cm}$

Vérifié

Cas de charge décisif: $5 G+Q \cdot (1+2+3) \cdot 1.00$

Profil correct !!!

Le rapport précédent conclut que le profil de la charpente est correct. Cela signifie que le poteau satisfait les exigences de conception et de résistance spécifiées par la norme et les chargements appliqués. Aussi le rapport de déplacement mentionné dans le calcul des structures en acier fait référence à la vérification des déplacements limites. Si en fin de la dernière partie du tableau, le déplacement vertical calculé (v_y) est de 0.1 cm, et la limite maximale permise ($v_{y \text{ max}}$) est de 1.6 (calculée comme $L/300$), et comme le déplacement calculé est inférieur à la limite, il est clair que le profil vérifie les critères de déplacement imposés par la norme.

V.4.2.2 Barres de Stabilité :

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1-1:2005/NA:2013/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des pièces*

FAMILLE:

PIECE: 71 ST_71
2.41 m

POINT: 7

COORDONNEE: $x = 1.00 L =$

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: $4 \cdot 1.35G + 1.5Q (1+2) \cdot 1.35 + 3 \cdot 1.50$

MATERIAU:

S 275 (S 275) $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 80x8

$h=8.0$ cm	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=17.0$ cm	$A_y=12.80$ cm ²	$A_z=11.52$ cm ²	$A_x=24.53$ cm ²
$t_w=0.8$ cm	$I_y=144.50$ cm ⁴	$I_z=331.39$ cm ⁴	$I_x=5.19$ cm ⁴
$t_f=0.8$ cm	$W_{ply}=46.57$ cm ³	$W_{plz}=67.72$ cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{Ed} = -598.36$ kN

$N_{t,Rd} = 674.70$ kN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION :

Contrôle de la résistance de la section :

$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.89 < 1.00$ (6.2.3.(1))

Profil correct !!!

Ce rapport de vérification $N_{Ed}/N_{t,Rd}$ qui est utilisé pour contrôler la résistance de la section des barres de stabilité. Ce rapport égale à 0.89, ce qui signifie que l'effort axial appliqué (N_{Ed}) représente 89% de la résistance ultime à l'effort $N_{t,Rd}$. ce rapport il est inférieur a 1.00 donc en peut dire que les barres de stabilités satisfait les exigence de résistance.

Conclusion :

En conclusion, le support (charpente) du silo composé des poteaux en profilé HE320B avec des barres de stabilité à été vérifiée pour la résistance au flambement en compression simple selon le principe du l'Eurocode. Les résultats de la vérification manuelle et de logiciel robot structural confirme et valident les résultats.

Chapitre VI :
Simulation et vérification par Ansys

Introduction :

Lorsque le ciment est stocké dans le silo, la pression exercée sur les parois du conteneur augmente en fonction de la hauteur du matériau stocké. A mesure que la pression augmente, les parois du silo sont soumises à des forces importantes qui peuvent entraîner des déformations excessives, des défaillances structurales ou même des accidents catastrophiques.

Donc la simulation numérique constitue un outil puissant pour étudier le comportement de ce silo. Dans ce chapitre on va utiliser ce logiciel de simulation Ansys (Workbench) pour un calcul de vérification des éléments les plus sollicités.

VI.2 Présentation de logiciel :

Ansys est un logiciel de simulation numérique qui offre une solution puissante pour l'ingénieur, il permet une simulation virtuelle pour l'essai et les études de comportement des produits manufacturés et produits en cours de développement, avec une précision et une fiabilité à toutes les étapes du processus de développement.

VI.3 Application sur Ansys :

Lorsque la simulation du silo, il est important de se concentrer sur les parties du silo où la pression est élevée (voir Tableau III.2 et Tableau III.3), ces pressions peuvent se produire en raison de la charge appliquée par la matière stockée.

Cette simulation nous permettra de comprendre comment ces parties du silo réagissent aux charges appliquées et de déterminer si elles sont capables de résister aux contraintes mécaniques induites.

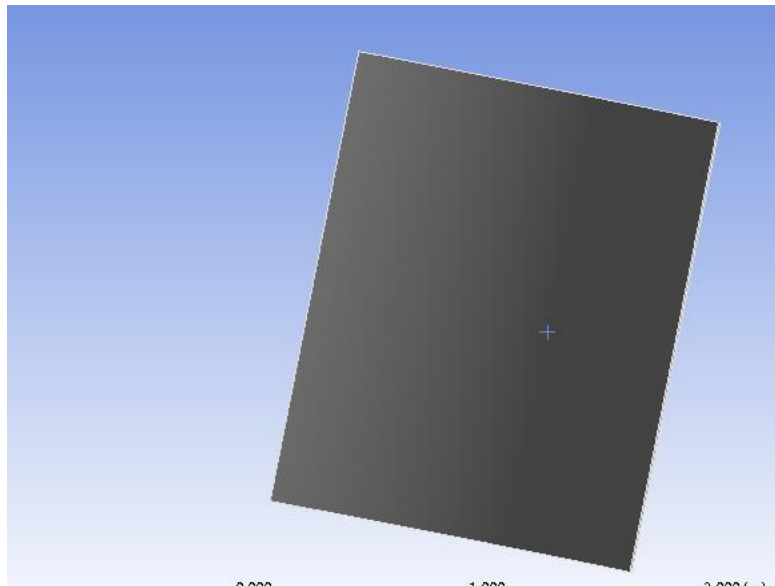
VI.3.1 Simulation de niveau 1 de la robe du silo :

Pour cette simulation on va suivre les étapes suivantes :

VI.3.1.1 Modélisation :

La modélisation elle est déjà faite à l'aide de SolidWorks donc on va juste convertir le fichier SolidWorks (voir Figure IV.6) sauf qu'on va prendre la plaque sans les cornières en fichier STEP (standard for exchange of Product data) 203, qui est une représentation neutre et standardisée des données de géométrie.

Donc dans la surface de Workbench (statique structural) en import la géométrie.



VI. 1 panneaux d'épaisseur 8mm

VI.3.1.2 Introduction des propriétés de matériau :

Le matériau utilisé est l'acier s275 jr (caractéristiques mécaniques du matériau (voir chapitre II) ces propriétés mécaniques décrivant le comportement d'un matériau.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	acier s275 jr				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

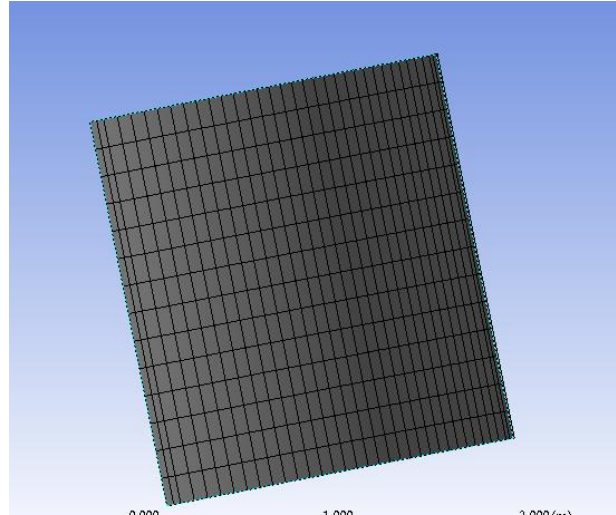
Properties of Outline Row 3: acier s275 jr					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
21	Interpolation	Log-Log			
22	Scale	1			
23	Offset	0	Pa		
24	Tensile Yield Strength	2,75E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,75E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,3E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	4,1E+08	Pa		

Figure VI. 1 propriétés de matériau

VI.3.1.3 Maillage :

Dans Ansys Workbench, la création et la gestion du maillage sont gérées par le module spécifique appelé 'meshing' (ou maillage). Le maillage est la discrétisation d'un modèle géométrique en un ensemble de petits éléments.

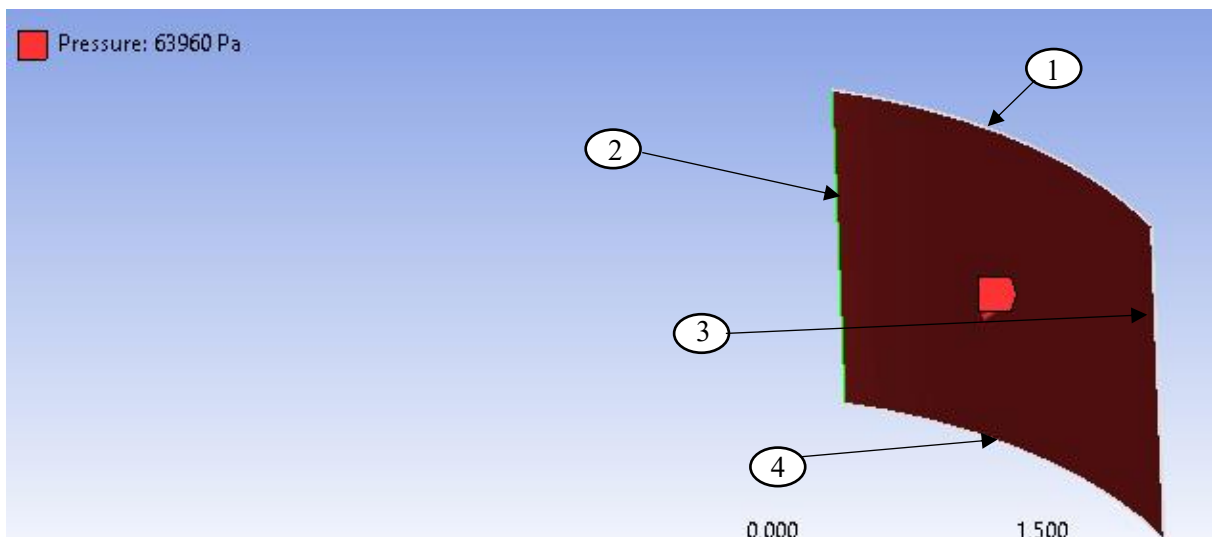
On lance l'opération de maillage automatique pour générer le maillage. Le logiciel va calculer automatiquement la distribution des éléments sur la géométrie, et qui nous a donné le résultat de maillage voir figure VI.3.



VI. 2 maillage de panneau 8

VI.3.1.4 Condition aux limites et chargement :

- **Fixation** : spécification des degrés de liberté (0 degré de liberté) donc encastré sur les 4 cotés (1,2,3,4) de la pièce.
- **Charge** : application de pression sur la surface intérieure du panneau $p=63960\text{pa}$

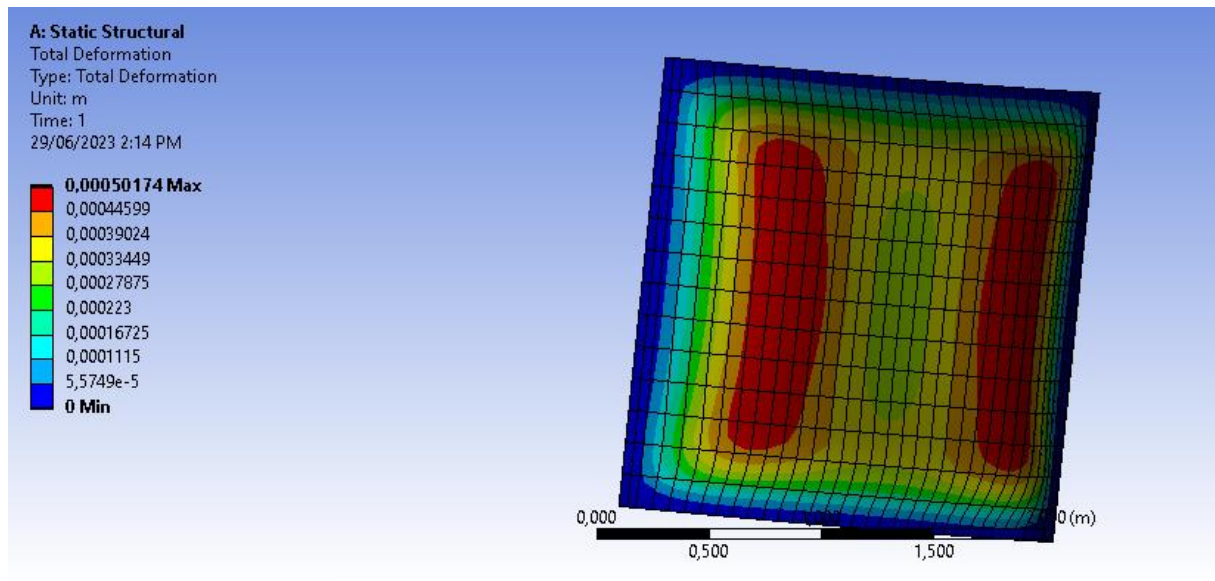


VI. 3 la pression appliquée sur le panneau 8

VI.3.1.5 Résultat :

- **Profil de déformation** :

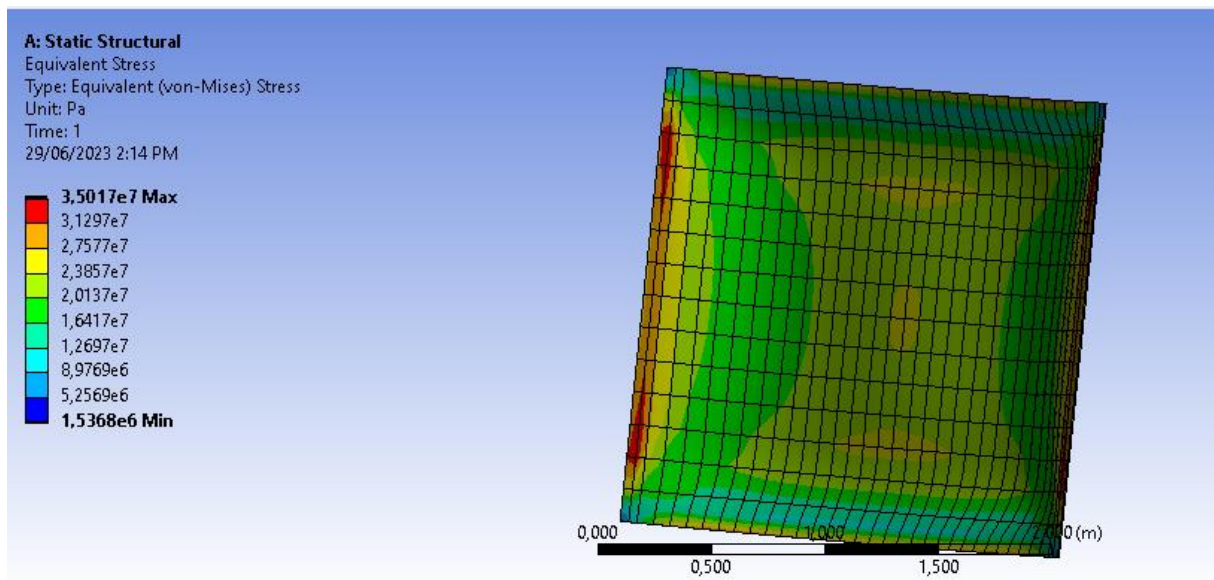
La déformation totale représente la variation de forme de la structure sous l'effet de pression appliquées elle est exprimée en pourcentage ou en unités de longueur



VI. 4 déformation totale du panneau 8

On remarque la distribution des déplacements est logique par rapport à la géométrie du panneau et conditions aux limites. D'autre part, le déplacement max est de 0.00050174 m, représentant moins de 1000mm (1m) qui est largement acceptable.

Contrainte von mises :



VI. 5 la contrainte von-mises de panneau 8

Les résultats de l'étude indiquant que la contrainte maximale dans les régions colorées en rouge est de 35.017Mpa, tandis que la contrainte admissible pour le matériau est de 165 Mpa.

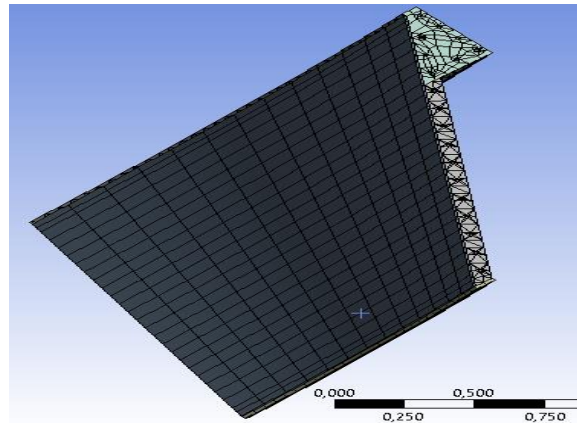
Donc on remarque que la contrainte maximale de 35.017 Mpa est largement en dessous de la contrainte admissible, ce qui signifie que le panneau résistee bien au chargement imposé.

La différence entre la contrainte maximale et la contrainte admissible est considérable, ce qui indique qu'il y a une marge de sécurité importante

VI.3.2 Simulation de partie 1 de la trémie :

Pour la simulation de cette pièce on va suivre les mêmes étapes de la pièce président

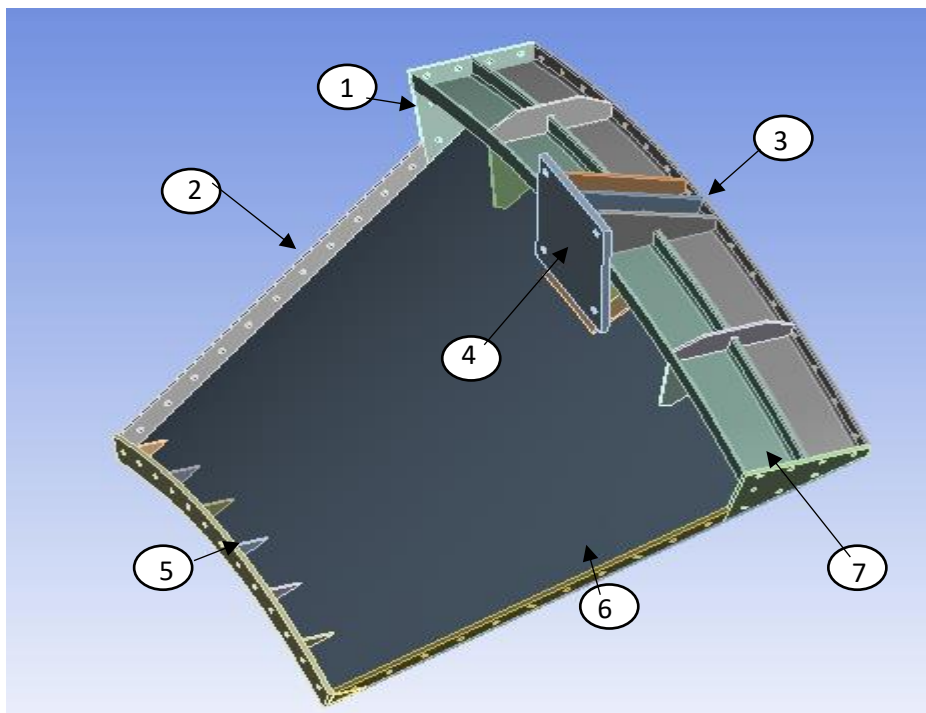
Maillage :



VI. 6 maillage de la partie supérieure de la trémie

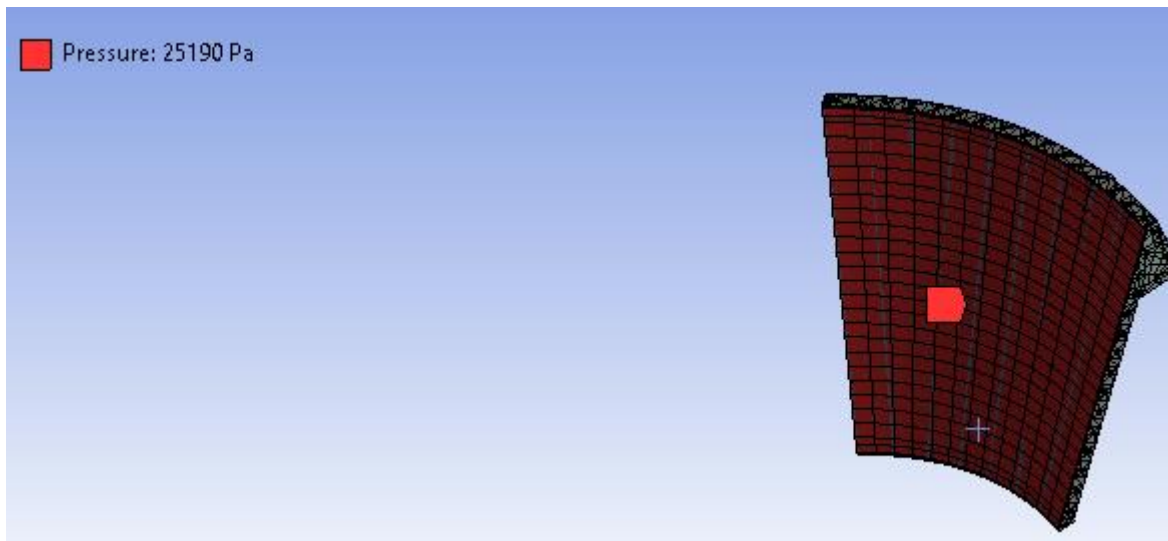
VI.3.2.2 Condition aux limites :

- **Fixation** : spécification des degrés de liberté donc en vas fixer les surface (1,2,2,4,5,6,7)



VI. 7 les surfaces fixes de la partie supérieure de la trémie

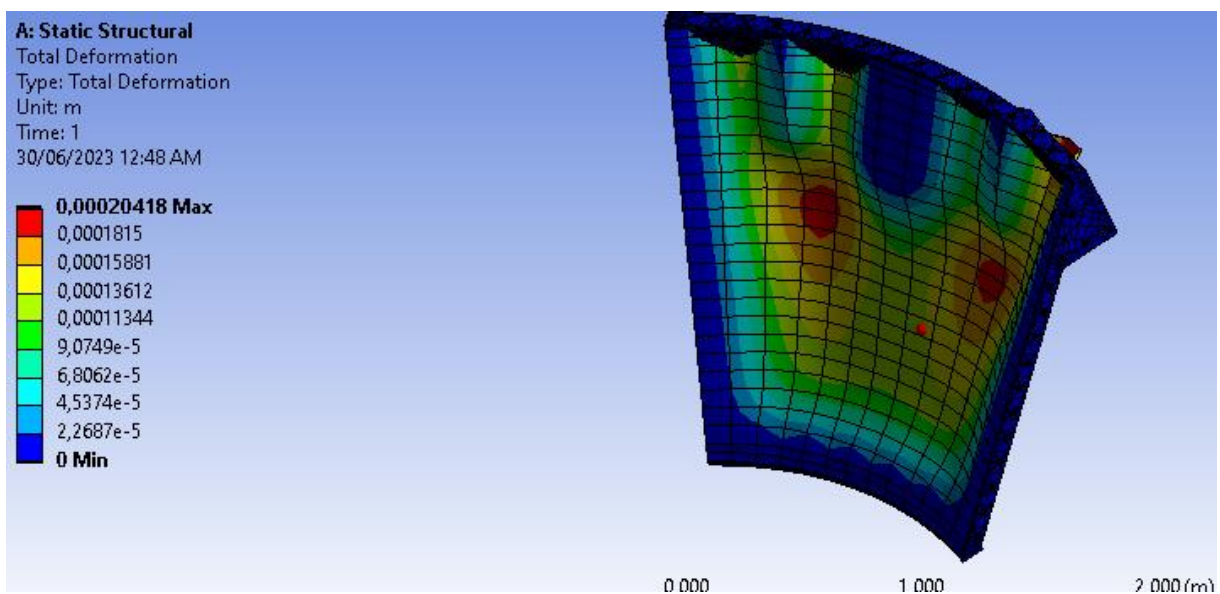
- **Charge** : application de la pression sur la surface intérieure du panneau $p=25190\text{Pa}$



VI. 8 la pression appliquée sur la surface intérieure

VI.3.2.3 Résultat :

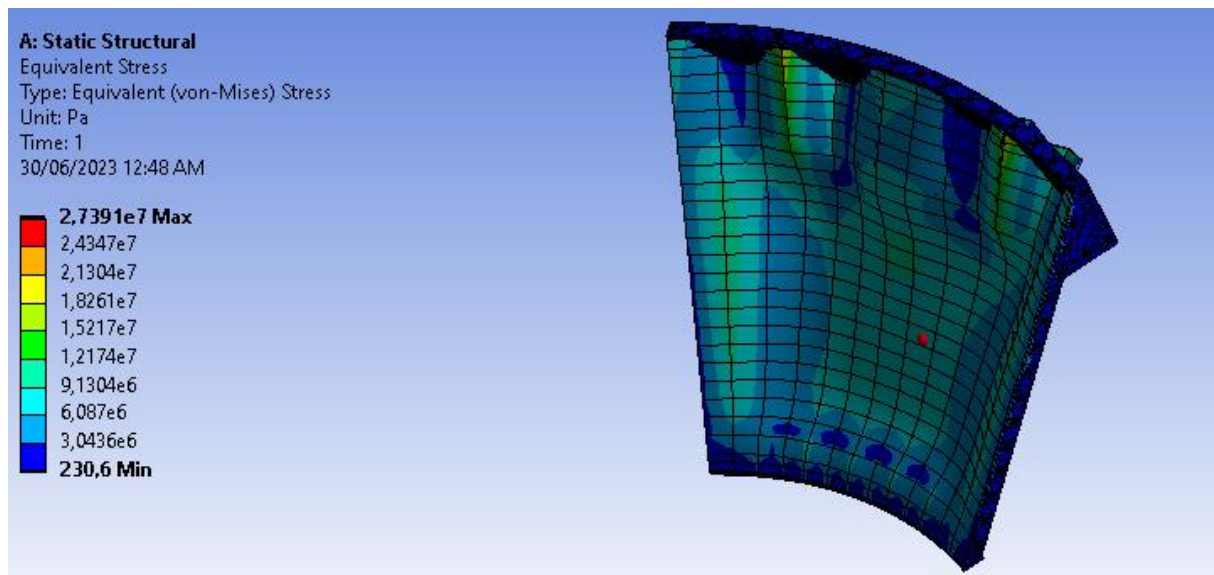
- **Déformation totale**



VI. 9 la déformation totale de la partie supérieure de la trémie

Les valeurs dans la figure VI.9 représente les déformations de la partie supérieure de la trémie sous l'effet de pression appliquée qui égale à 25190 Pa.

- Contrainte von mises



VI. 10 la contraintes von-mises de la partie supérieure de la trémie

D'après les résultats de l'étude, les zones du tronçon où les contraintes sont maximales sont représentées en rouge, avec une valeur maximale de 27391000pa, donc c'est 27.391 Mpa et tant que la contrainte admissible de matériau est de 165 Mpa, alors il est clair que le tronçon présente une résistance mécanique largement supérieure aux exigences.

Cela indique que le tronçon est capable de supporter les charges appliquées sans dépasser la limite de résistance du matériau Avec une marge de sécurité significative.

VI.4 Conclusion :

Les résultats obtenus utilisant le logiciel ansys démontrent la puissance de ce logiciel de simulation. Grâce à ces capacités avancées de calcul numérique. Les résultats obtenus peuvent fournir des informations précieuses pour la conception, l'optimisation et l'amélioration des produits et des processus

La résistance des différentes parties est garantie, la conception du silo est donc validée.

Conclusion générale

Généralement un projet de fin d'étude, est une étape supplémentaire d'apprentissage, après la formation théorique et les travaux pratiques durent le cursus de formation, qui peut nous permettre d'approfondir nos connaissances théoriques et de les confronter la avec la pratique.

Mais puisque notre projet est d'ordre industriel, cette étape est plus importance augmente plus, surtout que ce projet est réalisé en parallèle de notre stage pratique à l'entreprise Cr-Métal qui a une grande expérience dans la réalisation de ce type d'installation industrielle, à citer comme le cas étudié qui est le silo de stockage de ciment.

Nous avons abordé plusieurs aspects essentiels de l'étude approfondie de ce silo, en combinant des recherches bibliographiques, à l'étude technologique, aux calculs d'efforts exercés sur les parois, aboutissant à la conception assistée par ordinateur, jusqu'à la vérification structurale de la charpente et la simulation des panneaux du silo.

Ce projet nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de notre formation et de renforcer notre expertise dans le domaine de la construction métallique. Il nous a aussi permis de développer nos compétences techniques et pratiques en matière de conception et d'analyse de silos de stockage. Nous avons utilisé des outils tels que SolidWorks et Ansys Workbench pour créer des modèles 3D précis du silo et simuler les contraintes subies par ses panneaux.

L'objectif global de ce projet était de fournir une étude complète du silo de stockage de ciment, en prenant en compte les aspects théoriques et pratiques de sa conception et de sa performance. Nous espérons que ce modeste travail contribuera à une meilleure compréhension des silos de stockage, à être suffisant pour l'utilisateur de cette installation (silo), et qu'il soit un support utile et fiable pour d'autres étudiants qui s'intéressent à ce type de projets.

Tout projet limité par le temps laisse des points non éclairés. Donc, en perspectives on espère enrichir cette étude, en ce qui concerne de tenir en compte des efforts dynamiques, et surtout l'effet du vent sur l'installation.

Référence

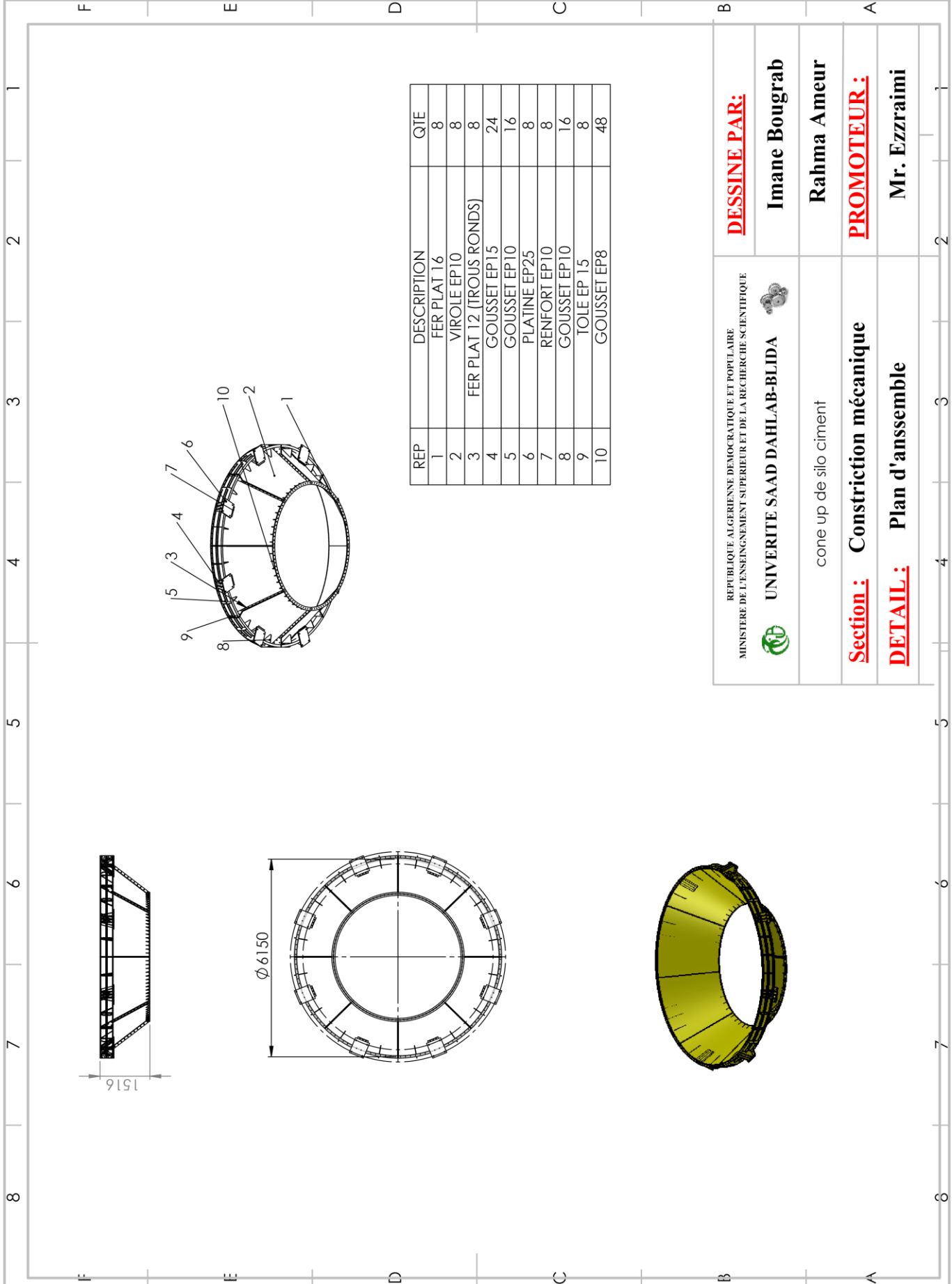
- [1] : Louetri Latifa, contribution a la modélisation numérique du comportement des silos a termie lors du remplissage et de la vidange, master gène civile, université de Annaba, année 2009.pdf [page 20]
- [2] : Les silos # 1 – Introduction générale – #LefersavoirduCTICM (metaletech.com). [en ligne]
- [3] : site web : chap2 silos métalliques |PDF| la nature(scribd.com).[en ligne]
- [4] : khmida Nabil, étude de vérification d'un silo métallique, master 2 construction mécanique, année 2014. Pdf [Page 5]
- [5] : SILOS À FOND CONIQUE | SIMEZA. [En ligne]
- [6] : silo. Wikipédia [en ligne] ,mise a jour le 18 décembre 2022 Silo (stockage) — Wikipédia (wikipedia.org).
- [7] : AGRI MAKER : tout en un prenez la main ! (agri-maker.com).[En ligne]
- [8] : khmida Nabil, étude de vérification d'un silo métallique, master 2 construction mécanique, année 2014.pdf [Page 13]
- [9] : Silos carrés : principaux avantages | Storage Project Solutions (spssilos.com). [En ligne]
- [10] : Wikipédia. [en ligne]
- [11] : site web : www.perspectives agricoles.com/file/galleryelement/pj/fb/ba/ad/1e/292_8939279170326907674.pdf. [en ligne]
- [12] : aquaportail.com/definition-6732-silo.html. [en ligne] mise à jour le 13/10/2022
- [13] : khmida Nabil, étude de vérification d'un silo métallique, master 2 construction mécanique, année 2014. Pdf [Page 16]
- [14],[15] : <https://silosuperieur.com/silos/silos-en-douve-de-beton>. [En ligne]
- [16] : Silos monolithiques | SAMI S.r.l. [en ligne]
- [17] : Silo Monolithique SAI-SAL-SAV - Silos Revolution. [En ligne]
- [18] : Un bref historique du développement du silo en acier (steel-silo.com). [En ligne]
- [19] : [/fr.wikipedia.org/wiki/Silo_%C3%A0_ciment](https://fr.wikipedia.org/wiki/Silo_%C3%A0_ciment). [en ligne]
- [20] : www.directindustry.fr/prod/cepi-spa/product-94921-2341943.htm. [en ligne]
- [21] : www.techni-contact.com/actualistes/avantages-silos-stockage. [en ligne]
- [22] : www.mvtplant.com/fr/produits/silo-a-viroles/. [en ligne]

- [23] : processs.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=1120. [en ligne]
- [24] : https://fr.made-in-china.com/tag_search_product/Steel-Silo_rsynngn_1.html. [en ligne]
- [25] : www.cchst.ca/oshanswers/prevention/ventilation/aircleaning.html. [en ligne]
- [26] : www.r-m.it/fr/produits/dispositifs-de-securite-pour-silos/. [en ligne]
- [27] : wamgroup.fr/fr-FR/WAMFR/Product/VCP/Soupapes-de-controle-de-pression-a-ressorts?s=594. [en ligne]
- [28] : www.sinexindustrie.com . [En ligne]
- [29] : solutions-silos-et-vannes ATI export (approvisionnement technique internationale) industrie BTP. [PDF page 3]
- [31] : megacentralesbeton.com/définition-du-silo-a-ciment. [En ligne]
- [32] : notech.franceserv.com/materiau-acier-en-construction-metallique.html. [En ligne]
- [33] : reliable pipes and tubes Ltd (Equivalence Tables Construction Steel). [PDF]
- [34] :: antelis-steel.com/construction-métallique. [En ligne]
- [35]: italfaber.it/fr/caract%C3%A9ristiques%2C-propri%C3%A9t%C3%A9s-et-utilisations-de-l%27acier-s275jr/. [En ligne]
- [36] : www.jansensanddieperink.com/fr/silos-soudes. [En ligne]
- [37] : https://fixation.emile-maurin.fr/custom/images/rtf/chapitre-4-choix-un-assemblage-boulonne-fix_chap-lmod4.pdf
- [38] : <https://accu-components.com/fr/p/345-6-raisons-pour-lesquelles-les-boulons-deviennent-laches-5-methodes-de-prevention>
- [39] : <https://www.coden.be/differences-panneaux-profiles-sandwich-et-bac-acier.html>
- [40] : <https://www.rona.ca/fr/materiaux-de-construction/revetements-exterieurs/panneaux-ondules>
- [41] : <https://www.maghrebpanneaux.com/profils-nervures.php>
- [42] : <http://www.bordjsteel.dz/categorire-des-produits/panneaux-sandwichs/7-panneaux-sandwiche-bardage.html>

- [43] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Corrosion>
- [44] : Mr baraka Abdelhak : cours charpente métallique 1 selon règlement algérien C.C.M.97 et l'Eurocode 3 page 83 . [Livre]
- [45] : pierre bourrier et jacques bronzette : construction métallique et mixte acier-béton ; tome 1. Calcul dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4. Edition Eyrolles 1996- France. [Livre pdf]
- [47] : L'aurocode 1 partie 4 (En 1991-4). [PDF page 5]
- [49] : article : métaletech(silo)#4-4.2 comportement de la matière ensilée (2/3) - #lefersavoir du CTICM [30 octobre 2022s]. [PDF]
- [50] : <https://www.dlubal.com/fr/support-et-formation/support/base-de-connaissance/001399>
- [51] : L'aurocode 1 partie 4 (En 1991-4 :1995). [pdf page 19]
- [52] : Td exemples de calcul des silos. Faculté du Génie de la Construction S3 M2 Académique (Option CM). [pdf page 6]
- [53] : designe of steel bins for storage of bulk solids de l'auteur Michael McBride[2004].[livre page 4]
- [55]: simulation comportementale, présentation de logiciel SolidWorks, BTS AMCR lycée Bel Air février 2019. [PDF page3]
- [56]: rapport finale, guide pour la conception et l'exploitation de silo de stockage de produits agro-alimentaire mai 2000. [pdf]
- [57]: Raïçal Ranfhani, le flembenet selon l'aurocode 3, january2013, université libre tunis page4.[pdf]

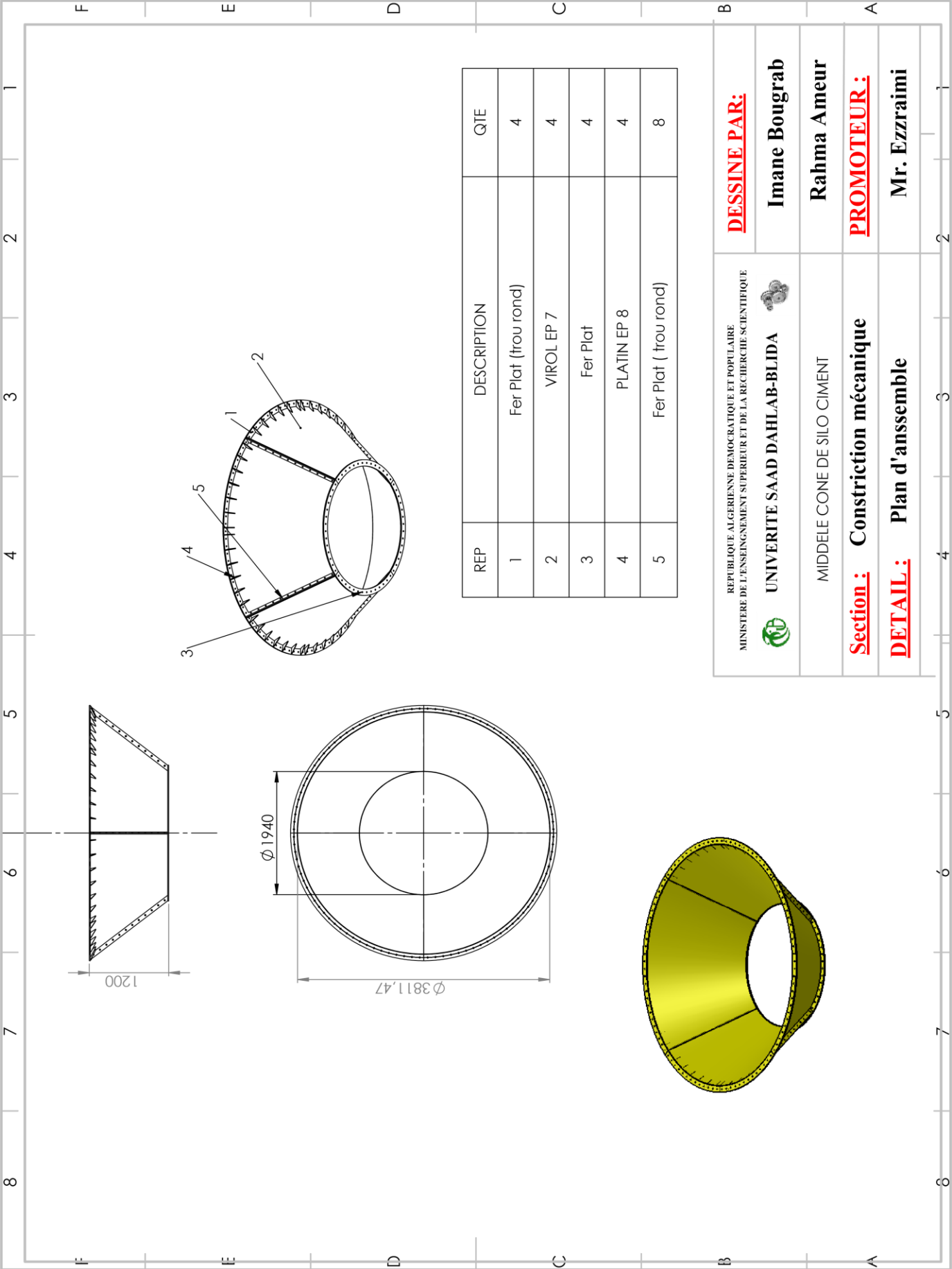
Annexe

La présente annexe contient la mise en plane des éléments de silo réalisés à l'aide du logiciel de conception assisté par ordinateur SolidWorks. Ces dessins ont été établis dans le but de fournir une représentation précise et complète des différentes pièces composant le silo



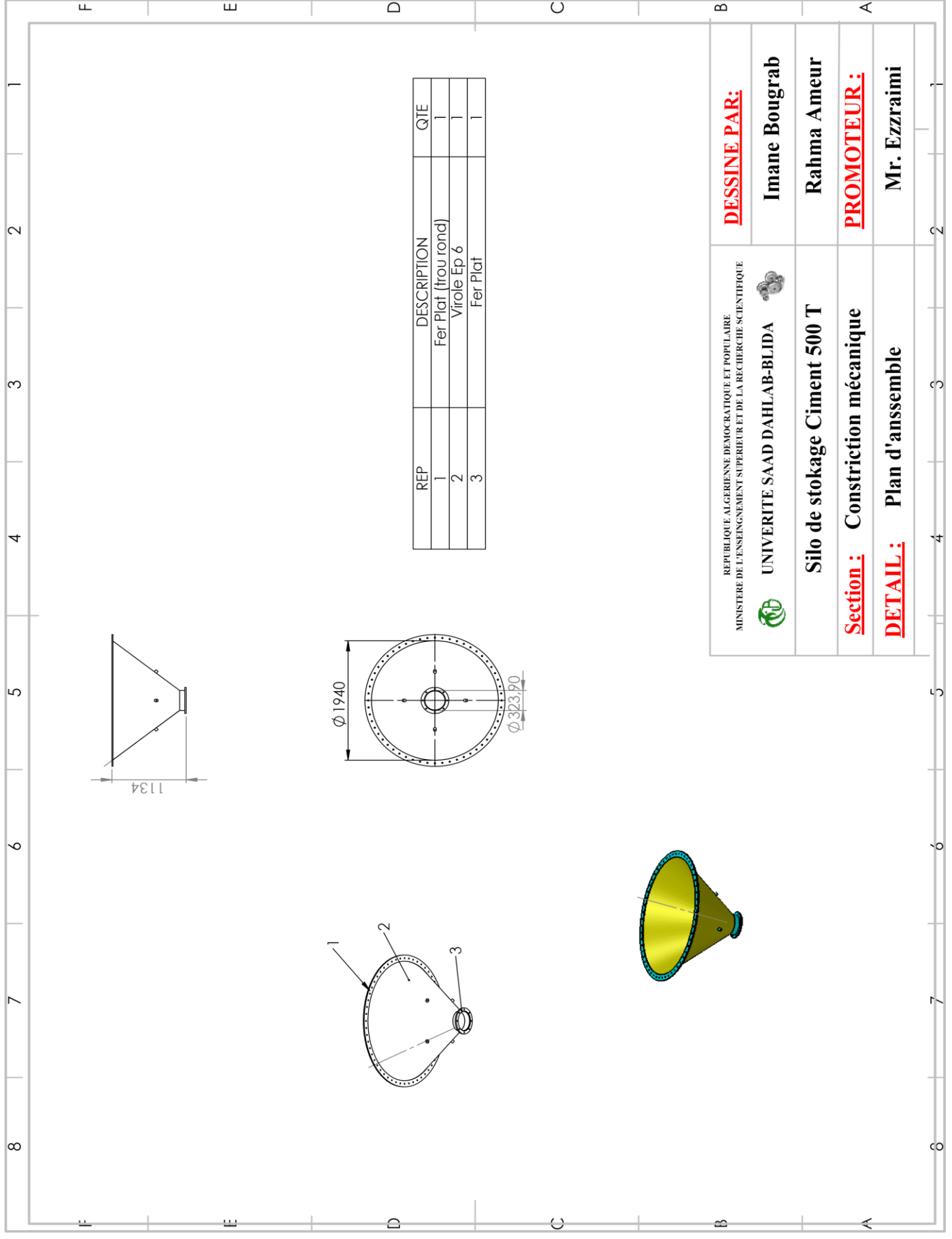
REP	DESCRIPTION	QTE
1	FER PLAT 16	8
2	VIROLE EP10	8
3	FER PLAT 12 (TROUS RONDS)	8
4	GOUSSET EP15	24
5	GOUSSET EP10	16
6	PLATINE EP25	8
7	RENFORT EP10	8
8	GOUSSET EP10	16
9	TOLE EP 15	8
10	GOUSSET EP8	48

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE		UNIVERITE SAAD DAHLAB-BLIDA 
cone up de silo ciment		DESSINE PAR: Imane Bougrab
Section: Constriction mécanique		PROMOTEUR: Rahma Ameur
DETAIL: Plan d'ensemble		Mr. Ezzraimi




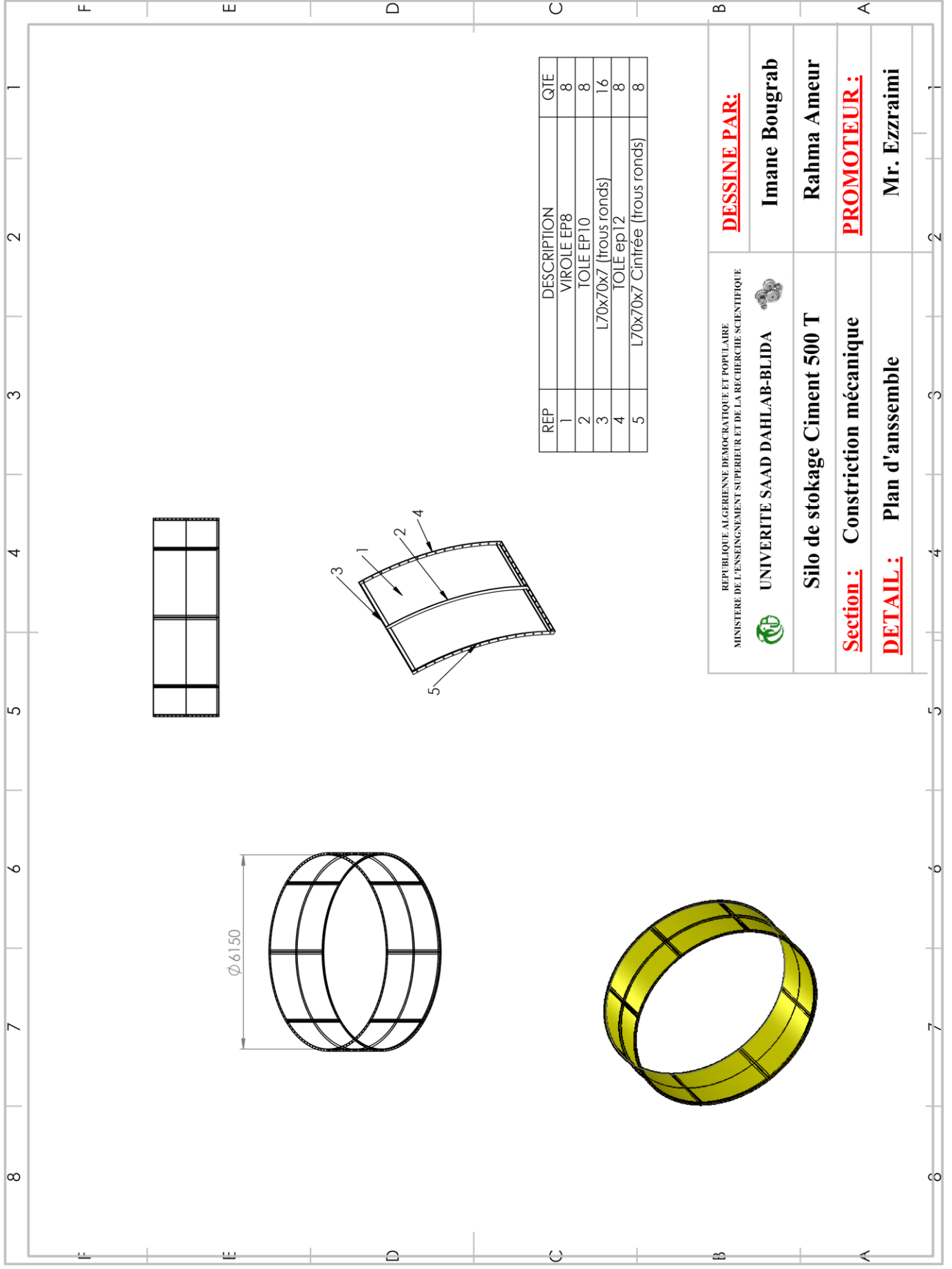
REP	DESCRIPTION	QTE
1	Fer Plat (trou rond)	4
2	VIROL EP 7	4
3	Fer Plat	4
4	PLATIN EP 8	4
5	Fer Plat (trou rond)	8

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA	DESSINE PAR: Imane Bougrab
	PROMOTEUR: Rahma Ameer
MIDDELE CONE DE SILO CIMENT	Section: Constriction mécanique DETAIL: Plan d'ensemble
	Mr. Ezzraimi





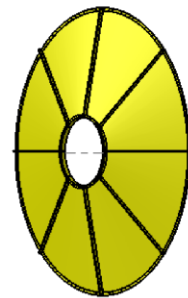
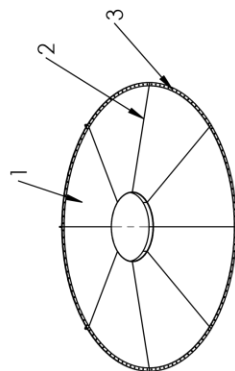
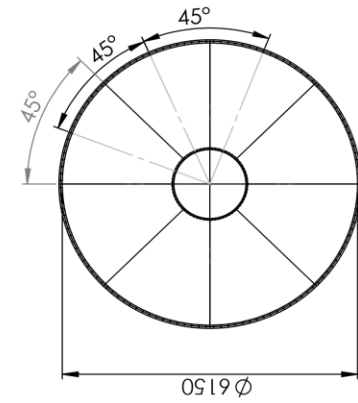
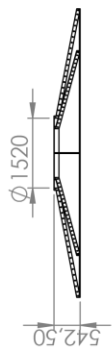
REP	DESCRIPTION	QTE
1	Fer Plat (trou rond)	1
2	Virole Ep 6	1
3	Fer Plat	1

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE		<u>DESSINE PAR:</u> Imane Bougrab	
 UNIVERITE SAAD DAHLAB-BLIDA		<u>PROMOTEUR:</u> Rahma Ameur	
Silo de stokage Ciment 500 T		<u>Section :</u> Constriction mécanique	
<u>DETAIL :</u> Plan d'asemble		Mr. Ezzraimi	



REP	DESCRIPTION	QTE
1	VIOLE EP8	8
2	TOLE EP10	8
3	L70x70x7 (trous ronds)	16
4	TOLE ep12	8
5	L70x70x7 Cintrée (trous ronds)	8

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE		UNIVERITE SAAD DAHLAB-BLIDA	
			
Silo de stockage Ciment 500 T		DESSINE PAR:	
Section : Constriction mécanique		Imane Bougrab	
DETAIL: Plan d'ensemble		PROMOTEUR:	
Mr. Ezzraimi			



REP	DESCRIPTION	QTE
1	Panneau ep 5	8
2	Fer Plat	8
3	Trou Rond	352

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA



DESSINE PAR:

Imane Bougrab

Rahma Ameer

PROMOTEUR:

Mr. Ezzraimi

Toit de silo ciment

Section: Constriction mécanique

DETAIL: Plan d'ensemble