



Université de BOUMERDES  
Faculté DES Hydrocarbures  
et de la chimie

# Simulation Aérodynamique et Mécanique d'une colonne de Distillation à l'aide de SolidWorks

FERKHI Haroun  
ZEHOUF Mohamed el Amine

Mécanique des Unités Pétrochimique

Promoteur : SAHNOUN Khaled

UNIVERSITE DE BOUMERDES  
FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE  
DEPARTEMENT DE TRANSPORT ET EQUIPEMENTSPETROLIERS  
2015/2016

# 1 DESCRIPTION DU CPF DE BBK(BIR BERKINE)

## Avant propos:

Pour développer les capacités de production des champs d'exploitation pétrolière dans le sud de l'Algérie, la compagnie Sonatrach a procédé au développement des champs de Bir Berkine et Bir Berkine Nord, situés dans les blocs 404 B et 403 dans le bassin de Berkine .

A la sortie du gisement l'huile est inutilisable en l'état. Elle contient une quantité variable d'autres composants dont certains sont impropres au transport vers les raffineries. Donc il faut « traiter » l'huile. Le présent manuel a pour objet la description du nouveau Centre de traitement d'huile qui se trouve à Bir Berkine Nord (CTF BBKN), une localité située à 200 Km environ à nord-est d'Hassi-Messaoud (Erg oriental)

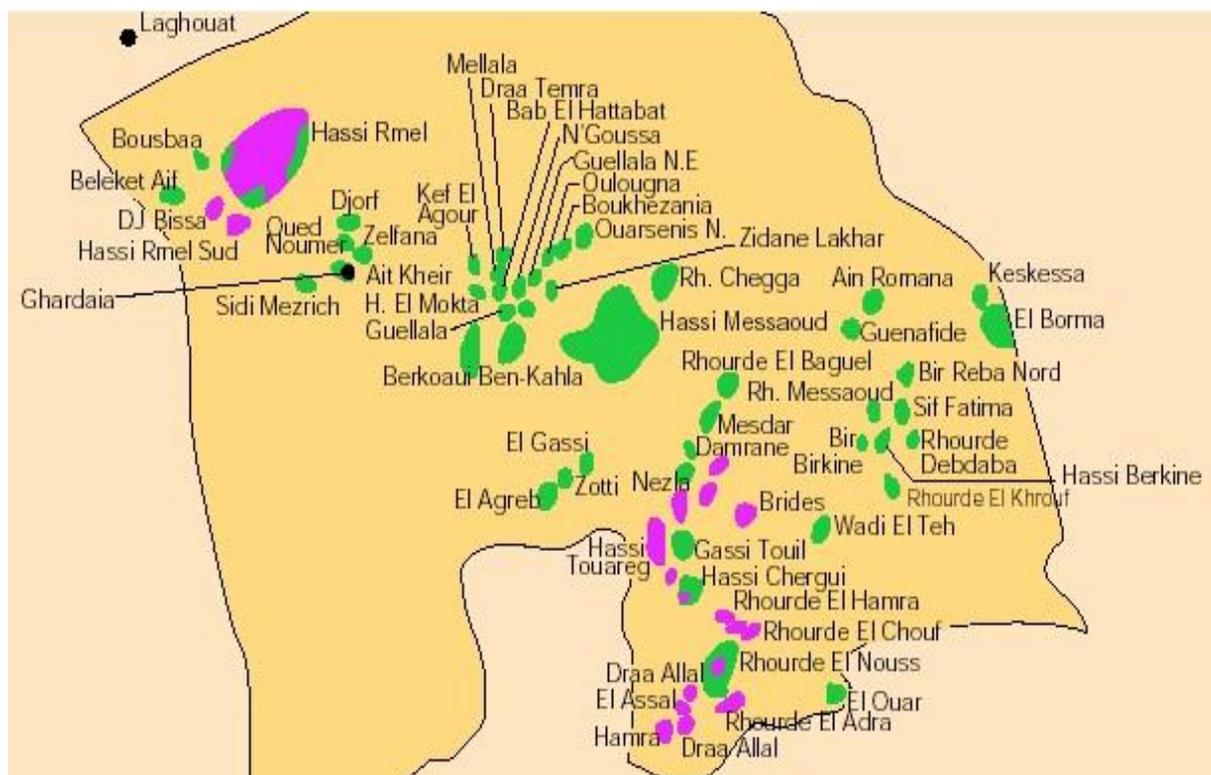


Figure 1.1 : Les champs de production huile en Algérie

## 1 Description générale du centre de traitement huile CPF BBK :

L'installation, qui fait l'objet de ce chapitre, donc traite le brut extrait des puits de BBK et BBKN. Le traitement d'huile c'est l'ensemble des opérations permettant de purifier l'huile brute extraite du gisement pour obtenir un produit propre au transport. On prévoit la mise

en place d'un ensemble des réseaux de « récolte » huile, d'un centre de traitement d'huile, d'un pipeline (oléoduc) de transfert huile, d'un autre pipeline d'expédition du gaz (gazoduc) excédentaire, d'un réseau eau d'injection et des unités auxiliaires. Les puits situés à Bir Berkine et à Bir Berkine Nord produisent 25.000 BPJ d'huile environ. Le brut sera stabilisé et successivement accumuler dans des réservoirs à toit flottant; enfin il est pompé vers PKO en utilisant le pipeline pour OH3 (Hassi Berkine).

Le gaz naturel qui sort avec le brut du puits ou qui se sépare durant les différentes phases du procédé sera comprimé, desséché et ensuite utilisé comme gas-lift<sup>1</sup>; la fraction restante sera exportée vers CPF de Hassi Berkine Nord.

L'eau de formation qui accompagne le brut sera déshuilée et, si nécessaire, intégrée avec de l'eau albienne; ensuite, cette eau sera filtrée et pompée vers les puits pour y être « injectée ». On peut énumérer les simples opérations qui permettent les procédés, ci-dessus décrits, de la façon suivante:

- Séparation et dessalage.
- Stabilisation du brut.
- Compression gaz.
- Dessiccation gaz.
- Stockage des fluides combustibles.
- Pompage produit fini.
- Implantation de production des fluides accessoires et autres utilités.

Cette unité de traitement est dimensionnée de façon q'on peut traiter une quantité d'huile correspondant au cas "max liquide occurrence", c'est à dire à la production maximale des puits. La flexibilité de fonctionnement de cette unité est comprise entre 40% et 120% de la production opérationnelle.

On a divisée la station en plusieurs unités:

- Unité 100: Traitement du brut, du gaz et stockage
- Unité 200: Torches, eau incendie, traitement eaux, drainages
- Unité 300: Eau albien, brute et d'injection
- Unité 400: Air comprimé, combustibles et diesel
- Unité 500: Têtes de puits et transport brut champ BBK
- Unité 600: Têtes de puits et transport brut champ BBKN
- Unité 700: Pipeline d'exportation gaz
- Unité 900: Pipeline d'exportation huile

La figure suivante représente très bien l'essence de ce projet

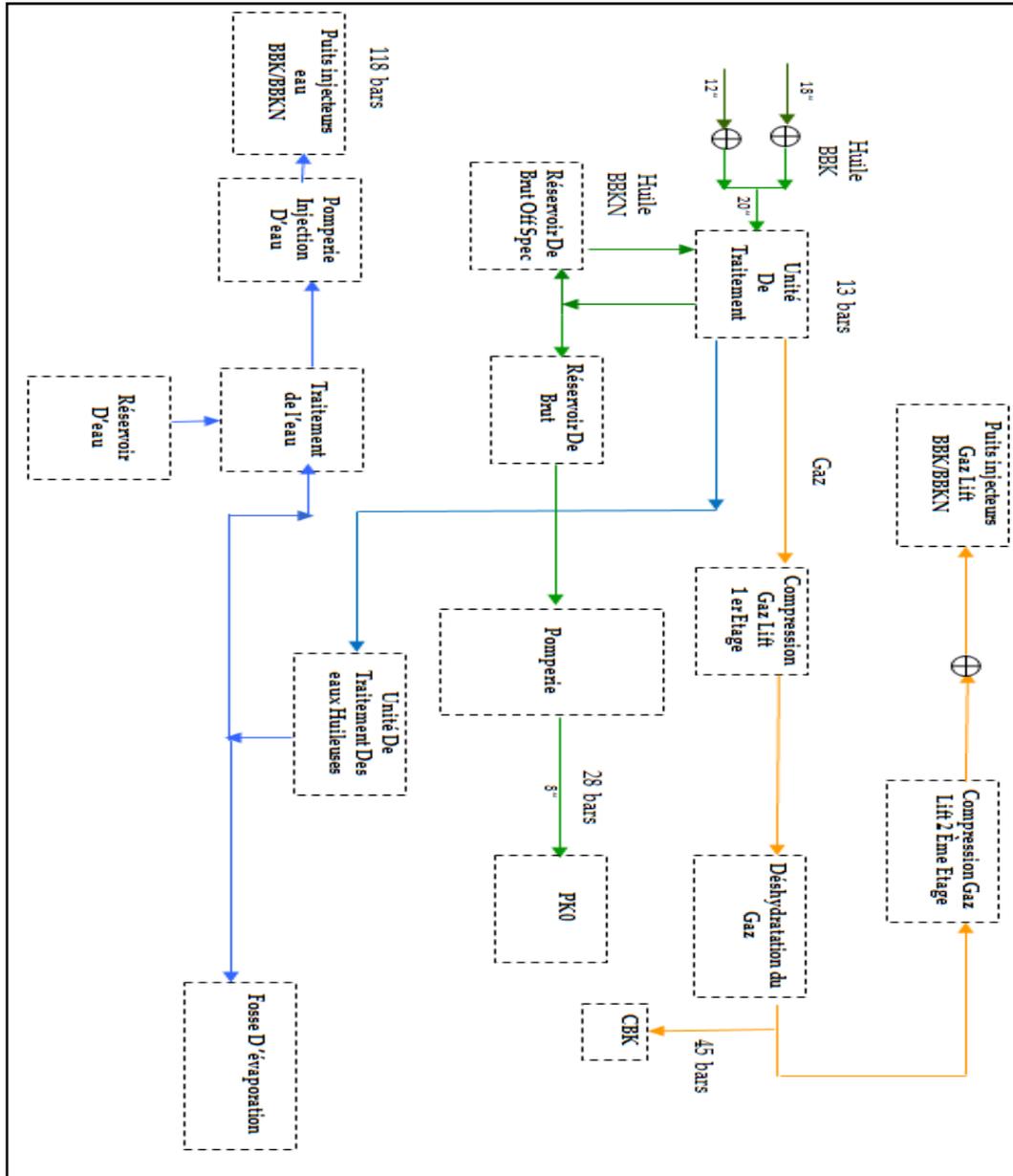


Figure 1.2 : Traitement d'huile des champs de BBK / BBK

1.1 Description de L'Unité 100 : Traitement du brut, du gaz et stockage :

L'unité 100 est l'unité de procédé et comprend :

- Séparation et dessalage.
- Stabilisation du brut.
- Bacs de stockage.
- Bac off specification.
- Compression gaz de procédé K101.
- Compression gaz lift.
- Déshydratation du gaz.
- Régénération de glycol.
- Additifs chimiques.

### 1.1.1 Séparation et dessalage :

L'huile provenant du manifold de production est envoyée vers le premier séparateur V-101, qui fonctionne à une pression de 13 barg, où il subit une séparation entre Huile, eau et gaz. On envoie de l'eau de lavage dans le dessaleur pour diminuer la concentration du sel. En entrée est prévue l'injection du desémulsifiant. Une ligne a été prévue pour décharger de l'huile vers bac off spec.

Les purges seront envoyées vers le drainage fermé. La partie huile est envoyée vers le deuxième séparateur V-102. Le gaz est envoyé à l'unité de compression du gaz lift. L'eau de formation est envoyée à l'unité de traitement des eaux huileuses.

L'huile provenant du séparateur V-101 est préchauffé à contre courant avec de l'huile stabilisée dans l'échangeur E-102. L'huile provenant du V101 passe côté tube et l'huile stabilisée côté calandre.

Pour maintenir une température de sortie huile brute de l'échangeur d'environ 50°C sont prévues des vannes de contrôle de température qui fonctionnent en Split range. Avant l'échangeur sera prévue une injection de désémulsifiant et eau de lavage.

L'huile provenant de E-102 est envoyée vers le séparateur V-102, qui fonctionne à une pression de 11 barg, où il subit une nouvelle séparation entre l'huile et gaz. L'huile est envoyée ensuite vers le dessaleur V-103 qui fonctionne à une pression de 9.5 barg. La salinité d'huile sortie dessaleur sera inférieure à 40. L'injection de l'eau albien vers le dessaleur par la pompe GA-315A/B sera d'environ 7,5-10% vol d'huile, une partie de l'huile sortie de dessaleur sera recyclée et mélangée avec de l'eau fraîche, à l'entrée du dessaleur. L'eau est mélangée à l'huile brute par une mixing vanne LXV 1057. Le débit d'eau recyclé est assuré par la pompe GA-104A/B.

Le gaz du séparateur V-102 et dessaleur V-103 est envoyé vers le compresseur de procédé K-101.

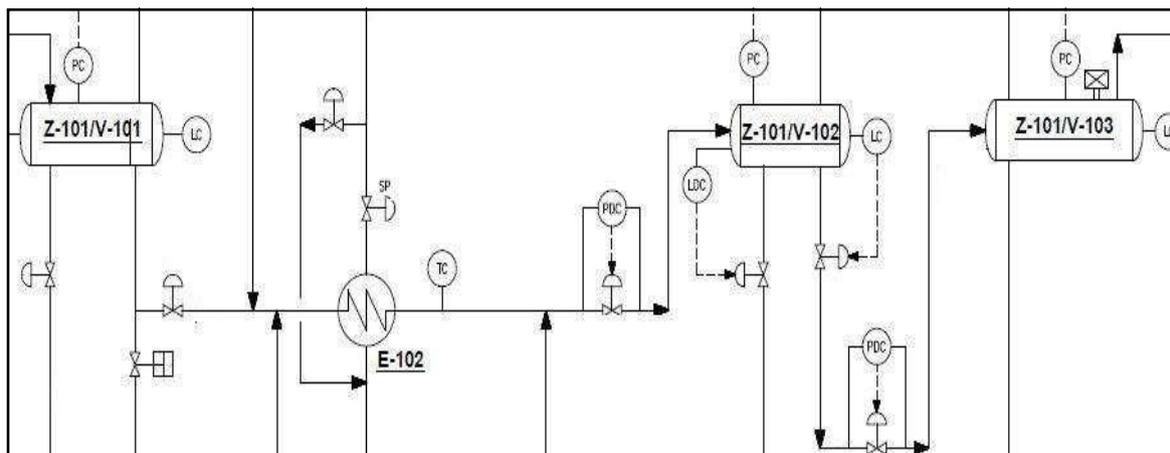


Figure 1.3: separation et dessalage du brut.

#### Séparateurs de production :

L'huile provenant du manifold production est envoyée vers le séparateur de production première étage Z-101/ V-101, où il subit une triple séparation: huile, eau et gaz.

Le réservoir horizontal V-101 est un réservoir sous pression, 13 barg, longueur 10,5 m et diamètre 3,5 m. Il est conçu à l'intérieur avec des cloisons verticales qui ont la fonction de séparer les trois phases. Sur le fond du réservoir se rassemble une phase aqueuse constituée en prévalence par l'eau de formation. Le réservoir est protégé par des soupapes de sûreté, des alarmes de haute pression et de haut niveau.

L'eau de formation est envoyée à l'unité de traitement des eaux huileuses. Le débit d'eau est Contrôlé par le niveau d'eau dans le séparateur, l'indication d'eau est transmise par LIC-1003 en salle contrôle. si le niveau de l'eau va monter, le contrôleur doit ouvrir la vanne pour rendre favorable le débit du liquide.

Le ballon est conçu avec cinq prises d'échantillonnage pour vérifier le niveau électif de l'interface eau-huile et la présence d'émulsions.

Le gaz est envoyé à l'unité de compression; pour éviter l'entraînement de la phase liquide, on a prévu un séparateur. Le gaz est dirigé aussi vers V-432 comme gaz combustible.

L'huile provenant d'E-102 est envoyée vers le séparateur tri-phasique V-102, qui fonctionne à une pression de 11 barg, où il subit une nouvelle séparation: huile, eau et gaz.

Le réservoir horizontal V-103 c'est un réservoir sous pression, 9,5-10 barg, longueur 6,3 m et diamètre 3,05 m. Sur le fond de ce réservoir se rassemble une phase aqueuse, constituée en Prévalence par l'eau de formation. Le réservoir est protégé par des soupapes de sûreté, des alarmes de haute pression et de haut niveau. Aux entrée de dessaleur est prévue une vanne de mélange DPV-1004 au but de favoriser la dispersion de la phase aqueuse dans la phase huileuse. La perte de charge est environ 1,5 bar.

Le transformateur de 25 KVA se ferme automatiquement par LSSL-1014 (LDSH), formation du gaz dans le dessaleur.

Le dessaleur Z-101/V-103 est de type électrostatique. Le contenu de NaCl dans l'huile en sortie du dessaleur sera inférieur à 40 ppm en poids.

L'huile en amont d'entrée dans le dessaleur est mélangée avec l'eau albienne au moyen d'une valve de contrôle; le débit d'eau est (7,5-10 %) vol. d'huile. L'eau qui émerge du dessaleur sera recyclée par la pompe GA-104 A/B.

La sécurité du dessaleur est assurée par les seuils de pression (très haute) et niveau (très haut), qui ferment l'alimentation du dessaleur. Les pompes GA-104A/B sont pompes centrifuges horizontales, avec la capacité 22m<sup>3</sup>/h et la pression de refoulement 15 barg.

Le dessaleur doit séparer les dernières gouttelettes d'eau, en les faisant coalescer à travers un champ électrique. L'eau recueillie sur le fond du réservoir et sera éloignée par les pompes GA104A/B. Le niveau de l'eau sera maintenu à travers une boucle « en cascade » (LIC-1015), qui sélectionne FIC-1009 et agisse sur la FV-1009 et FIC-1006. Cette boucle règle le débit d'eau albienne de lavage, provenant de GA-315A/B, agissant sur la FV-1006.

### 1.1.2 Stabilisation de brut :

L'huile sortante du dessaleur constitue l'alimentation à la colonne de stabilisation C-101, Une partie de la charge alimente la tête de colonne comme alimentation froide,

l'autrepartie constitue l'alimentation chaude au niveau du 16ème plateaux après d'être préchauffé par l'échangeur E-101A/B jusqu'à 137°C

La colonne de stabilisation est conçue pour produire de l'huile stabilisée conforme aux spécifications 0,48 barg cas été, et 0,700 barg cas hiver .La pression de la colonne est de 5,5 barg en tête et 5,7barg au fond .La température au fond est d'environ 185°C.

Le type de plateau est à clapets et au nombre de 32.

Le rebouillage se fait par un rebouilleur à gaz combustible F-103 à circulation forcée avec les pompes GA-107A/B. Les pompes sont dimensionnées pour un débit de 432m<sup>3</sup>/h. Le four est de type cylindrique avec une chaleur échangée de 4,8\*10<sup>6</sup> Kcal/h

La température sortie four est de 207°C et le fluide sortie four est en phase mixte avec un pourcentage de vaporisation de 10%.

L'huile stabilisée est envoyée vers le stockage après refroidissement dans les échangeurs E-101A/B, E-102 et l'aéro réfrigérant EA-101.

L'aéro réfrigérant est de type forcé, la température sortie est inférieure à 55°C cas été et de 45°C cas hiver.

En cas ou les caractéristiques de l'huile stabilisée ne sont pas conformes aux normes prescrits la production peut être envoyée vers le ballon V-150 puis vers bac off spec.

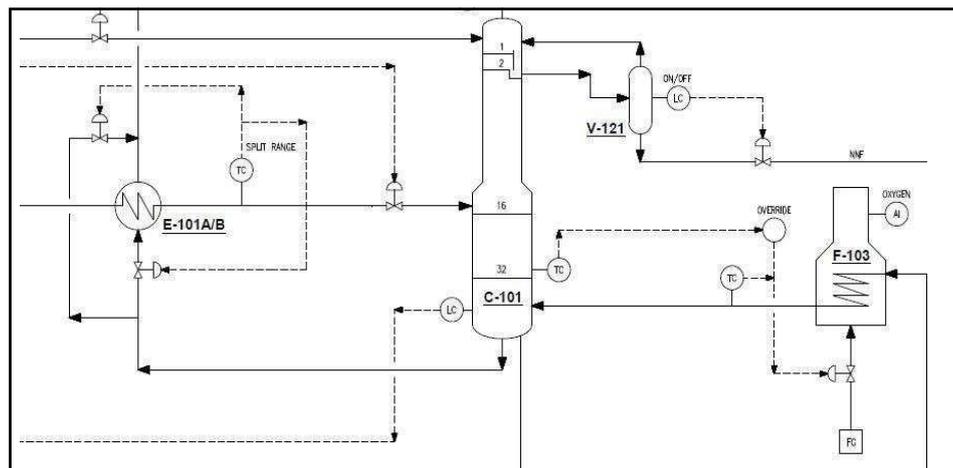


Figure 1.4:stabilisation du brut

- **La colonne de stabilisation :**

La colonne de stabilisation, diamètre 1,2/1,8 m (tête/fond) est calculée sur la base d'une pression de vapeur (Reid) du brut stabilisé pareille à 0,48 bar abs. Pendant l'été et de 0,70 Bar abs pour la condition hivernale. La pression interne de la colonne est de 5.5 barg à la tête et 5.7 barg au fond; la température au fond résulte approximatif 185°C.

Le type de plateau sera "à clapets" ; un numéro de 32 plateaux sera prévu, équivalents à 8 étages théoriques (efficacité 25%). A la tête de la colonne on peut extraire les produits volatils; une partie des vapeurs est dirigée vers un condenseur tandis que l'autre partie est envoyée vers le compresseur de récupération K-101.

Le pied de la colonne est réchauffé en utilisant une fraction de l'huile stabilisée; cette huile est recoulée dans la colonne après réchauffage dans le four F-103.

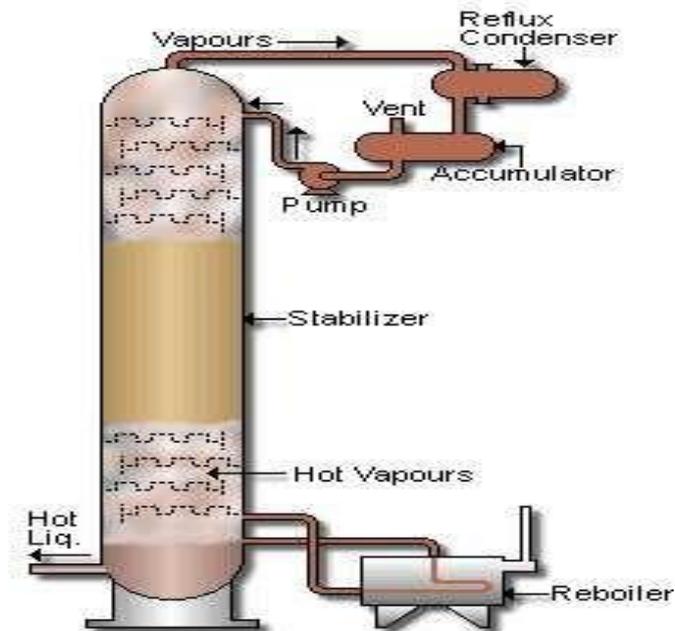


Figure 1.5:schema de la colonne de stabilisation

- **Le four de reboillage :**

Le reboillage se fait avec un reboilleur noyé à gaz combustible (F-103), à circulation forcée (Avec les pompes GA-107A/B). Les pompes sont dimensionnées pour un débit volumétrique de 432m<sup>3</sup>/h. Le four est de type cylindrique avec une capacité (chaleur échangée) de 4,8x10<sup>6</sup> Kcal/h.

Le contrôle du four est réalisé avec un contrôleur de température en sortie du four ou par contrôleur de température de 15-ième plateau de la colonne. La température en sortie du four est de 207 °C (environ) et le fluide quittant le four c'est une phase mixte .Il a deux bancs indépendants d'échange, dans lesquels on doit passer le même débit.

Le débit de gaz aux brûleurs est réglé par des contrôleurs: ces contrôleurs reçoivent aussi un point de tarage externe. L'air de combustion du four est réglé par le tirage naturel du chemin.

### 1.1.3 Bacs de stockage T-101A/B :

L'huile stabilisée refroidie est stockée dans des bacs à toit flottant, chacun avec une capacité de 5000 m<sup>3</sup> .Un bac en production et un autre est en expédition.

L'huile des bacs de stockage est expédiée vers le centre de stockage au PK0 via les pompes GA-103A/B.Les pompes d'expédition du type à barel avec une pression de refoulement de 29,5 barg et un débit de 168m<sup>3</sup>/h.

### 1.1.4 Bac off spécifications :

Cette unité reçoit de l'huile provenant des systèmes en défaut pendant l'arrêt du système des drains fermés et celles récupérés dans les différentes parties de CPF, en plus elle peut recevoir l'huile provenant du séparateur V-101 si le niveau de ce ballon est très élevé. L'unité comprend:

- Un séparateur de récupération d'huile V-150

- Un séparateur de gaz V-117
- Un bac de stockage T-102
- Deux pompes de recyclage GA-102A/B.

Le séparateur de récupération de l'huile est un ballon horizontal reçoit de l'huile provenant des systèmes de drainage fermé et celle récupérés des eaux huileuses des séparateurs Z - 241, des torches, peut aussi recevoir les produits hors spécifications de l'unité traitement .Le gaz qui se sépare est envoyé vers torche MP.

Le bac de stockage T-102 est à toit fixe de capacité 1500 m<sup>3</sup>.La pression de calcul est de 1,66barg.

L'eau de séparation est envoyée vers traitement des eaux huileuses.

Le gaz du séparateur V-117 est un gaz boot pour la séparation de gaz.

Le produits hors spécifications est recyclé vers V-101 par des pompes centrifuges GA-102A/B .Les pompes sont dimensionnées pour un débit de 24 m<sup>3</sup>/h.

#### **1.1.5 Compression gaz de procédé K-101 :**

La compression de gaz procédé comprendra un compresseur centrifuge .Le compresseur sera alimenté avec le gaz provenant de la tête de la colonne C-101 et les séparateurs V-102/V-103.

Le compresseur est dimensionné pour un débit maximal de 6070 Sm<sup>3</sup>/h, pression d'aspiration minimal de 4,8barg et pression de refoulement de 13 barg.

Le compresseur est équipé d'un ballon d'aspiration V-105 et un ballon de refoulement

#### **1.1.6 Compression de gaz lift :**

La compression gaz comprendra deux étages de compression :

- Le premier étage de compression de 10,8 barg à 46 barg. Le débit maximal est de 61400 Sm<sup>3</sup>/h. Le gaz d'alimentation proviendra du compresseur de procédé et du séparateur V-101.
- Le deuxième étage de compression est de 43 barg à 133 barg.

Chaque train de compression premier étage K-103/A/B sera équipé de ballons d'aspiration V-108A/B, ballons de refoulement V-109A/B et Aéroréfrigérant EA-104A/B. Chaque train de compression deuxième étage K-104/A/B sera équipé de ballons d'aspiration V-110A/B, ballons de refoulement V-111A/B, Aéroréfrigérant EA-105A/B.

Les compresseurs sont entraînés par des moteurs électriques de puissance 8,5MW.

Le refoulement de premier étage de compression est acheminé vers l'unité de déshydratation.

#### **1.1.7 Déshydratation :**

L'unité de déshydratation se fera au tri éthylène glycol (TEG) dans la colonne C-102 à une pression de 45 barg et une température de 65°C en été et 45°C en hiver.

Le gaz des ballons de refoulement V-109A/B est envoyé vers un collecteur qui l'achemine vers la colonne C-102 ,dans la colonne, le glycol rencontre le gaz à contre-courant et absorbe l'eau contenue dans le gaz,le gaz sortant de la tête de la colonne C-102 est envoyé vers le deuxième étage du compresseur gaz lift ou il sera prévu un piquage pour le fuel gaz , le gaz

excédentaire est exporté vers la centrale électrique CBK avec un débit maximale de 408.000 Sm<sup>3</sup>/jour.

Le glycol riche récupéré au fond de la colonne est envoyé vers l'unité de régénération.

Tous les drainages d'huile sont collectés vers le ballon V-251, ballon de drainage fermé. Tous les drainages du glycol sont collectés vers le ballon V-133, ballon de drainage glycol.

L'unité de déshydratation du glycol est dimensionnée pour traiter jusqu'à 121018 Sm<sup>3</sup>/h de gaz naturel ayant les conditions de fonctionnement suivantes:

- Pression: 45 barg
- Température: 45°C – 65°C
- Teneur en eau: Saturé
- Spécification du Gaz Sec (point de rosée): En hiver: 0°C à 138 barg
- En Eté: 15°C à 138 barg

### 1.1.8 Régénération glycol :

L'unité comprend :

- Condenseur à Reflux E-131
- Ballon de Détente du Glycol V-131
- Filtre à Charbon du Glycol FB -132
- Filtres à Cartouche du Glycol FB -131 A et B
- Echangeur glycol Pauvre/Riche E-132
- Colonne de régénération Glycol C-131
- Ballon Tampon du Glycol V-132
- Pompes de circulation du Glycol GA-132 A et B
- Un réservoir de stockage de glycol T-131

Le glycol riche est préchauffé dans le condenseur à reflux de glycol E-131 puis envoyé vers un ballon de détente V-131 à une pression de 3,5 barg ou les gaz sont envoyée vers la torche BP .Le glycol provenant du V- 131 est filtré dans les deux filtres à cartouches FB-131A/B, puis dans un filtre à charbon FB -132, réchauffé dans l'échangeur E-132 et envoyé sous contrôle de niveau dans le régénérateur de glycol C-131 .Ici l'eau est séparée du glycol au moyen d'un réchauffage avec un rebouilleur à gaz combustible ,chaleur fournie environ 420 000Kcal/h

Le glycol à 99.0% laisse le Rebouilleur et il est envoyé au Ballon Tampon V-132, puis passe à travers un échangeur E-132 ou il est refroidit avec le glycol riche, est repris par les pompes GA-132A/B pour être envoyer vers la colonne de déshydratation C-102.

Le réservoir de stockage de glycol T-131 sera prévu pour un volume de 30 m<sup>3</sup>, avec "blanketing" à l'azote et équipé de deux pompes GA-134A/B.

### 1.1.9 Additifs chimiques :

Dans l'unité traitement d'huile les additifs chimiques sont injectés :

- Désémulsifiant (réservoir T-103, pompes GA-105A/B) en amont du séparateur v-101 et en amont de l'échangeur E-102

- Inhibiteurs de corrosion (réservoir T-104, pompes GA-106A/B) en amont de V-105 et en amont de V-108A/B

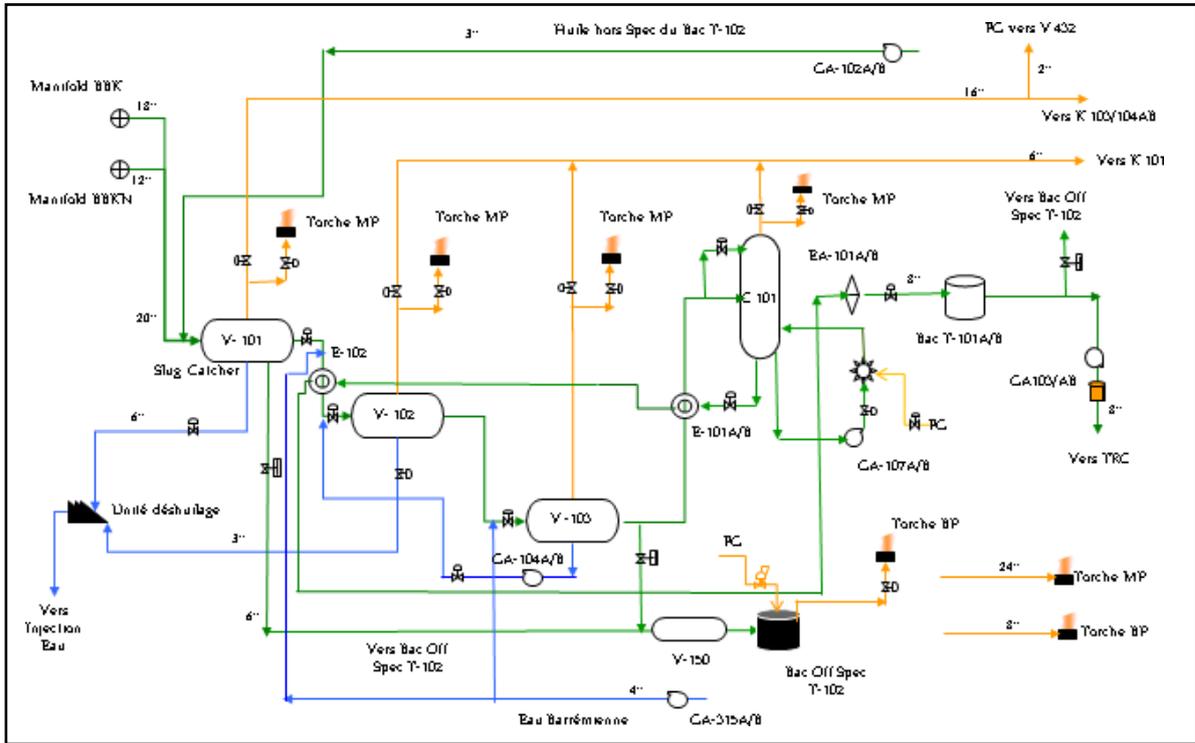


Figure 1.6: l'unité 100

**1.2 Description de L'Unité 200 : Torches, eau incendie, traitement eaux, drainages**

L'unité 200 comprend:

- Traitement des eaux huileuses
- Drainages
- Réseau torches
- Réservoir et pompes d'eau incendie

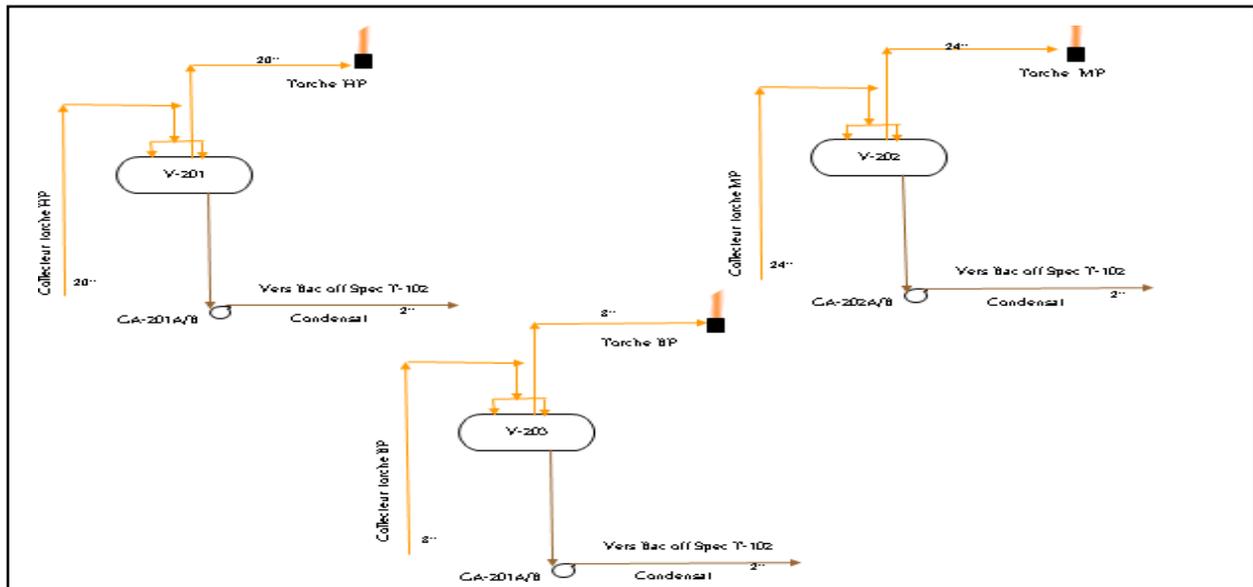


Figure 1.7: l'unité 200

### 1.2.1 Traitement des eaux huileuses :

Les eaux résiduaire contiennent des quantités variables d'hydrocarbures, présents à l'état libre en solubilité de partage ou en émulsion plus ou moins importantes.

Les suivants équipements déchargent eau résiduelle directement dans le ballon des eaux huileuses V-241:

- V-101 Séparateur de production (première étage) : eau de formation
- V-103 Séparateur dessaleur
- V-121 Séparateur d'eau (voir la colonne de stabilisation brute)
- GA-248 Pompes de drainages ouverts

Ce mélange d'eaux sera additionné avec un produit coagulant injecté par l'unité )-310.

Le ballon V-241 c'est un réservoir sous pression, de capacité 43 m3, pression de service intérieure environ 1,5 bar.

L'eau huileuse est dirigée vers le séparateur V-242. On sépare l'huile dans un séparateur aux plateaux lamellaire appelé CPI31 qui se trouve dans un réservoir.

Le séparateur V-242 est un réservoir horizontal de diamètre 1800mm longueur 3700mm. La pression intérieure est 1 bar. La capacité du séparateur est 67m3/h.

L'huile séparée dans le CPI se dirige vers la fosse des eaux huileuses V -250, l'eau est envoyée à l'unité de flottation IGF posée à l'intérieur d'un bac V-243. La capacité est de 67m3/h.

Le réservoir V-243 est un réservoir horizontal de diamètre 1500mm et la longueur 6800mm. Dans l'unité' de flottation la turbulence induite dans le liquide cause la formation des bulles de gaz que pendant la phase de retour à la superficie entretenant les gouttes d'huile en dispersion.

Le système d'agitation est réalisée avec eductors. La pression du fuel gaz disponible dans le collecteur principal est 3,5 bars environ.

Sur la tuyauterie, à la sortie de l'IGF, est installé un analyseur du contenu d'huile dans l'eau AI-2004, si le contenu est supérieur aux limites établies, l'eau sera envoyée à la fosse V -249. La quantité d'huile récupérée est comptabilisée au moyen de 4 indicateurs de flux (FI).

A la sortie de l'unité IGF l'eau traitée est livrée au moyen des pompes centrifuges GA -240 A/B au réservoir T-301. Leur capacité est 107 m<sup>3</sup>/h, la pression de refoulement est 5,7 bars. Si nécessaire, pour le contrôle du niveau une part du débit est retournée à la Fosse V-249 au moyen d'un system de contrôle.

### 1.2.2 Stockage et pompage de l'eau incendie :

Le système de pompage eau incendie est très important pour la sécurité de la station.

Le réseau eau anti-incendie se compose des éléments suivants:

- Un bac de stockage anti-incendie T-211 de capacité 6000 m<sup>3</sup> suffisant pour douze heures d'opération.
- Groupe de pompe jockey pour maintien la pression GA-213 A/B. Leur capacité est 20 m<sup>3</sup>/h, la pression de refoulement est 7 bars.
- Groupe de pompes principales: une pompe à entraînement électrique GA-211 et une pompe à entraînement diesel GA-212. Leur capacité est 500 m<sup>3</sup>/h, la pression de refoulement est 13 bars.
- Réseau à maille arienne.
- Systèmes à mousse.

### 1.2.3 Drainage :

Le système de drainage se compose d'un drain fermé et un drain ouvert.

- Drainages fermés:

Tous les drains de production (huile) sont récupérés dans le drain fermé, qui sera conçu de façon à permettre l'écoulement par gravité vers le ballon de drainage fermé V-251. Le ballon est un réservoir sous pression, capacité 34 m<sup>3</sup>, pression 1,5 bar.

De ce ballon le produit est transféré vers le bac huile hors spécification T-102 avec les pompes GA- 251A/B.

Les pompes sont à immersion; le débit est 10 m<sup>3</sup>/h et la pression de refoulement est 6 bars environ.

- Drainages ouverts:

Les drainages des réservoirs de stockage T-101 A/B, T-102 et tous les drainages des autres capacités sont acheminés par gravité vers la fosse de relevage eaux huileuses V-249 avec une capacité de 50 m<sup>3</sup>, à travers les lignes enterrées.

Au moyen de la pompe GA-249 A/B, l'eau huileuse est envoyée vers V-241 pour être récupéré.

L'eau de lavage huileuse est acheminée vers le séparateur API )-243 au moyen d'un réseau enterré. Après la séparation, l'eau contient une quantité maximale de 50 ppm d'huile; elle est récupère dans la fosse V-252 et envoyée vers la fosse d'évaporation B-201 via les pompes GA-252 A/B/C/D. La capacité de ces pompes est 33 m<sup>3</sup>/h.

L'huile séparée par l'écumeur d'huile est récupérée par gravité dans la fosse V-250 et envoyée par la pompe GA-250 vers V-150.

#### 1.2.4 Réseau torche :

Le réseau comprend:

- Le réseau torche "haute pression" CB-201 prends en charge les événements du dernier étage de la compression du gas-lift et l'unité déshydratation du gaz. Le collecteur, décharge dans un ballon tampon V-201 de capacité 45m<sup>3</sup> pression 0,26 bar. Le liquide récupéré (huile) est envoyé par les pompes GA-201 A/B vers le réservoir de brut hors spécification ou vers la fosse de brûlage. La capacité de chaque pompe est 7 m<sup>3</sup>/h. Le gaz se dirige vers la torche haute pression CB-201.
- Le réseau torche "moyenne pression" prends en charge les événements des unités de traitement d'huile, les événements des compresseurs de premier étage en condition de "flaring" opérationnel et d'urgence (ESD). Le collecteur décharge dans un ballon tampon V-202 de capacité 45m<sup>3</sup>, pression 0,2 bar. Le liquide récupéré (huile) est envoyé par les pompes GA-202 A/B vers le réservoir de brut hors spécification ou vers la fosse de brûlage. La capacité de chaque pompe est 7 m<sup>3</sup>/h. Le gaz se dirige vers la torche moyenne pression CB-202.
- Le réseau torche « basse pression », prends en charge les événements continus gaz de respiration de réservoirs de stockage et l'événement continu du gaz de stripping de la colonne de régénération du glycol. Le collecteur décharge dans un ballon tampon V-203 de capacité 45m<sup>3</sup> pression 0,2 bar. Le liquide récupéré (huile) est envoyé par les pompes GA-203 A/B vers le réservoir de brut hors spécification ou vers la fosse de brûlage. La capacité de chaque pompe est 7 m<sup>3</sup>/h. Le gaz se dirige vers la torche de basse pression CB-203.
- La fosse de brûlage CB-204 collecte le liquide provenant des ballons de torches V-201/202/203, de la fosse V-250 de la pompe GA-250, du ballon de slop des drains fermés GA-251A/B

### 1.3 Description de L'Unité 300: Eau albien, brute et d'injection.

L'unité 300 comprend:

- Traitement de l'eau d'injection
- Eau service
- Additifs chimiques

#### 1.3.1 Traitement de l'eau d'injection :

L'eau extraite du puits BBKNH1 est filtrée dans les filtres à cyclone FB-301A/B/C et stockée dans les bacs T-302 et T-301

Le bac T-302 d'une capacité 100 m<sup>3</sup> alimente le dessaleur V-103 par les pompes GA-315A/B. Les pompes d'eau pour dessaleur, GA-315 A/B, sont des électropompes centrifuges horizontales avec une capacité de 18 m<sup>3</sup>/h et une pression de 15,1 bars.

Le bac T-301 de capacité 1500m<sup>3</sup> reçoit de l'eau de l'unité traitement d'eau et du puits BBKNH1, du T-301 l'eau est envoyée au package des filtres FB-302A/B et FB 302C/D via les pompes GA-302A/B pour être aspirer par les pompes d'injection GA-303A/B et refoulé à une pression de 120 barg vers les puits d'injection du champ BBK/BBKN .la capacité des pompes d'injection est de 164m<sup>3</sup>/h

L'eau de lavage pour les filtres FB3-02A/B sera l'eau traitée, accumulée dans le bac T-320 et sera envoyée vers les filtres par les pompes GA-320 A/B.

### **1.3.2 Eau brute :**

L'eau moi-piocene est extraite du puits par la pompe GA-360 et envoyée à travers les filtres FB-360A/B au bac V-360. Le débit de la pompe est 50 m<sup>3</sup>/h et une pression de 09bar.

Le ballon d'eau brute V-360 a une capacité de 23 m<sup>3</sup>, une pression intérieure atmosphérique Les pompes de circulation eau brute GA-361 A/B sont des électropompes centrifuges horizontales avec un débit de 10 m<sup>3</sup>/h et une pression en refoulement de 3,9 barg.

L'eau brute filtrée est utilisée comme "eau de service". Elle est envoyée à travers un réseau de 2" vers:

- Bâtiments:de contrôle, électrique, administrative, poste de garde, atelier,
- Pompes: GA-302A/B, GA-303A/B, GA-240A/B et GA-104A/B.
- Systèmes HVAC (Systèmes de réchauffage, ventilation, air conditionnée)
- Systèmes lave-yeux: au dehors du bâtiment électrique et près les stations d'injection additives chimiques.

### **1.3.3 Additifs chimiques :**

- Bactéricide (T-303, pompes GA309A/B), à l'aspiration des pompes d'injections d'eau
- Inhibiteurs de corrosion (T-311, GA 311A/B), à l'aspiration des pompes d'injections d'eau
- Désoxygénant (T-313, pompes GA-313A/B, à l'aspiration des pompes d'injections d'eau
- Antitartre (T-312, pompes GA 312A/B), à l'aspiration des pompes d'injections d'eau et à l'entrée du séparateur V-101
- Coagulant (T-310, pompes GA-310A/B), à l'entrée du ballon d'eau huileuse V-241

## **1.4 Description de L'Unité 400: Air comprimé, combustibles et diesel**

L'unité 400 est l'unité d'auxillaires et comprend:

- Air instrument, air service et azote
- GAZ OIL
- GAZ COMBUSTIBLE
- Stockage Gasoil et essence
- Groupe électrogène de secours

**1.4.1 Air instrument, air service et azote :**

Cette unité comprendra :

- Un compresseur Atlas Copco rotatif à vis, actionné par un moteur électrique, modèle GA160-10 avec pré-filtre Donaldson adapté pour des milieux poussiéreux (item K-401 A).
- Un réfrigérant air/air Atlas Copco modèle TD650 (item AE-401) en aval du compresseur GA-160.
- Un moto compresseur Atlas Copco modèle XAHS 460 Md actionné par un moteur diesel Mercedes (item K-401 B).
- Un sécheur d'air COES modèle HLN 85/S Package, avec tout les pré et post-filtres (item DR-401 A/B).
- Des filtres d'air FB-403 A/B/C/D).
- Un tableau électrique général de distribution et interface avec instrumentation / compresseur /sécheur / DCS (item Z-401 PD).
- Un ballon de réserve d'air instrument V-401 pour l'air instrument et production d'azote.
- Un ballon de réserve d'air service V-403.
- Un ballon de réserve d'azote V-402.

L'unité de production d'azote du type à membrane a une capacité de production d'azote 100 Nm<sup>3</sup>/h (d'azote au 97%). La pression de service est 6.8 barg.

On utilise azote pour alimenter:

- Stations d'utilité
- Compresseurs: K-101 (10 Nm<sup>3</sup>/h), K-103/104A (22 Nm<sup>3</sup>/h), K-103/104B (22 Nm<sup>3</sup>/h).
- Réservoirs: T-131.

**1.4.2 Gasoil :**

L'unité du gasoil comprendra un réservoir de gasoil T-421 avec une capacité de 50m<sup>3</sup> et une pompe de transfert GA-421 de 5 m<sup>3</sup>/h. Le gasoil sera fourni à l'unité avec des camions citernes.

On utilise gasoil pour alimenter:

- La pompe diesel anti-incendie GA-212
- Le groupe électrogène Z-401
- Le compresseur d'air K-401B

**1.4.3 Gaz combustible :**

Le gaz combustible utilisé est le gaz séparé dans le séparateur Z101/V-101 au démarrage de l'unité, gaz inter étage du compresseur gaz lift déshydraté de la colonne C102, ou gaz de pipeline en arrivant du gazoduc HBNS.

On doit traiter le gaz en utilisant le séparateur de gaz combustible V-432 et un réchauffeur électrique E-431/432, qui réchauffe le gaz après la détente à 3,5 bars jusqu'à une

température majeure de 20°C du point de rosée (44°C). Le ballon est équipé d'un démister pour éviter l'entraînement des liquides

Le liquide qui se sépare dans le ballon est envoyé vers le drainage fermé ou au ballon torche MF.

#### **1.4.4 Stockage gasoil et essence :**

La station de gasoil et essence se compose par deux bacs à double enveloppe V-422 et V-443 pour le stockage de gasoil et essence et des pompes pour alimenter les véhicules. Le compteur mesureur de volume permet de mesurer la quantité de gasoil ou essence délivrée.

#### **1.4.5 Groupe électrogène de secours :**

En cas de coupure de l'alimentation électrique il a été prévu le démarrage automatique du groupe électrogène de secours de puissance 500KVA.

### **1.5 Description de L'Unité 600: champs BBKN**

Un collecteur aérien ("trunkline") de diamètre de 12" de longueur 1200m doit acheminer la production vers le centre de traitement d'huile. Les puits sont connectés avec ce collecteur par des lignes ("flowlines") ayant le diamètre de 8" ou 6".

Sur chaque puits est prévue une injection de produits chimiques inhibiteurs de corrosion

Une gare racleur fixe est prévue au niveau du manifold d'huile de 12" L-601 et L-611 et un multi phase flow meter du champ (MPFM-601).

Un manifold gaz lift de 6" et des lignes de 3" ou 2" qui alimentent chaque puits jusqu'à tête de puits.

Un réseau d'injection d'eau de 4" qui alimente chaque puits injecteur d'eau.

### **1.6 Description de L'Unité 500: CHAMPS BBK**

Un collecteur aérien ("trunkline") de diamètre 18" et longueur 9600 m, doit acheminer la production vers le centre traitement d'huile. Les puits sont connectés avec ce collecteur par des lignes ("flowlines") ayant le diamètre de 10" ,8" ou 6".

Sur chaque puits est prévue une injection de produits chimiques inhibiteurs de corrosion

Une gare racleur fixe est prévue au niveau du manifold d'huile de 18" L-501 et L-511 et un multi phase flow meter du champ (MPFM-501).

Un manifold gaz lift de 8" et des lignes de 3" ou 2" qui alimentent chaque puits jusqu'à tête de puits.

Un réseau d'injection d'eau de 4" qui alimente chaque puits injecteur d'eau

### **1.7 Description de L'Unité 700: Pipeline d'exportation gaz**

Un gazoduc enterré de 10", longueur 17,4Km doit transporter du gaz CPF BBK vers CPF HBNS.

Aux extrémités sont installées les gares racleurs fixes: L-701 et L-711.

On peut mesurer le débit avec FQI –7001. La mesure de débit intégrée avec la mesure de température est disponible à DCS (transmission par fibres optiques) sur FQI-7001.

La vanne SDV-7004 placée sur la ligne d'exportation du gaz (arrivée) se ferme pour les conditions suivantes:

- Basse pression (PSL-7012) sur la ligne 10"-FG-7000104-CA33-V.
- Haute pression (PSH-7012) sur la ligne 10"-FG-7000104-CA33-V.

Arrêt d'urgence du système de gaz combustible.

Chaque gare de racleur est conçue avec une soupape avec la pression de tarage 50 barg.

### **1.8 Description de L'Unité 900 : Pipe line d'exportation d'huile :**

Un oléoduc enterré de 8", longueur 29.7 Km doit transporter l'huile du CPF BBK vers PKØ Hassi Berkine.

Aux extrémités sont installées les gares de racleurs fixes: L-901 et L-911.

# 2 GENERALITE SUR LES COLONNES

## 1. GENERALITE :

Un pétrole brut est constitué par un mélange complexe de très nombreux composés, hydrocarbures pour la plupart. L'obtention de produits pétroliers répondant à des spécifications données nécessite une séparation préalable en différentes fractions ou coupes, lesquelles doivent être purifiées, ou subir des transformations, notamment en vue de besoins pétrochimique ultérieurs.

Pour cela on se procède à des opérations de séparation comme : la distillation, la réfrigération, l'ajout d'un solvant, la distillation extractive, la mise en œuvre d'un adsorbant... etc.

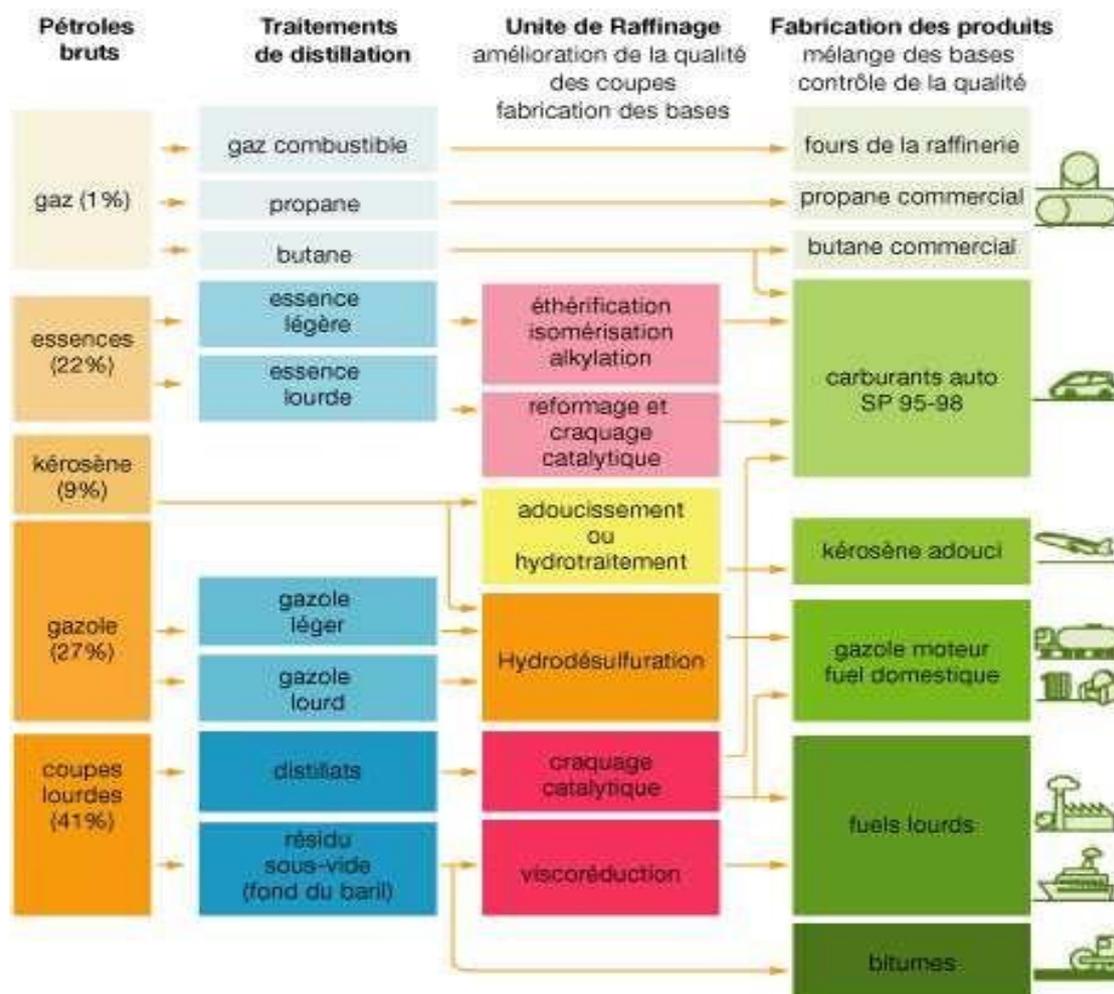


Figure 2.1 : représentation des différents procédés de séparation et produits finis du pétrole

## 2. Théorie de la distillation :

La distillation est un procédé physique de séparation des mélanges liquides, qui utilise la différence des points d'ébullition entre des produits qui se trouvent mélangés et même dissous les uns dans les autres dans la matière première. Elle est l'opération fondamentale du traitement du pétrole brut, car elle est la première phase de fabrication appliquée au pétrole s'il est bien décanté de l'eau salée qui l'accompagne quelque fois.

On distingue deux types de distillation :

### 2.1 La distillation atmosphérique :

La distillation atmosphérique est un procédé de distillation qui consiste à séparer les unes des autres les fractions d'hydrocarbures contenues dans le pétrole brut. C'est la première étape du raffinage du pétrole, et les toutes premières raffineries de pétrole se résument à peu près à une colonne de distillation.

Son fonctionnement est fondé sur la différence des températures d'ébullition de chacun des produits purs contenus dans le pétrole.

### 2.2 La distillation sous vide :

Les produits lourds extraits du fond de la colonne de distillation atmosphérique ne peuvent pratiquement plus être séparés en augmentant la température de distillation. En effet, au-delà des 360° environ auxquels on porte le pétrole brut dans la distillation atmosphérique, commencent les phénomènes de craquage thermique. Cela changerait la nature chimique des produits. Pour isoler ces produits, on les distille donc à des températures similaires, mais sous pression réduite. Les installations qui pratiquent cette opération sont les unités de distillation sous vide.

La fraction lourde des produits de la distillation atmosphérique y est d'abord chauffée, puis envoyée dans une autre colonne moins haute, mais plus épaisse, et qui comporte moins de plateaux. On l'appelle colonne de distillation sous vide. Comme dans les strippers atmosphériques, la distillation est souvent accélérée par une injection de vapeur d'eau.

La distillation met en œuvre un contre-courant de liquide et vapeur, discontinu dans le cas de colonnes à plateaux ou continu pour les colonnes à garnissage. Comme la thermodynamique l'a montré le contact des deux phases conduit à un échange des constituants, les plus volatils s'accumulent dans la vapeur et sont éliminés au sommet de la colonne alors que les éléments lourds passent en phase liquide et ils sont soutirés au fond de la colonne. Cette répartition des constituants entre les deux phases se traduit entre la tête et le fond de la colonne par un gradient de température.

### 3. Généralité sur les colonnes :

#### 3.1 Définition :

La colonne de distillation est une capacité cylindrique verticale de hauteur et de diamètre variable, se forme d'une virole et deux fonds soudés. Elle est divisée à l'intérieur en compartiments ou étages

#### 3.2 Mise en œuvre industrielle de la colonne de distillation :

La colonne de distillation permet à partir d'un mélange (charge ou alimentation) d'avoir un distillat et un résidu avec des spécifications bien définies

- **Alimentation** : la charge provenant de stockage est préchauffée dans une batterie d'échangeurs et /ou dans un four .la température d'entrée à la colonne correspond au % vaporisé de l'alimentation.
- **Distillat** : les vapeurs de tête de la colonne sont condensées totalement ou partiellement dans un condenseur avant d'être introduites dans le ballon de reflux. Les gaz incondensables sont envoyés vers le réseau torche. le liquide est envoyé en partie comme reflux de la colonne, l'autre partie comme distillat vers stockage, après refroidissement.
- **Résidu** : le liquide de fond de la colonne est envoyé en partie comme rebouillage, l'autre partie comme résidus, après refroidissement, vers stockage.
- **Reflux** :c'est un flux liquide interne qui descend de plateau en plateau ;il établit le gradient de température dans la colonne .ce flux liquide interne est toujours à sa température de bulle en équilibre avec la vapeur qui monte .par conséquent ,la quantité et la composition de ce liquide se modifie en descendant dans la colonne .dans le cas du fractionnement du brut ,lorsque la composition correspond aux spécifications d'un produit commercial, on en soutire une partie .
- **Rebouillage** : il permet la vaporisation de la fraction légère contenue dans le résidu.

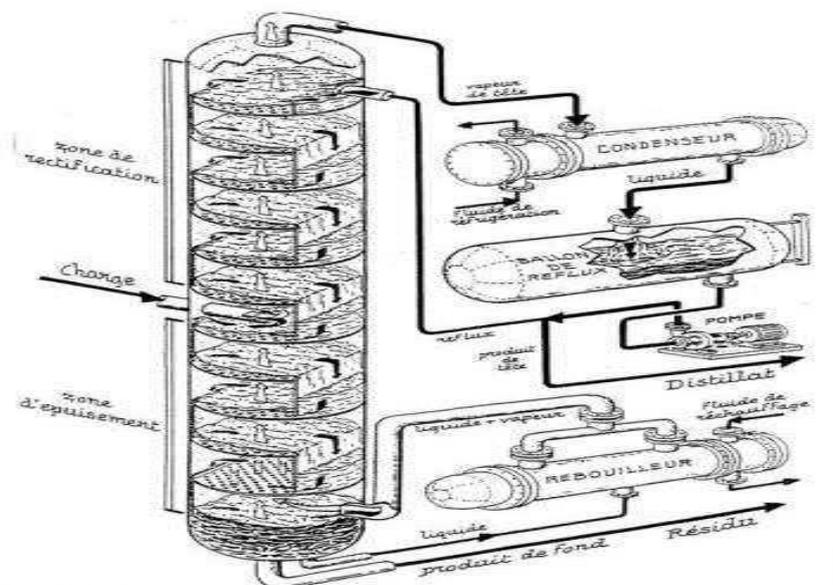


Figure 2.2 : installation de la colonne de distillation

### 3.3 Constitution générales des colonnes :

#### 3.3.1 LA Virole :

La virole est l'enveloppe de la colonne. Elle doit résister aux efforts de pression, de dilatation et éventuellement aux effets du vent et aux séismes.

La virole peut être constituée de sections de différents diamètres. Si le débit et les propriétés physiques du flux de vapeur varient fortement entre le pied et la tête de colonne, il sera plus économique d'ajuster la colonne aux conditions opératoires et de prévoir une Colonne à deux ou même trois diamètres. Il existe deux principaux types de viroles:

##### 3.3.1.1 Virole Monobloc :

C'est le type de virole qui est recommandé dans la plupart des cas. Le plus gros des orifices (*trou d'homme*) a un diamètre inférieur à celui de la virole. C'est un avantage lorsque la colonne doit travailler sous forte pression ou sous vide poussé.

##### 3.3.1.2 Virole en tronçons :

Si l'emploi d'une colonne monobloc n'est pas envisageable, la colonne doit être découpée en un certain nombre de tronçons qui seront assemblés par brides. Ce type de construction peut être imposé par des impératifs liés aux exigences de mise en place de l'appareil (à l'intérieur d'un bâtiment ou dans une charpente non démontable) ou de fabrication (montage des plateaux glissés).

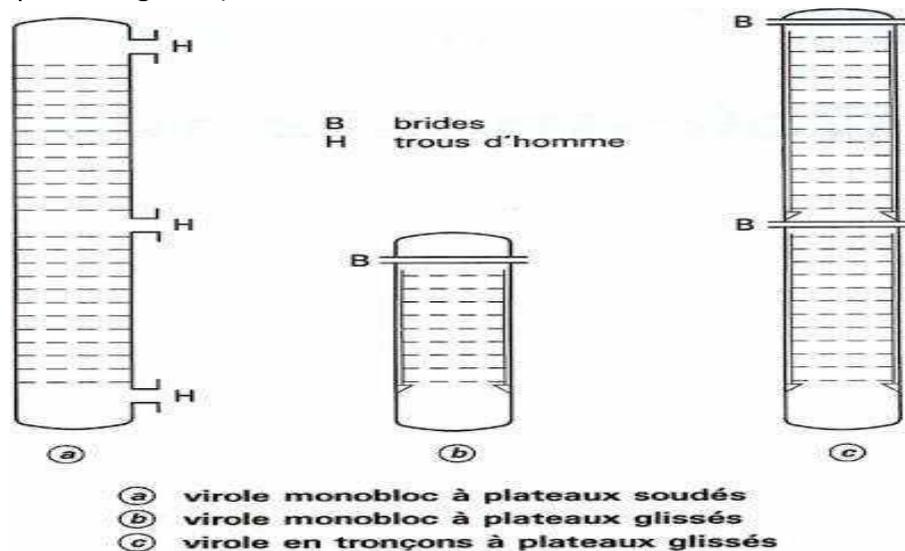


Figure 2.3: types de viroles

#### 3.3.2 Orifices de visite :

Le nombre et la nature des orifices de visite à prévoir dans une colonne dépendent du type de plateau installé et de la fréquence des interventions prévisibles. Celle-ci est liée aux risques de corrosion et d'encrassement des plateaux.

Si on ne prévoit aucune intervention dans la vie de l'appareil, la colonne peut être démunie de tout orifice de visite.

Si on prévoit des interventions fréquentes, les colonnes à plateaux démontables seront munies de trous d'homme tous les 4 à 10 plateaux.

### 3.3.3 Tubulures fonctionnelles :

#### 3.3.3.1 Alimentation :

Les tubulures d'alimentation ont un diamètre égal à celui de la ligne d'alimentation si le produit entrant dans la colonne est homogène.

Si l'alimentation est un mélange de liquide et de vapeur, il est prudent de prévoir un séparateur qui pourra être placé à l'intérieur ou à l'extérieur de la colonne.

#### 3.3.3.2 Soutirages latéraux :

La façon la plus sûre de réaliser un soutirage latéral de liquide dans une colonne est de prévoir un plateau spécial de soutirage. C'est un plateau muni de cheminées pour le passage de la vapeur, sur lequel il n'y a pas de barbotage.

#### 3.3.3.3 Liaisons au condenseur :

Il y a deux tubulures de liaison au condenseur, la tubulure de vapeur et la tubulure de reflux. La tubulure de reflux joue le même rôle qu'une tubulure d'alimentation. La tubulure de vapeur est dimensionnée en fonction de la perte de charge admissible.

#### 3.3.3.4 Liaisons au rebouilleur :

Le calcul du rebouilleur est directement lié au dimensionnement des tubulures de liaison, c'est donc lui qui fixe leur diamètre.

#### 3.3.3.5 Tubulures de contrôle :

La colonne est munie d'un certain nombre de piquages (tuyaux soudés sur la virole) destinés à contrôler la marche de l'appareil. Le contrôle du fonctionnement hydrodynamique de l'appareil se fait par mesure de la perte de charge, il faudra donc toujours prévoir une mesure de pression en pied et en tête de colonne.

### 3.3.4 Jupes et ancrages :

La partie inférieure de la colonne repose quelquefois sur un fond plat appuyé directement sur un massif de béton. Le plus souvent, le fond de la colonne est bombé et la virole est prolongée par une jupe-support. Cette jupe porte toujours des orifices de visite et, à sa partie inférieure, un cercle d'ancrage, ou un cercle d'appui et un d'ancrage.

La colonne est fixée à un massif ou à une charpente-support par l'intermédiaire de boulons d'ancrage qui peuvent atteindre plus de 1 m de longueur dans le cas de colonnes hautes de plus de 20 m et ancrées dans le béton sur appui intermédiaire.

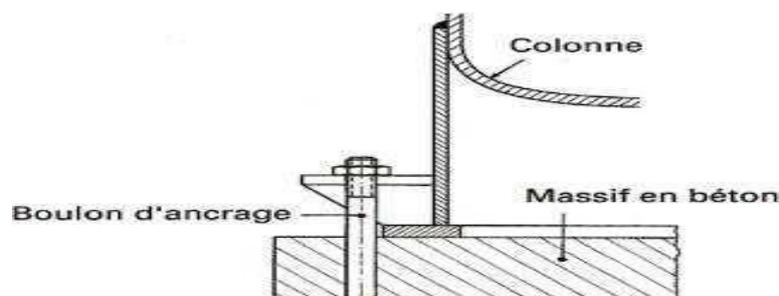


Figure 2.4 : boulons d'ancrage de la colonne

### 3.3.5 Élément de contact :

Le phénomène physique qui régit la distillation et l'absorption est la diffusion à contre-courant qui s'instaure entre la phase liquide et la phase gazeuse. Les transferts de matière et de chaleur s'établissent au moyen de dispositifs de contact qui engendrent de grandes surfaces d'échange entre les deux phases. Pour ce faire, on disperse une phase dans l'autre et il n'existe qu'une alternative.

- **Par les plateaux** : on cherche à créer localement une retenue du liquide grâce à un barrage coupant le flux liquide et à y faire barboter la vapeur montante dans la colonne. Pour ce faire, il est nécessaire de percer des trous dans le plateau de manière à laisser passer la vapeur.
- **Par les garnissages** : le contact entre les deux phases devient continu tout le long de la colonne. Les performances de cette technologie dépendent de sa capacité à disperser le flux liquide et vapeur afin de maximiser la surface de contact et à éviter la formation des courts circuits préjudiciables.

## 4. Type des colonnes de distillation :

Un des problèmes à résoudre lors de la conception des colonnes à distiller, une fois réalisé l'optimisation du nombre d'étage théorique, est de mettre en place des appareils capables de créer ce contact. Deux technologies existent :

- Les colonnes à garnissage.
- Les colonnes à plateaux.

### 4.1 Colonne à garnissages :

Une colonne à garnissage réalise un contre-courant à contact continu : les phases liquides et vapeur sont en contact dans toute la colonne, pour être séparées seulement avant de quitter l'appareil. L'échange des constituants entre les phases se fait d'autant mieux que la surface de contact et la turbulence sont importantes : c'est pour cette raison qu'on emplit la colonne d'éléments solides (le garnissage, encore appelée remplissage ou packing) aux formes et aux dimensions judicieusement choisies.

Le garnissage offre une grande surface mouillée pour assurer une importante surface d'échange de matière entre le liquide et la vapeur.

Techniquement, une colonne à garnissage comporte les équipements suivant :

- **Distributeurs de liquide** : il permet d'assurer une distribution du liquide sur la surface du garnissage, au niveau de l'alimentation ou de reflux mais également entre deux tronçons.
- **Des tronçons de garnissage** : de 0,3 à 10 mm de hauteur selon le diamètre de la colonne, soit en vrac ou structuré
- **Support de garnissage** : La grille de support du garnissage doit tout d'abord être capable de supporter la masse du garnissage et la masse du liquide lié au garnissage (rétention du liquide).

- **Les collecteurs** : qui permettent de récupérer l'ensemble du liquide descendant du tronçon supérieur.

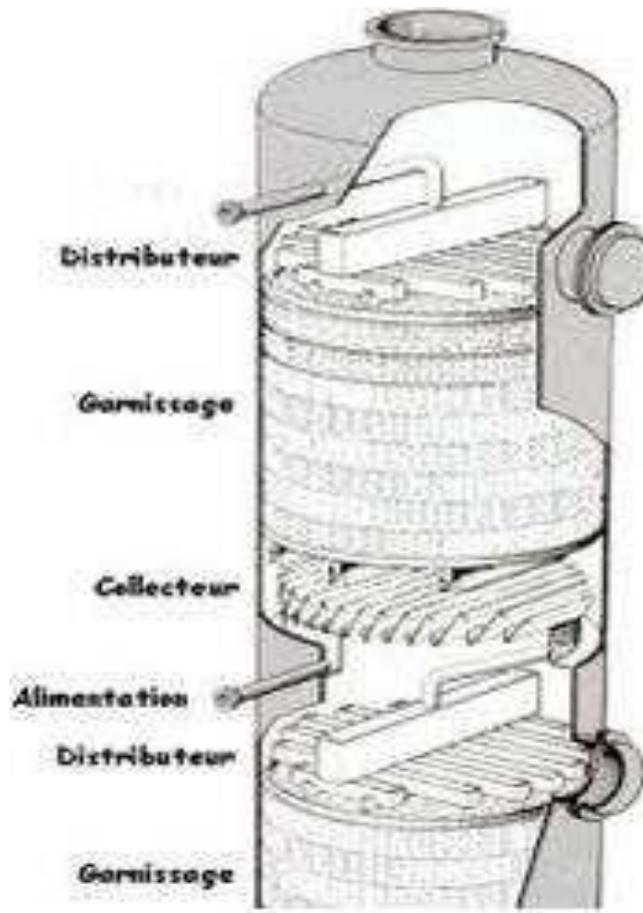


Figure 2.5 : composants d'une colonne à garnissage

#### 4.1.1 Divers types de garnissage :

Le nombre de types de garnissages inventés depuis une cinquantaine d'années est impressionnant. Nous avons dû limiter l'énumération aux principales productions dont les caractéristiques ont été diffusées par les constructeurs et recoupées par des résultats d'exploitation. Ces dix dernières années ont été marquées par l'apparition de programmes de calcul sur micro-ordinateurs (diffusés par les constructeurs Norton et VFF) et par le développement des garnissages structurés :

##### 4.1.1.1 Garnissage en vrac

###### a) Anneaux Raschig :

Ce sont des manchons cylindriques de hauteur égale au diamètre extérieur (dimension nominale). Le choix du matériau est extrêmement vaste : céramique (grès ou porcelaine), graphite, métaux et alliages, plastiques et verres. Les dimensions nominales courantes vont de 6,4 à 102 mm

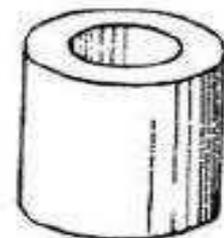


Fig 2.6 : anneaux Raschig

**b) Anneaux Pall :**

La surface intérieure d'un anneau Raschig se révèle beaucoup moins accessible au mouillage que sa surface extérieure, d'où l'idée de ménager des fentes transversales dans les parois en repoussant la matière à l'intérieure. Les anneaux Pall ainsi constitués permettent de réduire le

volume de garnissage à mettre en œuvre, pour une opération donnée, d'environ 30 à 40 %. Ces anneaux, de plus en plus répandus, existent en céramique, métaux et plastiques ; les dimensions nominales courantes vont de 15,9 à 76 mm



Figure 2.7: Anneaux Pall

**c) Selles de Berl :**

Ces corps ont une forme dérivée du parabolöide hyperbolique avec renforcement des arêtes et adjonction de nervures. Cette forme assure au lit une structure enchevêtrée provoquant un auto blocage qui diminue la poussée exercée par la charge sur les parois de la colonne. On constate également une amélioration de l'homogénéité de la fraction de vide.

Le volume à mettre en œuvre pour une opération déterminée est sensiblement de 20 % inférieur à ce qu'il serait avec des anneaux Raschig. La production, essentiellement en céramique ou en plastique, s'effectue par moulage. Les dimensions nominales courantes vont de 6,4 à 76 mm

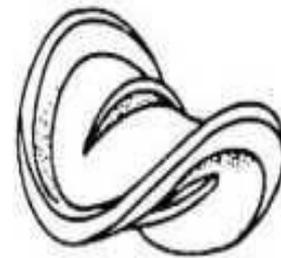


Figure 2.8: Selles de Berl

**d) Selles Intalox :**

La forme générale de ces corps est celle d'un demi-tore engendré par un demi-cercle dont la concavité est tournée vers l'extérieur. Leur production, essentiellement en céramique ou en

Plastique, peut être obtenue par extrusion. L'emboîtement des selles Intalox est moins marqué que celui des selles de Berl.

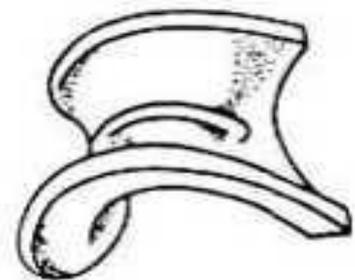


Figure 2.9: Selles de Berl

#### 4.1.1.2 Garnissage structuré

Ce sont des éléments autoporteurs formés de canaux inclinés à 30 ou 45° sur la verticale, le diamètre hydraulique de ces canaux est variable depuis environ 0,01 m suivant les produits ; ces canaux peuvent être éventuellement munis de perforations. Ces éléments sont fournis en acier, en plastique ou en céramique.

Ces garnissages, conçus initialement pour des distillations sous vide poussé, jusqu'à communément 2 500 Pa



Figure 2.10: garnissage structurée

pour lesquelles ils semblent avoir conquis le marché, progressent également dans le domaine des distillations et des absorptions à pression atmosphérique

#### 4.1.2 Domaine d'utilisation des colonnes à garnissage :

Les colonnes à garnissage sont généralement utilisées pour l'absorption de gaz et de substances corrosives. Si le barbotage de la phase gaz dans le liquide provoque son moussage, il est préférable de choisir une colonne du type à garnissage.

Il est préférable également d'utiliser une colonne à garnissage pour :

- les opérations discontinues car la rétention du liquide dans ce type de colonne est faible.
- les transferts de matière limités par la phase gazeuse.

Les colonnes garnies ne sont pas utilisées pour la séparation des particules solides, car celles-ci peuvent rester bloquer sur le garnissage et empêcher le passage des phases (cause d'engorgement).

#### 4.1.3 Avantages et inconvénient des colonnes à garnissage :

- Elles sont moins chères que les colonnes à plateaux, surtout si le diamètre de la colonne n'est pas trop grand.
- Elles sont bien adaptées pour fonctionner dans un environnement acide et corrosif ; Comme le liquide est peu agité, il est possible d'utiliser les absorbants qui ont tendance à mousser.
- Elles peuvent atteindre une grande efficacité d'absorption pour beaucoup de gaz.
- La faible rétention du liquide peut être aussi un avantage, principalement si l'absorbant est sensible à la température.

Cependant ils présentent quelques inconvénients :

- Les particules solides présentes dans la phase liquide ou gazeuse peuvent facilement bloquer l'écoulement des phases au niveau du garnissage.
- Si le débit du liquide pour une raison quelconque diminue, la surface de garnissage ne pourra pas être mouillée correctement et la surface effective de contact diminuera.
- Les colonnes de petit diamètre et de grande hauteur nécessitent l'installation de redistributeurs de liquide.

## 4.2 Colonnes à plateaux :

Les colonnes à plateaux sont utilisées pour réaliser un contact entre une phase gazeuse et une phase liquide de façon à amener celles-ci le plus près possible de l'état d'équilibre. Les transferts de matière et de chaleur entre les phases sont d'autant plus importants que la surface de contact et la turbulence des phases sont plus grandes.

Les colonnes à plateaux ont été mises au point pour la distillation. Les plateaux sont donc conçus pour assurer une dispersion de la phase vapeur au sein du liquide. Les colonnes à plateaux sont utilisées avec un égal succès en distillation et en absorption.

Dans l'immense majorité des cas, on utilise directement l'énergie de pression de la vapeur pour disperser les phases l'une dans l'autre. Dans tous les cas, on profite de la gravité pour le mouvement de la phase liquide qui a toujours lieu de haut en bas. En mouvement descendante, la phase gazeuse ayant un mouvement ascendant, traverse le liquide qui se déplace horizontalement sur le plateau.

Un barrage de sortie maintient une couche du liquide sur le plateau. Le liquide s'écoule par gravité d'un plateau à l'autre par une conduite (trop plein)

### 4.2.1 Constitution d'une colonne à plateaux :

C'est un appareil cylindrique (une virole avec deux fonds soudés) muni d'une série de plateaux de rectification. Elle est munie de tubulures diverses, des trous d'hommes, des échelles, et des passerelles, pour l'entretien et la réparation. A la surface extérieure, la colonne est munie d'une couche de calorifugeage en laine de verre pour éviter les pertes thermiques. La colonne est montée sur une jupe cylindrique laquelle est soudée à un anneau de base. Les plateaux sont montés sur des supports, les quelles sont soudés a la surface intérieur de la colonne.

Deux appareils d'échange thermique : condenseur et rebouilleur qui ont pour rôle d'engendrer le flux liquide et vapeur.

Des soutirages de distillat au ballon de reflux et de résidu au fond de la colonne. Un ou plusieurs alimentation-fond de la colonne.

La colonne est divisée en trois zones :

- )one d'alimentation.
- Zone de rectification.
- )one d'épuisement.

#### 4.2.1.1 Zone d'alimentation :

La construction de la zone d'alimentation doit assurer la séparation des phases liquide et vapeurs, les tubulures d'alimentation sont d'habitude tangentielles à la paroi de l'appareil ou sous l'action de la force centrifuge, la phase liquide et vapeur se séparent.

#### 4.2.1.2 Zone de rectification :

Est située au-dessus de la zone d'alimentation, son but est de concentrer la vapeur initiale jusqu' à une valeur désirée dans le distillat.

#### 4.2.1.3 Zone d'épuisement :

Qui se trouve au-dessous de la zone d'alimentation dont le rôle consiste à récupérer les produits volatiles se trouvant dans le liquide initiale.

#### 4.2.2 Fonctionnement des plateaux

Le plateau est l'élément actif de la colonne. il a pour fonction la mise en contact de la phase liquide et de la phase gazeuse de façon à amener celles-ci le plus près possible de l'état d'équilibre. il représente la grande partie pour une colonne au point de vue poids et prix.

Ils ont pour but de retenir en partie le liquide s'écoulant du haut vers le bas de la colonne et de permettre un barbotage de la vapeur cheminant à contre-courant du bas vers le haut.

les plateaux peuvent se ranger en deux grandes catégories:

- les plateaux à courants croisés avec trop-plein.
- les plateaux à contre-courant sans trop-plein.

Dans les plateaux à courants croisés, la phase gazeuse ascendante traverse le liquide qui se déplace horizontalement sur le plateau. Un barrage de sortie maintient une couche de liquide sur le plateau. Le liquide s'écoule par gravité d'un plateau à l'autre par une conduite (trop-plein). Les plateaux à contrecourant ne comportent ni barrage de sortie ni trop-plein, le liquide et la vapeur s'écoulent par les mêmes orifices.



Figure 2.11: principe de fonctionnement des plateaux

#### 4.2.3 Éléments constitutifs du plateau :

Le plateau est constitué par une plaque plane métallique sur laquelle sont implantés les éléments de barbotage, des barrages et des trop-pleins. Les raidisseurs assurent la planéité des plateaux.

##### 4.2.3.1 Trop-pleins

Le trop-plein est l'organe de descente du liquide d'un plateau à l'autre. Il comprend deux parties distinctes : le déversoir ou seuil, et le trop-plein proprement dit, ou queue de trop-plein. La première partie assure un niveau de liquide à peu près constant sur le plateau, la seconde conduit le liquide vers le plateau inférieur et plonge dans le liquide de celui-ci. La garde hydraulique ainsi obtenue empêche la remontée de vapeurs à contrecourant du liquide.

La section des trop-pleins peut être circulaire, rectangulaire.

##### 4.2.3.2 Barrages

Les plateaux à déversoir comportent un certain nombre de barrages placés perpendiculairement à l'écoulement du liquide :

- à l'entrée du liquide sur le plateau, un barrage régularise l'écoulement du liquide sur le plateau (figure 16) ;
- à la sortie d'un plateau, le déversoir maintient une certaine hauteur liquide sur le plateau ; il peut être précédé ou non d'un barrage noyé (figure 15) qui protège le trop-plein contre les mousses et les projections.

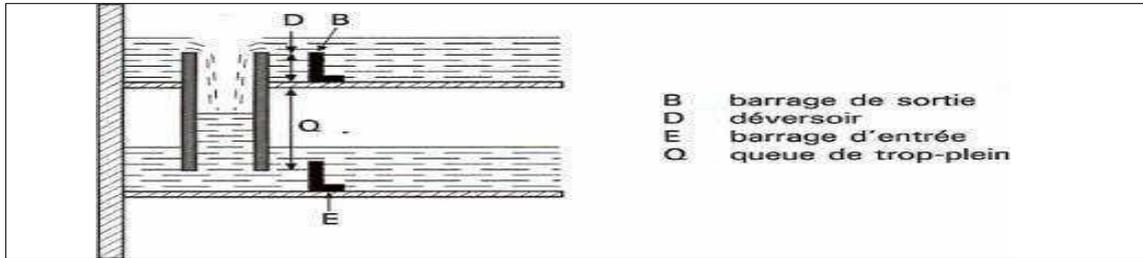


Figure 2.12 : vue en coupe du trop pleins et barrage

**4.2.3.3 Raidisseurs**

Il est indispensable que les plateaux restent sensiblement plans en fonctionnement, pour éviter que les dispositifs de barbotage les plus hauts débitent plus que les autres. Dans tous les cas de plateaux démontables, il faut tenir compte du poids d'un ouvrier qui marche sur le plateau pour le démonter et le mettre en place. C'est pourquoi les plateaux sont toujours généreusement raidis, dès que le diamètre dépasse 50 cm.

**4.2.3.4 Éléments de barbotage**

Les plateaux prend souvent le nom de l'élément de barbotage qu'il le contient. Nous nous limiterons ici à la description des éléments de barbotage les plus utilisés : calottes cylindriques, trous, soupapes.

**a) Calottes classiques**

La calotte ou cloche est le plus ancien des organes de mise en contact de la vapeur et du liquide. Les calottes ont été utilisées de façon quasi universelle pour les colonnes à plateaux construites avant 1950 et il existe encore un grand nombre de plateaux à calottes en service dans l'industrie. La calotte (figure 6) est une pièce de révolution à axe vertical. La vapeur arrive par le bas et traverse la cheminée puis change de direction avant de sortir par les fentes de la calotte. Le liquide est maintenu à un niveau intermédiaire entre le sommet des fentes et le sommet de la cheminée.

La vapeur sortant des fentes doit donc barboter à travers le liquide. Les dents sont destinées à diviser la vapeur en jets indépendants pour augmenter la surface de contact des deux phases.

Lorsque le produit à traiter est salissant, on prévoit des calottes démontables par un simple boulon soudé au pontet ou par un étrier prenant appui sous la cheminée.

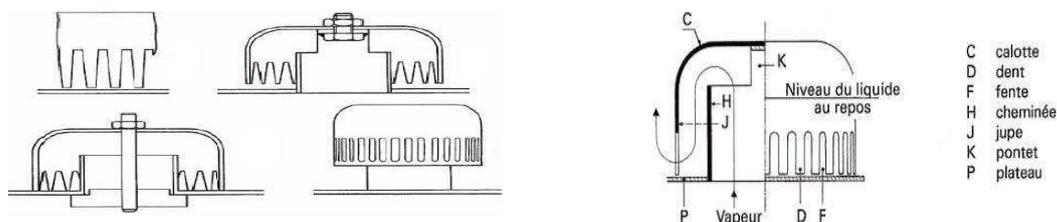


Figure 2.13 : la calotte

**Avantages/inconvénients :**

- Ils diminuent le risque de drainage et offrent un bon mélange des phases gaz et liquide .le temps de contact du gaz avec le liquide est superieur à celui des autres plateaux.

Cependant ils présentent quelques inconvénients :

- En cas d'augmentation du debit du gaz ,ils s'engorgent plus facilement ,pour des regimes de fonctionnement proches de l'engorgement :leur efficacitéest moindre que celle des autres types de plateaux.

**b) Trous ou perforations :**

Les plateaux perforés constituent le type de plateau le plus souvent réalisé actuellement.

Le diamètre des trous est compris entre 3 et 25 mm. Les trous sont obtenus en général par poinçonnage, et quelquefois par perçage.

Les perforations divisent la vapeur en jets indépendants et augmentent la surface de contact avec le liquide. Les plateaux à gros trous (25 mm) sont utilisés essentiellement lorsque le liquide à traiter est chargé en solide, il existe avec ou sans déversoir.



**Figure 2.14 :** plateau perforé

**Avantages/inconvénients :**

Les principaux avantages de ce type de plateaux sont les suivants :

- leur faible coût ;
- leur simplicité ;
- la perte de charge est diminuée car le gaz passe directement dans le liquide
- le débit admissible du gaz est plus élevé que dans le cas des plateaux à calottes.

Cependant ils présentent quelques inconvénients :

- Un manque de souplesse : aux faibles débits de gaz, le liquide peut s'écouler à travers les trous ce qui diminue l'efficacité de ce type de plateau.
- Une sensibilité aux défauts de planéité : tous les plateaux doivent être placés horizontalement car une inclinaison peut créer un phénomène de pleurage dans les zones inférieures de la colonne.
- Il faut que la phase gaz arrive à vitesse constante et de façon homogène sur l'ensemble de la surface du plateau afin de maintenir une couche de mousse stable.

**c) Les clapets (ou soupapes):**

Il constitue un compromis entre les deux types précédent. Dont les orifices sont équipés de clapets. La hauteur de soulèvement de ces derniers est fonction du débit de vapeur, qui s'échappe horizontalement dans le liquide, exactement comme la fente de la calotte. Les plateaux à clapets sont progressivement substitués aux plateaux à calottes. Car leurs

performances sont légèrement supérieures, pour un prix de revient plus faible. Il existe une grande variété de formes de clapet : ronds, triangulaires, ou allongés.

Les clapets sont en métaux inoxydables en tôle d'épaisseur (0.9 à 3.4mm) avec un diamètre variable correspondant à un diamètre des orifices de (38.9-47.6mm) et de hauteur de soulèvement des clapets selon le débit de vapeur qui laissera passer (10mm).

L'implantation des clapets sur le plateau se fait suivant un pas triangulaire équilatéral (76.2-114.3-152.4mm). L'utilisation de ce plateau est très fréquente dans le raffinage du pétrole.

Les particularités de ce type contacteur sont :

- Possible de diminuer les pertes de charge.
- Vitesse de vapeur plus élevée pendant la traversée de la couche liquide.
- Ouverture de clapet est fonction de débit vapeur.

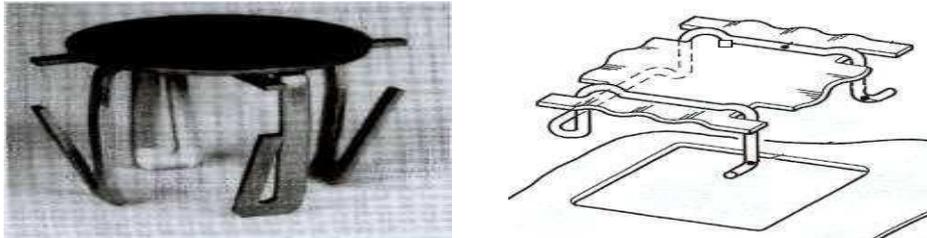


Figure 2.15 : les clapets

#### Avantages/inconvénients :

Les avantages des colonnes à soupapes sont les suivants :

- le débit du gaz qui provoque l'engorgement d'un plateau à soupape est plus grand que celui d'un plateau à calottes de même diamètre ;
- L'efficacité des plateaux à soupapes est constante dans un large domaine ;
- Un faible coût.

Les plateaux à soupapes présentent quelques inconvénients qui limitent leur emploi :

- Les plateaux de ce type présentent une forte perte de charge en cas des faibles débits de gaz, car la section initiale de passage est faible et la pression du gaz doit monter pour équilibrer la masse de la soupape.
- Le plateau à clapets n'est pas étanche et il se vide à l'arrêt. Son emploi n'est donc pas recommandé lorsque la colonne fonctionne par campagnes, avec des arrêts répétés

#### d) Les fentes :

Ils dérivent des perforations. Une petite plaque est positionnée au-dessus de chaque orifice. Cette construction permet d'augmenter le taux de mélange entre les phases : un écoulement plus turbulent et la composition horizontale du mouvement de la phase gaz assurent un meilleur contact avec le liquide.

Ces plateaux offrent une plus grande souplesse que les plateaux perforés, ils diminuent le primage, mais la perte de charge est plus significative.

Il existe plusieurs types de plateaux à fentes mais ils sont peu utilisés dans l'industrie.

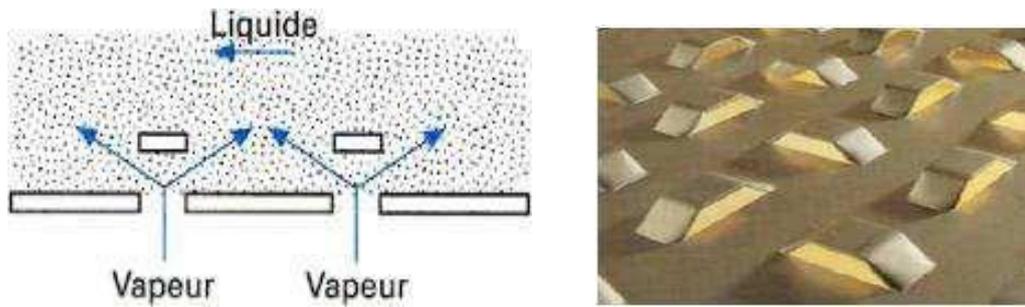


Figure 2.16 : plateau a fentes

#### 4.2.4 Domaine de fonctionnement :

Pour qu'un plateau fonctionne normalement, il est nécessaire de maîtriser deux paramètres, à savoir, la vitesse de phase vapeur et le débit de liquide, de mauvais choix peuvent provoquer des dysfonctionnements de type hydraulique, qui vont nuire aux performances, on distingue classiquement :

##### 4.2.4.1 L'engorgement :(flooding)

Qui intervient aussi bien pour la vapeur que pour le liquide :

- **Le soufflage** : se produit pour des débits de vapeur trop élevés par rapport au trafic liquide. Il y a une formation d'un brouillard finement dispersé au-dessus de la zone de contact. Cette situation conduit à un mauvais transfert liquide-vapeur, avec formation de mousse et de fines gouttelettes entraînées vers les plateaux supérieurs.
- **L'engorgement par entrainement (jet flooding)** : l'accroissement simultané des débits liquide et vapeur, situation courante lorsque l'on cherche une capacité maximale, sera proche du phénomène précédent, l'entraînement du liquide vers le plateau supérieur augmente alors en raison de l'accroissement de la hauteur liquide sur le plateau, ce qui réduit la hauteur des engagements de la vapeur. Le fonctionnement devient instable.
- **L'engorgement par charge liquide excessive** : le débit du liquide à l'ère provenant de l'aire active et alimentant le déversoir est trop important ce qui provoque son débordement. Ce phénomène peut être dû à un mauvais désengagement de la vapeur (système moussant ou aire des déversoirs trop faible, une perte de charge excessive sur la vapeur, un jeu sous le déversoir trop faible, un espacement entre plateaux insuffisant...

Rappelons ici que le dimensionnement du déversoir doit faire appel à deux critères :

- Un temps de séjour suffisant pour permettre le désengagement des bulles de vapeur depuis la phase liquide.
- Une hauteur supérieure à la hauteur de liquide clair.

**4.2.4.2 Le pleurage (weeping) :**

les plateaux perforés ou à clapets sont, par nature non étanches ;il existe donc toujours une légère fuite de liquide ,qui reste acceptable et ne perturbe pas l'efficacité, au-dessous de certains débit de vapeur ,la pousse hydrostatique n'étant plus suffisante ,le liquide s'écoule au travers des orifices .cette fuite ,ou pleurage ,est extrêmement néfaste en raison du mélangeage qu'elle crée .il est donc dommageable de travailler avec occurrence de pleurage ,dont l'apparition correspond à la condition suivante :

- Perte de charges de la vapeur au travers de l'aire active juste égale à la hauteur statique du liquide sur le plateau

Ce phénomène, n'existe pas pour les plateaux a calotte, car celle-ci formons un sifflant qui interdit toute redescente du liquide

Le dumping est une situation qui correspond à une accentuation du phénomène précédent .la fuite du liquide au travers des orifices devient excessive et conduite a une chute brutale de l'efficacité. Elle correspond à la limite inférieure du domaine de flexibilité du plateau.il est ainsi possible de tracer les limites de fonctionnement satisfaisant d'un plateau. Cette zone délimite son domaine de stabilité, c à dire les conditions extrêmes du débits entre lesquelles le fonctionnement est acceptable.

# 3 Concepts de base

Dans ce chapitre on va parler brièvement sur les sciences impliquées dans ce projet, une présentation rapide du logiciel exploité dans la simulation, les titres principaux sont les suivant :

Introduction à l'aérodynamique

La résistance des matériaux

Le CFD (calcul de dynamique des fluides)

Éléments finis

Présentation du SolidWorks/SolidWorks flow simulation/SolidWorks simulation

## 1. L'aérodynamique :

est une branche de la dynamique des fluides qui porte principalement sur la compréhension et l'analyse des écoulements d'air, ainsi qu'éventuellement sur leurs effets sur des éléments solides qu'ils environnent. L'*aérodynamisme* qualifie l'apparence d'un corps en mouvement dans l'air et sa résistance à l'avancement.

L'aérodynamique s'applique aux véhicules en mouvement dans l'air (aérodynes, automobiles, trains), aux systèmes de propulsion (hélices, rotors, turbines, turboréacteurs), aux installations fixes dans un air en mouvement subissant les effets du vent (bâtiments, tours, ponts) ou destinés à la production d'énergie (éoliennes), aux systèmes mécaniques transformant une énergie aérodynamique en énergie mécanique et vice-versa (turbines, compresseurs).

### 1.1 Efforts aérodynamiques:

Le champ de pression s'exerçant sur un obstacle induit globalement un torseur d'efforts où l'on considère généralement dans un plan :

- une force de trainée :  $F_x$ , parallèle à la direction moyenne de l'écoulement
- une force de portance  $F_y$ , perpendiculaire à la direction moyenne de l'écoulement

L'expression de la force est de la forme générale :

$$F = q \times S \times C \quad \text{Avec} \quad q = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2$$

$q$  Étant la pression dynamique.

$\rho$  (rho) : masse volumique de l'air (elle varie avec la température et la pression).

$S$  : la surface de référence

$C$  : le coefficient aérodynamique.

$V$  : La Vitesse de déplacement.

### 1.2 Les coefficients aérodynamiques:

Les coefficients aérodynamiques sont des coefficients adimensionnels servant à quantifier les forces en  $x, y$  :

- $C_x$  : le coefficient de trainée
- $C_y$  : le coefficient de portance

Les forces étant calculées ou mesurées expérimentalement (en soufflerie), les coefficients sont déterminés en posant:

$$C_{x,y} = \frac{F_{x,y}}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S}$$

Avec :

$S$ : Surface de référence.

$V$  : vitesse relative du vent.

### 1.3 La trainée:

En mécanique des fluides, la trainée est la force qui s'oppose au mouvement d'un corps dans un liquide ou un gaz pesant et agit comme un frottement. Mathématiquement, c'est la composante des efforts exercés sur le corps, dans le sens opposé à la vitesse relative du corps par rapport au fluide.

En aérodynamique, c'est, avec la portance, l'une des deux grandeurs fondamentales.

Le coefficient de trainée est le rapport : trainée / (surface de référence  $\times$  pression dynamique).

$$F_x = \frac{1}{2} \times \rho_{ar} \times V^2 \times S \times C_x$$

### 1.4 La portance:

La portance est la force qui permet à un aéronef de s'élever et de se maintenir en altitude.

La portance aérodynamique est la composante de la force subie par un corps en mouvement dans un fluide qui s'exerce perpendiculairement à la direction du mouvement. C'est la portance des aérodynes (engins plus denses que l'air).

L'équation de la portance est similaire à celle de la trainée avec  $C_x$  remplacé par  $C_y$ , d'où :

$$F_y = \frac{1}{2} \times \rho_{ar} \times V^2 \times S \times C_y$$

$\rho_{ar}$  : Masse volumique de l'air (1,225 kg/m<sup>3</sup> à 15 °C au niveau de la mer).

$V$  : vitesse de déplacement (en m/s).

$S$  : Surface de référence (surface projetée, surface mouillée, maître couple).

$C_x, C_y$  : Coefficients de trainée/portance

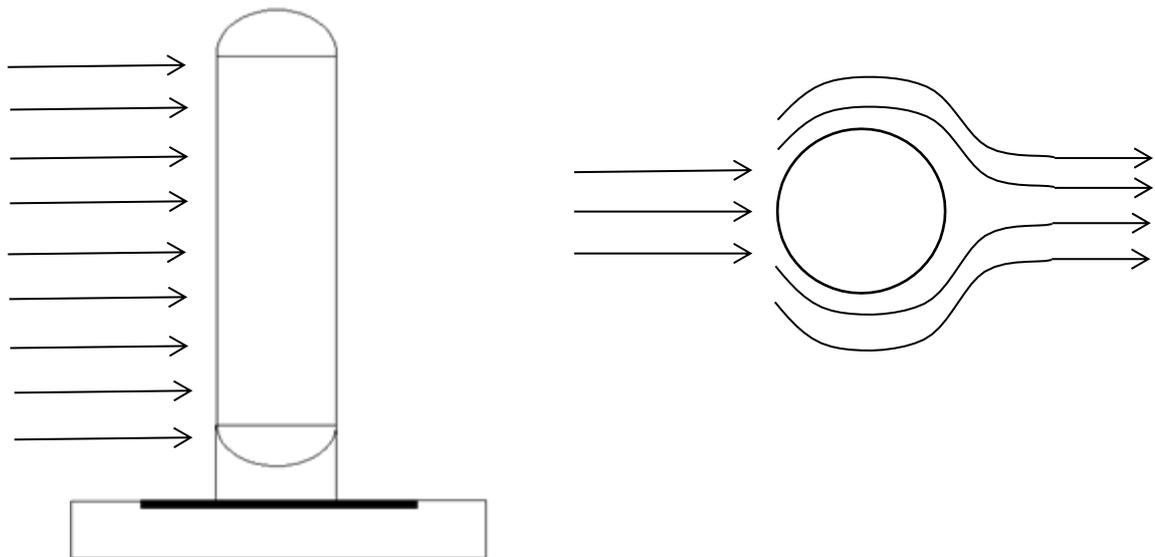


Figure 3.1 : action aérodynamique sur la colonne

## 2. La résistance des matériaux

La résistance des matériaux, aussi appelée RDM, est une discipline particulière de la mécanique des milieux continus permettant le calcul des contraintes et déformations dans les structures des différents matériaux (machines, génie mécanique, bâtiment et génie civil). La RDM permet de ramener l'étude du comportement global d'une structure (relation entre sollicitations — forces ou moments — et déplacements) à celle du comportement local des matériaux (relation entre contraintes et déformations).

L'objectif est de concevoir la structure suivant des critères de résistance, de déformation admissible et de coût financier acceptable.

### 2.1 Hypothèse de la résistance des matériaux

Dans son utilisation courante, la RDM fait appel aux hypothèses suivantes :

Le matériau est :

- a) élastique (le matériau reprend sa forme initiale après un cycle chargement déchargement)
- b) linéaire (les déformations sont proportionnelles aux contraintes)
- c) homogène (le matériau est de même nature dans toute sa masse)
- d) isotrope (les propriétés du matériau sont identiques dans toutes les directions).

### 2.2 Contraintes mécaniques :

#### 2.2.1 La contrainte normale

$\sigma$  est proportionnelle à l'allongement relatif et un facteur constant  $E$  désigné sous le nom de module d'élasticité ou encore module de Young (valable uniquement pour les petits déplacements) :

$$\sigma = E$$

$\sigma$  est une contrainte qui s'exprime le plus souvent en MPa ou N/mm<sup>2</sup> ;

$E$  est homogène à une contrainte ;

est sans dimension.

L'allongement relatif est le rapport entre l'allongement ( $l - l_0$ ) et la longueur initiale :

$$= \frac{l - l_0}{l}$$

### a) Traction/compression

Cette contrainte est dite contrainte normale due à la force de traction  $\sigma$  est égale à l'intensité de la force  $F$  divisée par l'aire  $S$  de la surface normale à cette force :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Avec  $S$  la section initiale (avant déformation).

### b) Flexion

Sous l'effet du moment de flexion  $M_3$  (en Nm), la contrainte de flexion à une distance  $x_2$  (en m), de la fibre neutre s'exprime en fonction du moment quadratique  $I_3$  (en  $m^4$ ), de la section étudiée par la relation :

$$\sigma_{flexion} = - \frac{M_3 x_2}{I_3}$$

## 2.2.2 La contrainte tangentielle :

### a) Cisaillement

$$r = \frac{F_{cisaillement}}{S} = G$$

Avec le module de cisaillement

$$G = \frac{E}{2(1 - \nu)}$$

### b) La torsion

Ce qui suit concerne uniquement les poutres à section circulaire

$$= \frac{M_t}{G I_0}$$

Ou est l'angle unitaire de torsion (en rad/m). la rotation de la barre en un point d'abscisse  $L$  est donc  $\theta$ .

la contrainte de cisaillement maximale

$$r = \frac{M_t R}{I_0}$$

### 3. Mécanique des fluides numérique (CFD)

La mécanique des fluides numérique (MFN), plus souvent désignée par le terme anglais computational fluid dynamics (CFD), consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide. En fonction des approximations choisies, qui sont en général le résultat d'un compromis en termes de besoins de représentation physique par rapport aux ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes, etc.

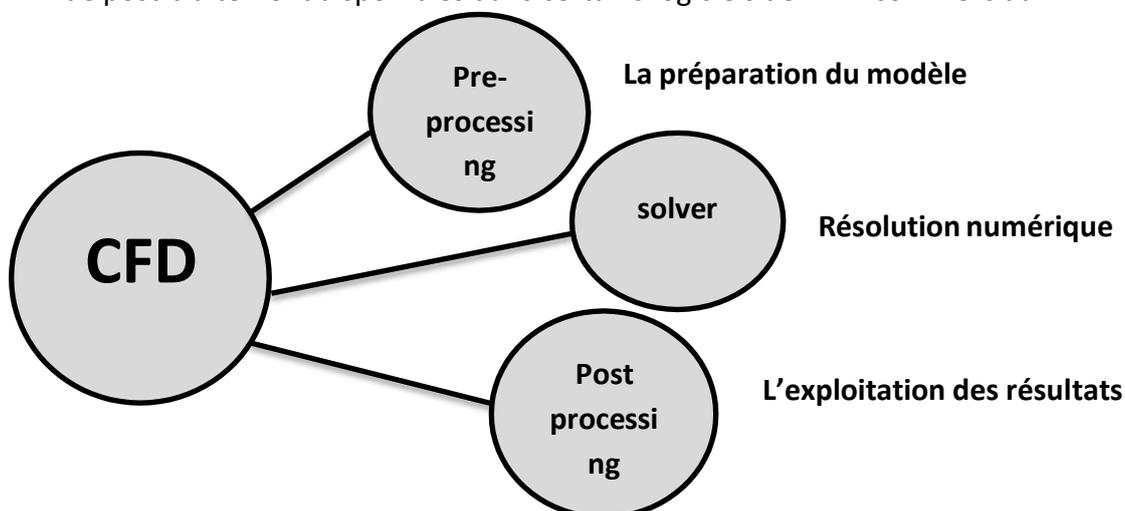
La MFN a grandi d'une curiosité mathématique pour devenir un outil essentiel dans pratiquement toutes les branches de la dynamique des fluides, de la propulsion aérospatiale aux prédictions météorologiques en passant par le dessin des coques de bateaux. Dans le domaine de la recherche, cette approche est l'objet d'un effort important, car elle permet l'accès à toutes les informations instantanées (vitesse, pression, concentration) pour chaque point du domaine de calcul, pour un coût global généralement modique par rapport aux expériences correspondantes.

#### 3.1 Méthodologie

De manière générale, la résolution d'un problème de MFN passe par trois grandes phases:

- **La préparation du problème** : ceci passe par la définition d'une géométrie, d'un maillage discrétisant le domaine de calcul, du choix des modèles et méthodes numériques employés.
- **La résolution numérique** du problème qui passe par l'exécution d'un programme informatique. Bien des problèmes suscitant un minimum d'intérêt nécessitent des ordinateurs aux très grandes capacités;
- **L'exploitation des résultats** : on vérifie d'abord leur cohérence, puis ils sont examinés afin d'apporter des réponses aux questions posées par le problème de MFN de départ.

L'exploitation des résultats passe le plus souvent par des logiciels de post-traitement scientifique utilisés dans de nombreuses branches de la physique, ou bien par les modules de post-traitement disponibles dans certains logiciels de MFN commerciaux.



#### 4. Méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis (MÉF) est une manière numérique de résoudre certains des problèmes de physique. C'est une méthode qui permet de déterminer une solution approchée sur un domaine spatial, c'est-à-dire qui permet de calculer un champ (de scalaires, de vecteurs, de tenseurs) qui correspond à certaines équations et à certaines conditions imposées.

La méthode consiste à découper le domaine spatial en petits éléments, également appelés mailles, et à rechercher une formulation simplifiée du problème sur chaque élément, c'est-à-dire à transformer le système d'équations quelconque en un système d'équations linéaires. Chaque système d'équations linéaires peut se représenter par une matrice. Les systèmes d'équations pour tous les éléments sont ensuite rassemblés, ce qui forme une grande matrice, la résolution de ce système global donne la solution approchée au problème.

##### 4.1 Théorie et pratique

Les logiciels modernes utilisant la méthode des éléments finis bénéficient d'une interface graphique rendant leur utilisation relativement simple. Par ailleurs, un certain nombre de tâches sont automatisables. On peut donc quasiment lancer un calcul sur ordinateur sans connaître la méthode. Cependant, le modèle utilisé risque d'être inadapté au problème, on aura donc un résultat très éloigné de la réalité. L'utilisateur doit avoir des connaissances suffisantes pour être en mesure de maîtriser le modèle, c'est-à-dire utiliser les options permettant de représenter le plus fidèlement possible la réalité. Contrôler la qualité du résultat, détecter les résultats manifestement erronés interpréter les résultats, et éventuellement les post-traiter, c'est-à-dire utiliser les résultats pour faire d'autres calculs

##### 4.2 Méthodologie

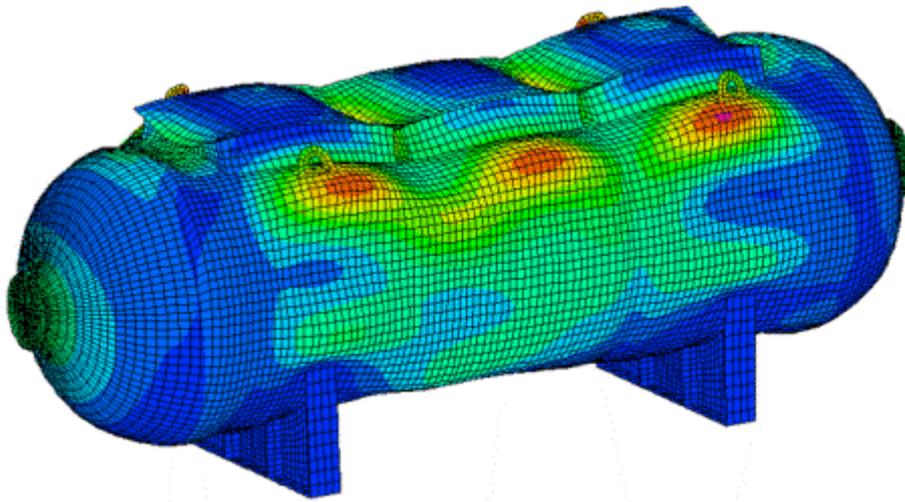
La méthode des éléments finis (MÉF) consiste donc à :

- découper le modèle spatial en éléments finis : c'est le maillage
- écrire une version simplifiée de l'ÉDP sur chaque élément fini, notons que les conditions limites d'un élément ne sont pas connues, on ne connaît que les conditions globales ;
- rassembler les expressions des ÉDP locales pour appliquer les conditions aux limites du problème.

D'un point de vue pratique, la mise en œuvre de la méthode comporte les étapes suivantes :

1. Analyse du problème : définition de l'objectif du calcul, recherche des zones pouvant poser problème, éventuellement calcul manuel avec un modèle très simplifié pour avoir un ordre de grandeur du résultat.
2. Définition du modèle de calcul : la géométrie du système est dessinée avec un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO). Si le modèle numérique (= sur ordinateur) existe déjà (par exemple pièce dessinée par un bureau d'étude), il faut simplifier la géométrie afin d'avoir un calcul :
  - plus rapide (modèle « léger ») ;

- ne présentant pas de singularités : les singularités sont des points particuliers se comportant mal vis-à-vis de l'algorithme de calcul ; en ces point-là, les résultats sont en général éloignés de la réalité.
3. Maillage : découpage du modèle en éléments finis ; il convient de choisir des formes d'éléments adaptés, permettant d'avoir un maillage régulier, et de vérifier la qualité du maillage. Le maillage est fait par l'ordinateur suivant les paramètres définis par l'utilisateur.
  4. Calcul, fait par l'ordinateur.
  5. Affichage des résultats, vérification de leur cohérence et post-traitement.



**Figure 3.2** : exemple d'un réservoir traité par la méthode des éléments finis

## 5. Présentation du logiciel de modélisation

**Solidworks** est logiciel CAO (conception assisté par ordinateur) et DAO (dessin assisté par ordinateur) fonctionnant sous Windows.

### 5.1 Historique

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes<sup>2</sup>. Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Franckie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, Mega Bloks, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud et le Ministère de l'Éducation nationale français.

### 5.2 Fonctionnement

SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique (une représentation géométrique d'un objet ou ensemble d'objets en 3D). De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

### 5.3 Les pièces

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra de la culture de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, SolidWorks permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode. Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.

Parmi les fonctions génératrices on trouve :

L'extrusion : déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. La section est définie dans une esquisse (qui apparaît alors dans l'arbre de création comme élément générateur de la fonction). Cette esquisse contient l'ensemble des spécifications géométriques (cotation) nécessaires à la complète définition de la section. Cet ensemble de cotes auquel il faut ajouter la (ou les) longueur d'extrusion constitue l'ensemble des paramètres de la fonction ; il est possible de les modifier une fois la fonction validée.

- **La révolution** : déplacement d'une section droite autour d'un axe, ou extrusion suivant un cercle ou un arc de cercle.
- **Le balayage** : déplacement d'une section droite le long d'une ligne quelconque. Lorsque la génératrice de balayage est gauche, l'esquisse est en 3 dimensions.

#### 5.4 Les assemblages

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). Dans une certaine mesure, ces associations de contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Le mécanisme monté, s'il possède encore des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, etc.).

#### 5.5 Les mises en plan

Les mises en plan concernent à la fois les pièces (dessin de définition) ou les assemblages (dessin d'ensemble). Pour aboutir à un plan fini d'une pièce on peut estimer mettre 2 fois moins de temps qu'avec un outil DAO (temps de conception et exécution du dessin). En effet, en DAO, chaque trait est indépendant, et c'est au dessinateur de savoir quelles entités graphiques sont concernées par une modification. Le logiciel 3D ne fait qu'une projection de l'objet. Les modifications éventuelles sont opérées sur l'objet représenté, et ne concernent pas directement le plan.

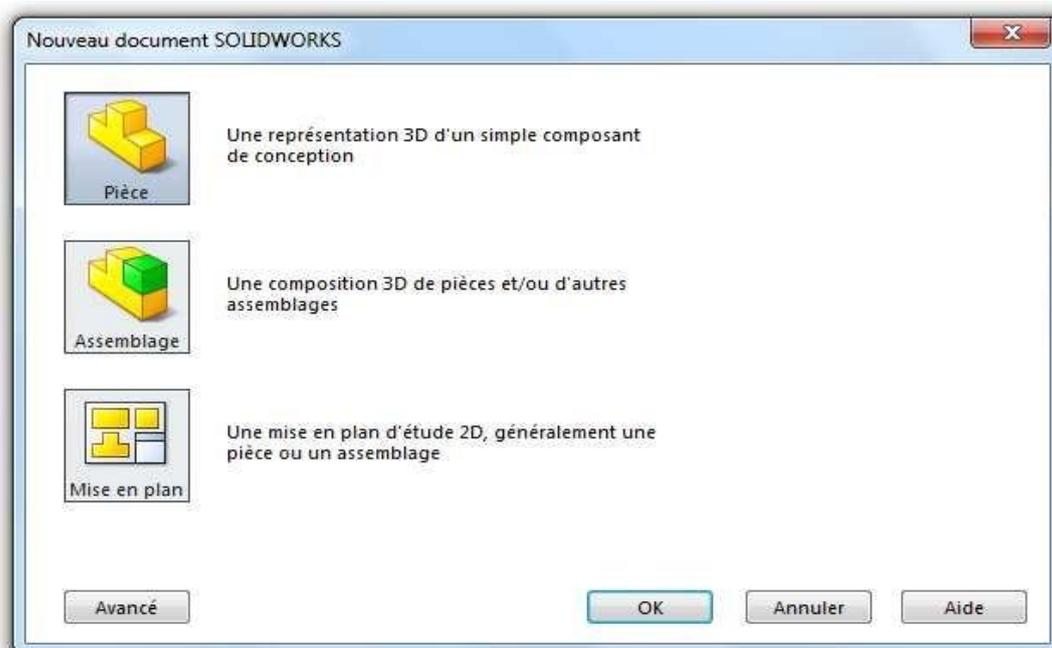


Figure 3.3: les trois options fournies par SolidWorks

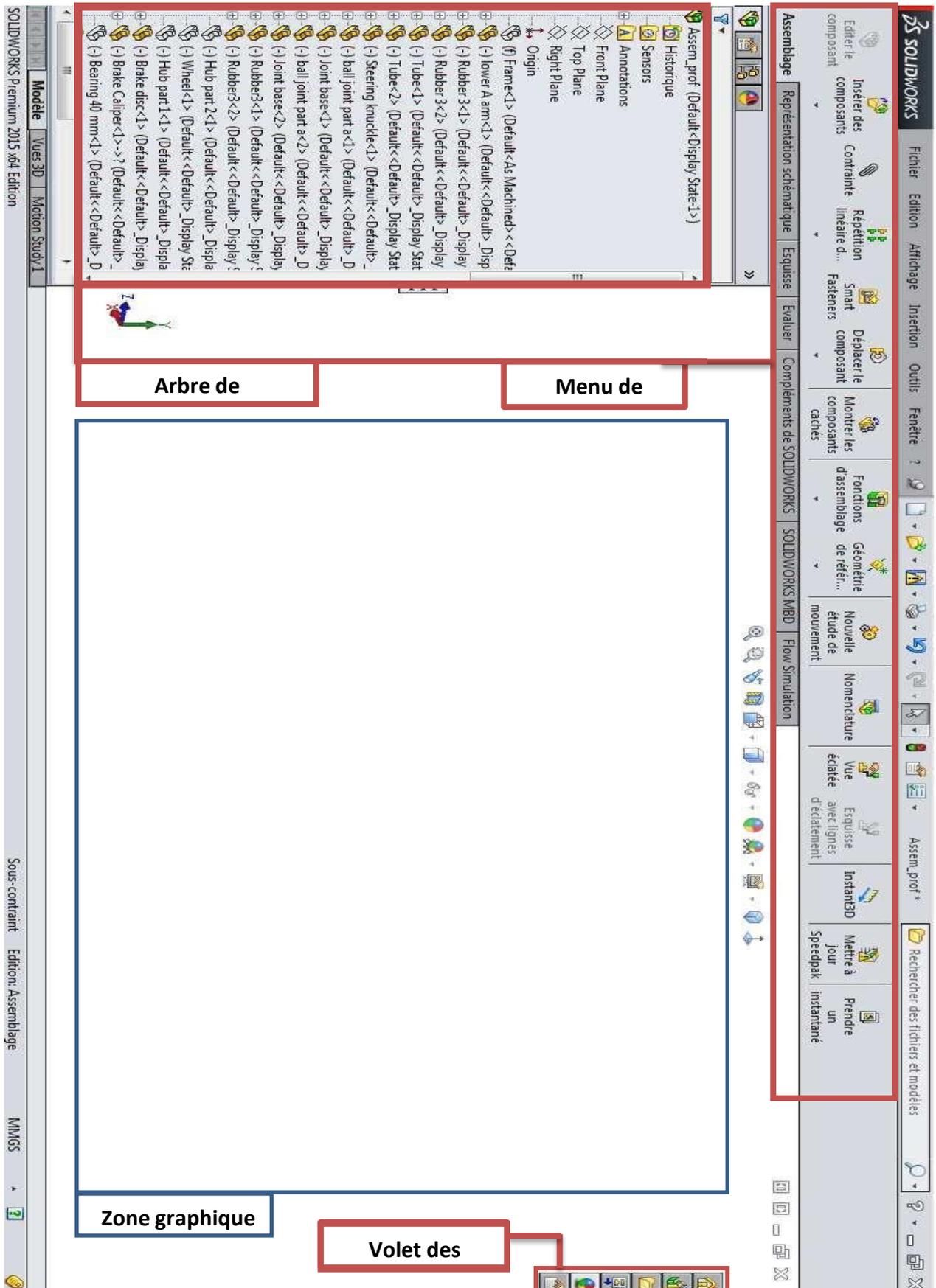


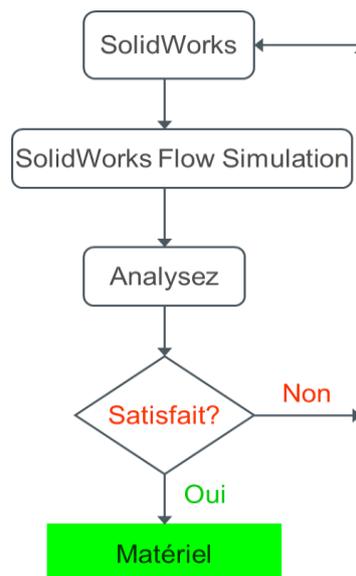
Figure 3.4 : fenêtre ouverte SolidWorks.

### 5.6 SolidWorks flow simulation

- SolidWorks Flow Simulation est un logiciel d'analyse des écoulements de fluide et du transfert thermique entièrement intégré à SolidWorks.
- Permet de simuler le test du prototype de votre modèle dans son environnement fluide de travail. Il vous permet de répondre à la question: Quels sont les effets des écoulements de fluide sur le prototype et les effets du prototype sur les écoulements de fluide?
- Il peut être utilisé par les étudiants, les concepteurs, les analystes, les ingénieurs et les autres professionnels pour produire des conceptions très efficaces et/ou optimiser leur performance.

#### Cycle de conception avec SolidWorks flow simulation

- Utilisez SolidWorks pour créer le modèle.
- Utilisez SolidWorks Flow Simulation pour simuler l'environnement fluide de l'objet et les effets thermiques.
- En fonction des résultats, modifiez le modèle et exécutez des simulations jusqu'à ce que la conception vous convienne.
- Fabriquez le modèle.



#### Domaine computationnel

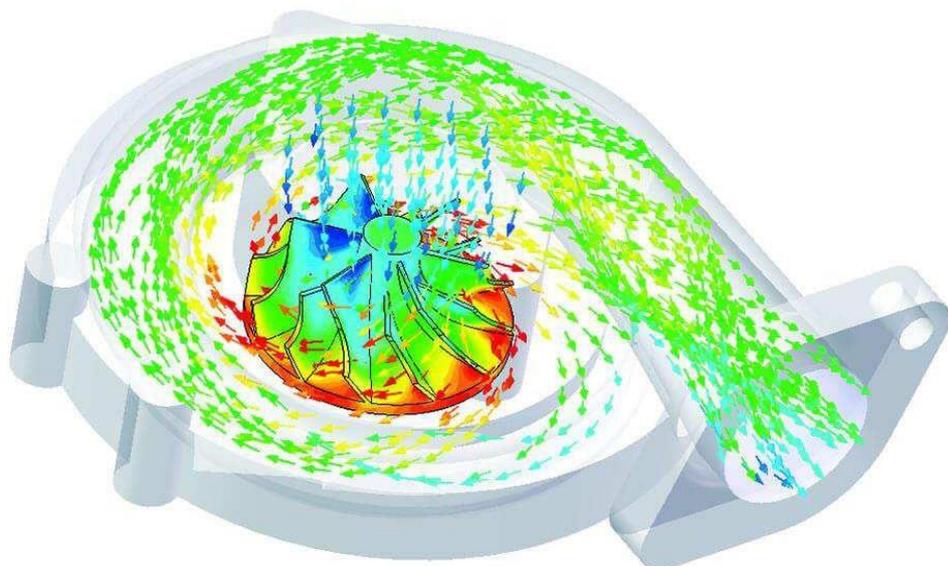
- Le domaine computationnel est un prisme rectangulaire dans lequel le calcul est effectué. Les plans aux limites du domaine computationnel sont orthogonaux aux axes du système de coordonnées cartésien.
- Dans le cas d'un problème interne, le domaine computationnel enveloppe le volume fluide dans un modèle. Si le transfert thermique dans les parois est envisagé, les parois du modèle sont également incluses.
- Dans le cas d'une analyse externe, le domaine computationnel couvre l'espace environnant du modèle

**Etape principale de l'analyse**

- Définir le type de l'analyse, les fonctions physiques, les fluides et les solides.
- Spécifier les conditions aux limites.
- Définir les objectifs de votre analyse.
- Mailler le modèle. Il s'agit d'une série d'étapes automatiques au cours desquelles le code fractionne le modèle et le domaine computationnel en cellules de calcul.
- Exécuter l'analyse. Si nécessaire, vérifier la convergence.
- Visualiser les résultats.

**Objectif de l'analyse**

- Calcul des paramètres du champ d'écoulement (pression, température, densité, vitesse, concentrations, etc.) en tout point, surface ou volume du domaine computationnel.
- Calcul de température en tout point du modèle.
- Calcul des phénomènes transitoires sur l'ensemble du champ d'écoulement.
- Calcul des forces et des moments, des coefficients aérodynamiques.
- Calcul de la distribution des contraintes de cisaillement générées par le champ d'écoulement.
- Calcul des débits massiques et volumiques par l'intermédiaire de vos appareils.
- Détermination des chutes de pression, de la résistance hydraulique.
- Calcul des flux de chaleur, des coefficients de transfert thermique.
- Calcul des trajectoires de particules dans le champ d'écoulement et des paramètres d'interaction des particules avec le modèle.



**Figure 3.5 :** simulation de l'écoulement dans une pompe centrifuge

### 5.7 SolidWorks simulation

SolidWorks Simulation est un Logiciel propriétaire de simulation informatique dans le domaine de la mécanique structurelle, utilisant la méthode des éléments finis et fonctionnant sous Microsoft Windows.

#### Fonctionnement

SolidWorks Simulation est un logiciel de calcul par éléments finis intégré à SolidWorks. Il utilise les fichiers pièces et assemblages auxquels il intègre des études dans chacune desquelles sont définis les matériaux, les chargements, les conditions aux limites ainsi que les paramètres de maillage et d'analyse. Les résultats sont contenus dans un fichier portant l'extension CWR.

Sous SolidWorks on peut faire presque tous les études qui existent dans l'industrie mécanique, on peut faire une étude statique, dynamique, non-linière.....etc.

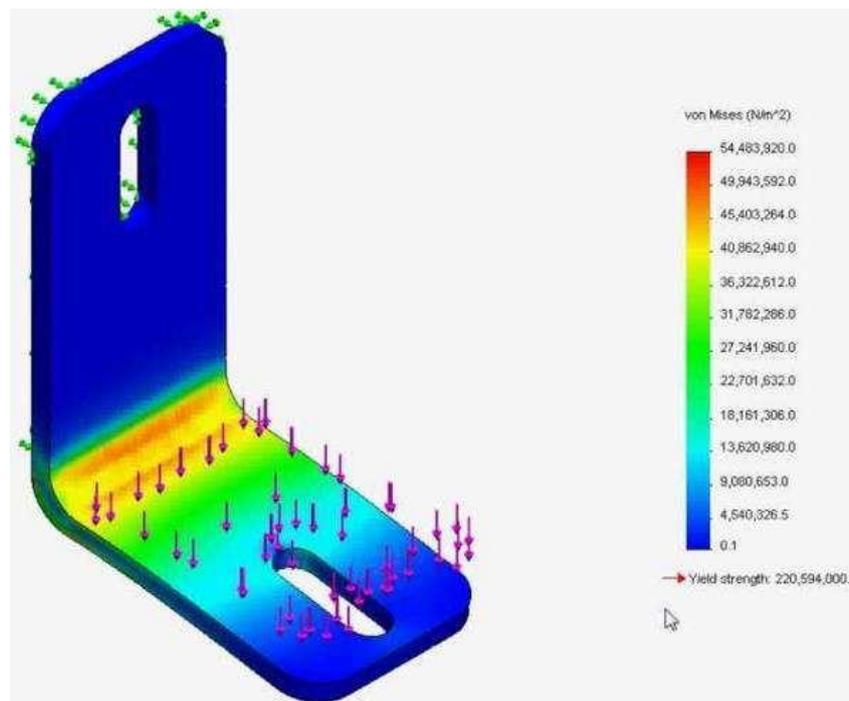


Figure 3.6 : support en flexion sous SolidWorks simulation (étude statique)

# 4 Conception de la colonne C-101

Dans ce chapitre on va construire la colonne sous SolidWorks en respectant les normes imposé par le constructeur. Les composants réalisés sont :

Les fonds supérieur et inférieur..... Norme ASME

L'enveloppe de la colonne..... Dessin technique

Les brides..... Norme ANSI

Les trous d'homme ..... Norme ANSI

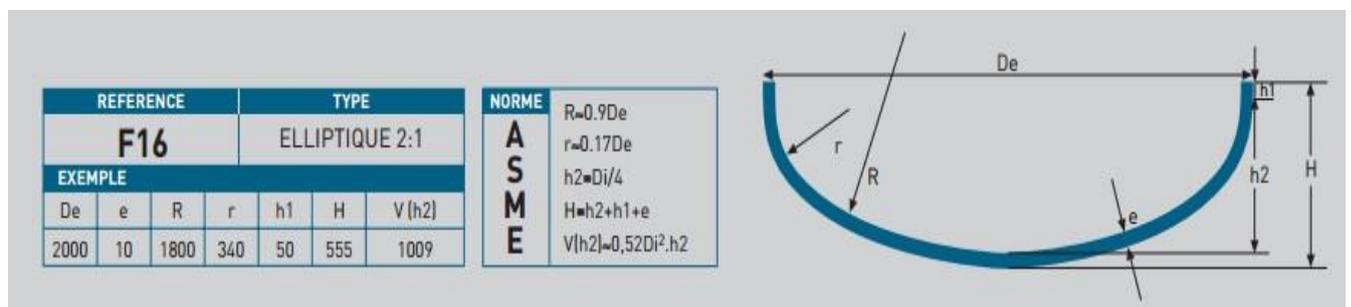
La jupe..... Dessin technique

Les plateformes ..... Norme ASTM (n'est imposé par le constructeur, utilisé afin de compléter la forme pour l'étude aérodynamique)

Puis on va faire l'assemblage de tous ces composants pour obtenir la forme finale de la colonne

## 1. Fond supérieur/inférieur :

Partant du modèle utilisé par le constructeur (« **FOND ELL 2:1** (fond elliptique) » Annexe A) illustré sur le dessin technique de la colonne suivant la norme **ASME** (American Society of Mechanical Engineers), on peut esquisser le profil de révolution toute en appliquant les règles suivantes :

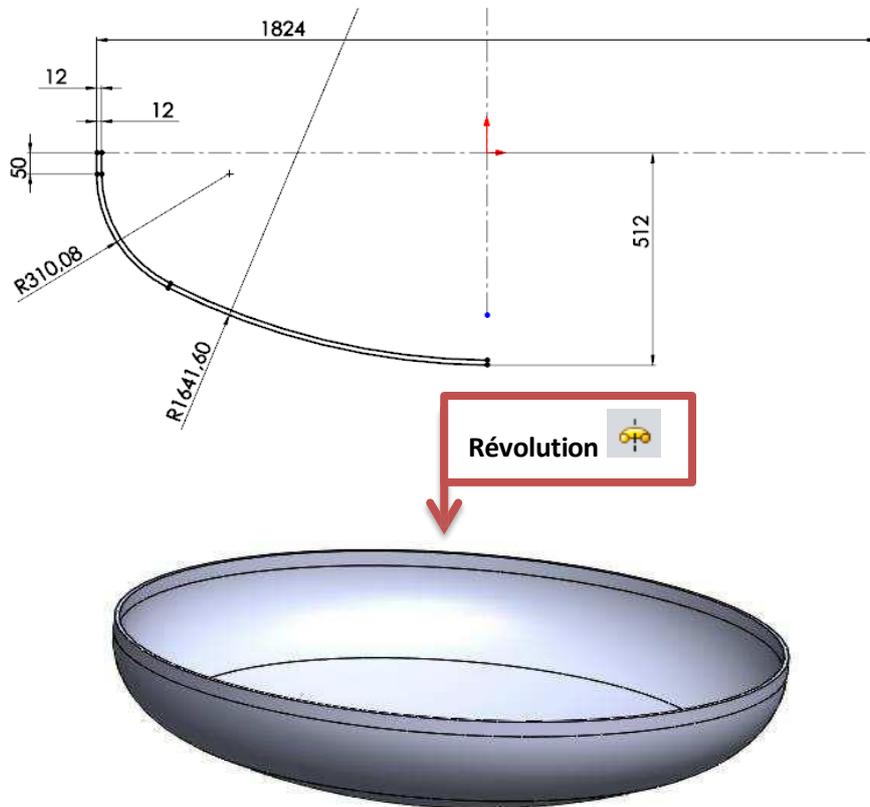


**Application numérique :**

Fond inférieur :  $De = 1824$  mm,  $R = 1641.60$ ,  $r = 310.08$  mm,  $H = 512$  mm

Fond supérieur :  $De = 1220$  mm,  $R = 1098$ ,  $r = 207.4$  mm,  $H = 350$  mm

Puisque on cherche à appliquer une fonction de révolution  il suffit de dessiner un demi profile :



**Figure 4.1 :** fond inférieur (esquisse/extrusion 3D)

**2. Enveloppe :**

C'est une coque multi-épaisseur de 31,78 m d'altitude, composée de trois parties :

**2.1 Partie inférieur :**

Une forme cylindrique d'épaisseur 12 mm assemblée avec le fond inférieur par une soudure en bout ...annexe A

**2.2 Partie supérieur :**

Une coque de d'épaisseur 10 mm assemblée avec le fond supérieur par une soudure en bout ...annexe A

**2.3 Partie intermédiaire :**

Une coque conique d'épaisseur 12 mm reliant les deux parties citée au-dessus.

Esquissant le demi-profil de chaque composant en respectant leur dessin technique (annexe A) en n'appliquant aucune règle de base :

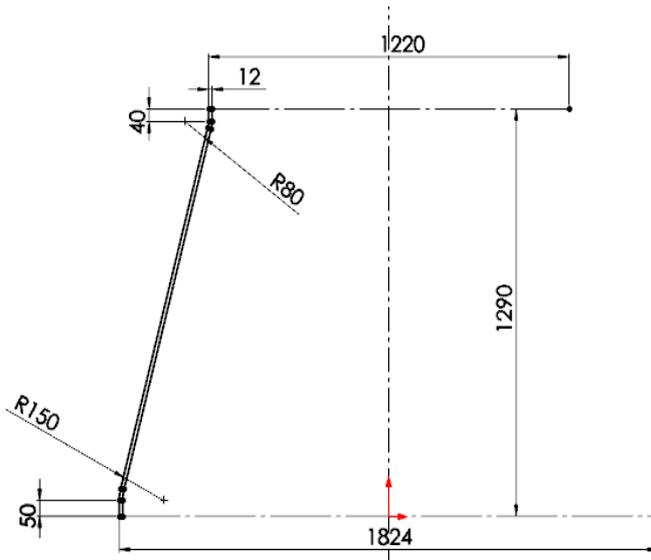


Figure 4.2 : esquisse de la partie conique de la colonne

Faisant la révolution  de chaque profil en assemblant :

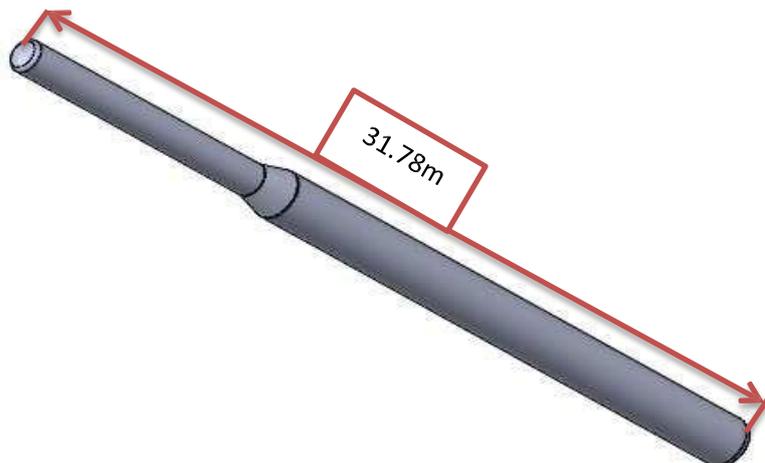


Figure4.3 : l'enveloppe de la colonne

**3. Bride :**

Sur la colonne on peut trouver de nombreux types de brides classés suivant la pression (lb) selon la norme **ANSI B16.5** :

BRIDE	CLASSE lb	NPS (pouce/inch)	TYPE DE BRIDE
N8C/D	300	3	WN
N15B	600	1	LWN
N9A	300	3	LWN
N9B	300	2	LWN
N8C	300	3	WN
N8A/B	150	10	WN
N5/N6	600	10	WN
N4A/B/C	600	1	LWN

N13D	150	1 1/2	LWN
N2	150	6	WN
N7/ (N11A/B)	150	3	LWN
N1	150	3	WN
N3/N10	150	5	WN
N14	150	4	WN

-NPS (nominal pipe size) : diamètre nominale.

-WN/LWN : welding neck/long welding neck

**NOTE** : pour certain bride on avait un manque de donnée, donc on a supposé qu'elles suivent les autres dimensions que nous connaissons.

**3.1 Règle de base :**

prenant l'exemple de N15B : NPS =1", de classe 600# et de type LWN. En faisant sortir les dimensions du brides à partir de l'annexe B . On aura l'esquisse suivante :

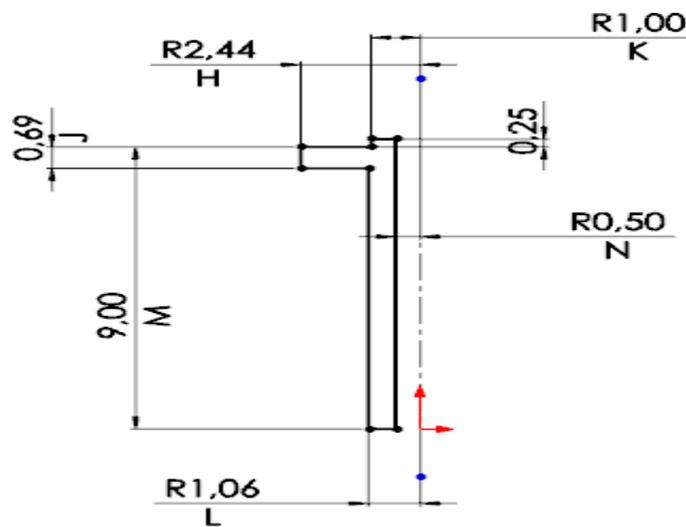
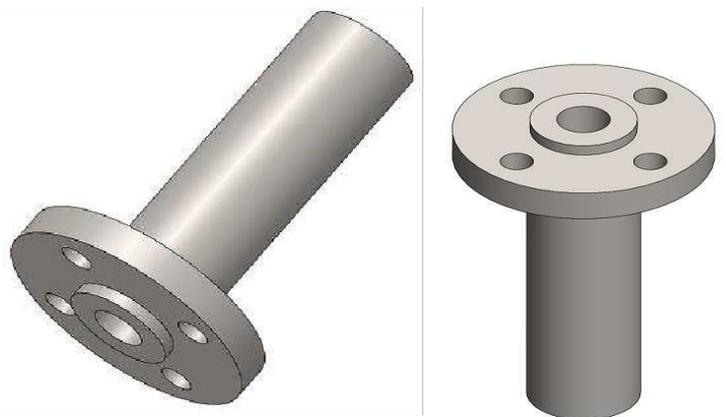


Figure 4.4 : esquisse de la bride LWN

En Faisant la révolution  on aura :



4. Trou d'homme :

M1A	150	24	WN
M1B	150	24	WN
M1C	150	24	WN
M1D	150	24	WN
M1E	150	24	WN

Appliquant la même règle (des brides) et suivant les dimensions citées sur le dessin technique :....annexe A



Figure 4.5 : trou d'homme en trois vues

### 5. La jupe :

Pour ce type là on ne suit aucune règle de base, même en industrie les ingénieurs disent que le choix du type de la jupe est lié au sens de l'ingénieur (l'expérience), donc on suit seulement le dessin tel qu'il est .....Annexe A :



Figure 4.6 : vue en coupe de la jupe



Figure 4.7 : la jupe

6. La plateforme :

Elle est montée sur la colonne afin de faciliter le déplacement des ouvriers lorsqu'ils font la de maintenance,

6.1 Règle de base :

La plateforme doit satisfaire les besoins d'entretien, de la sécurité des ouvriers et bien sûr la stabilité de la structure.

Afin de pouvoir réaliser une plateforme avec toutes ces conditions, il faut suivre une norme internationale et puisque on avait comme toujours un manque de donnée, on a utilisé la norme ASTM (American Society of Testing and Materials) afin de compléter la forme de la colonne pour l'étude suivante :

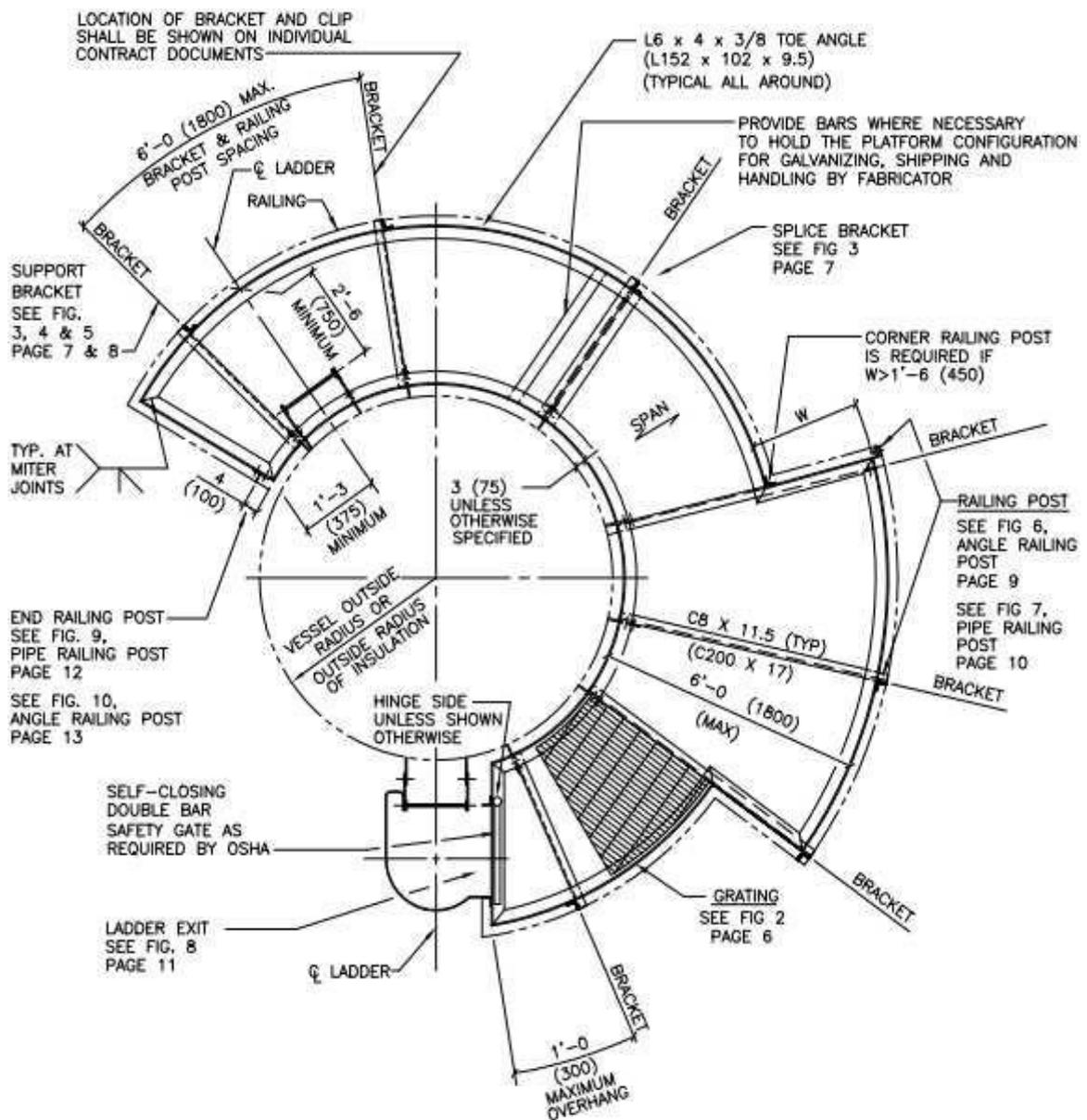
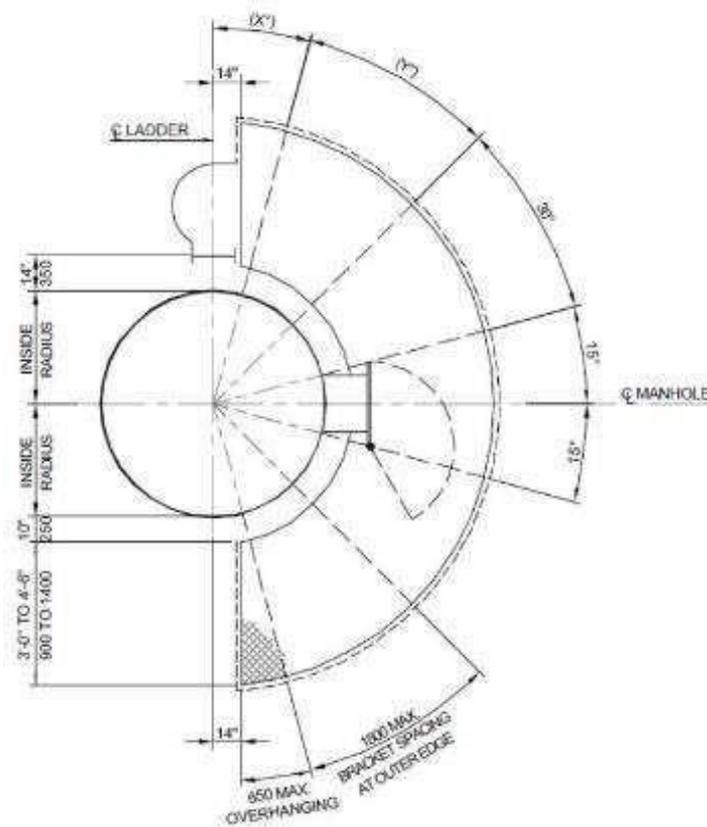


Figure 4.8 : un dessin plan typique d'une plateforme montée sur l'enveloppe de la colonne

Afin de réaliser le model 3D de la plateforme on suit les étapes suivantes :

- **Etape1** : déterminer l'espacement entre les supports portants selon la règle suivante.... Réf



BRACKET SPACING

VESSEL I.D.	X°	Y°
UPTO TO 1220MM (Ø4')	30°	60°
1220 TO 2440 (4') (8')	22.5°	45°
2440 TO 5180 (8') (17')	15°	30°
5180 TO 7620 (17') (25')	11.25°	11.25°

Figure 4.9 : l'espacement typique entre deux supports

Y : l'espacement entre deux supports

X : l'espacement maximal de la grille à partir du dernier support

Pour notre cas le diamètre de la partie inférieur vaut 1824 mm donc Y=45° et X=22.5° qui correspond à une distance de 1567 mm inférieur à la limite (1800mm) déterminé par le standard ASTM

- **Etape2** : déterminer les dimensions d'une grille typique

Suivant la norme les dimensions de la barre formant la grille sont 31x5 et sa forme est comme suit :

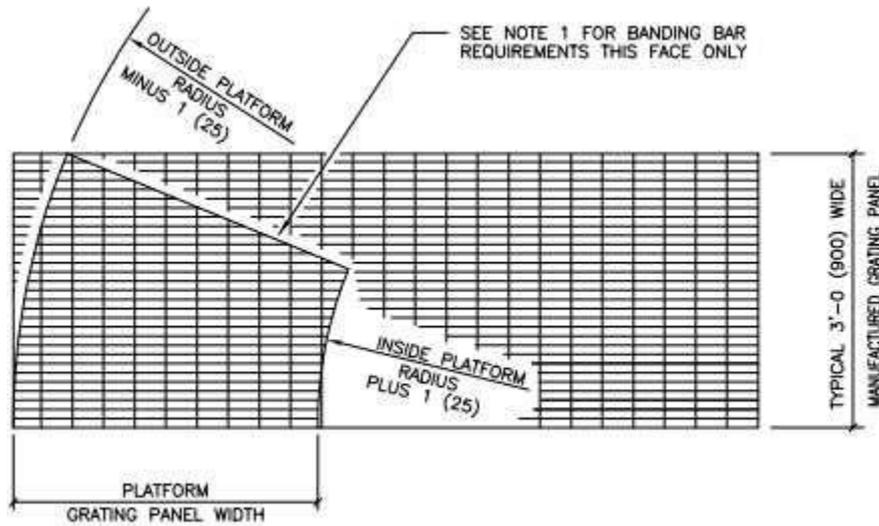


Figure : une grille typique pour une plateforme circulaire

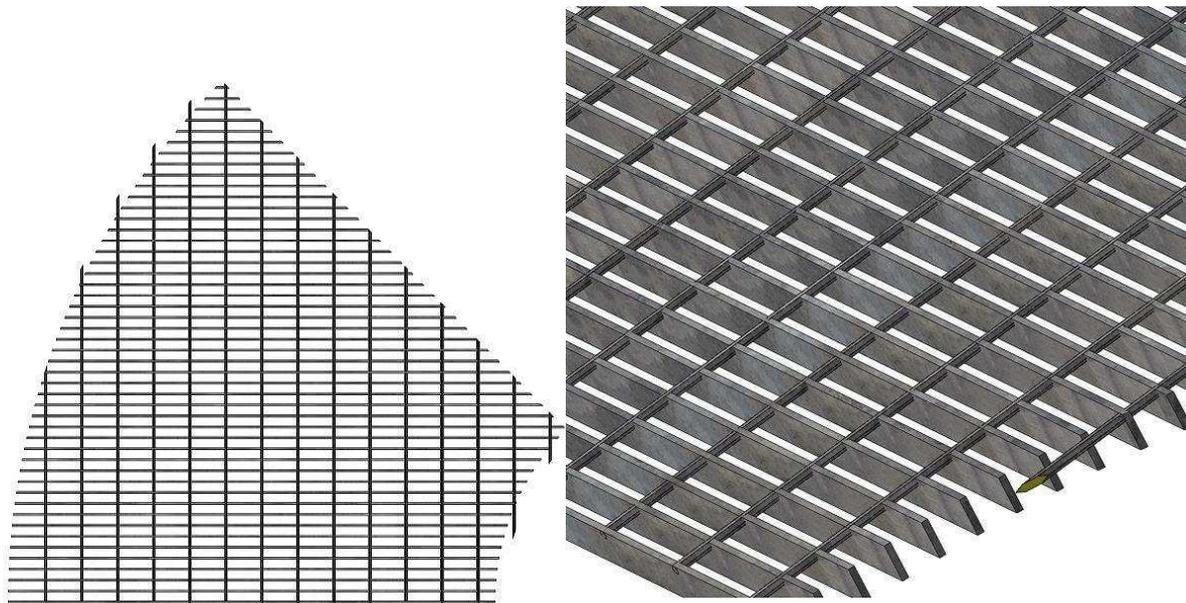


Figure 4.10 : model 3D de la grille

- **Etape3** : la modélisation des autres parties de la plateforme en assemblant :

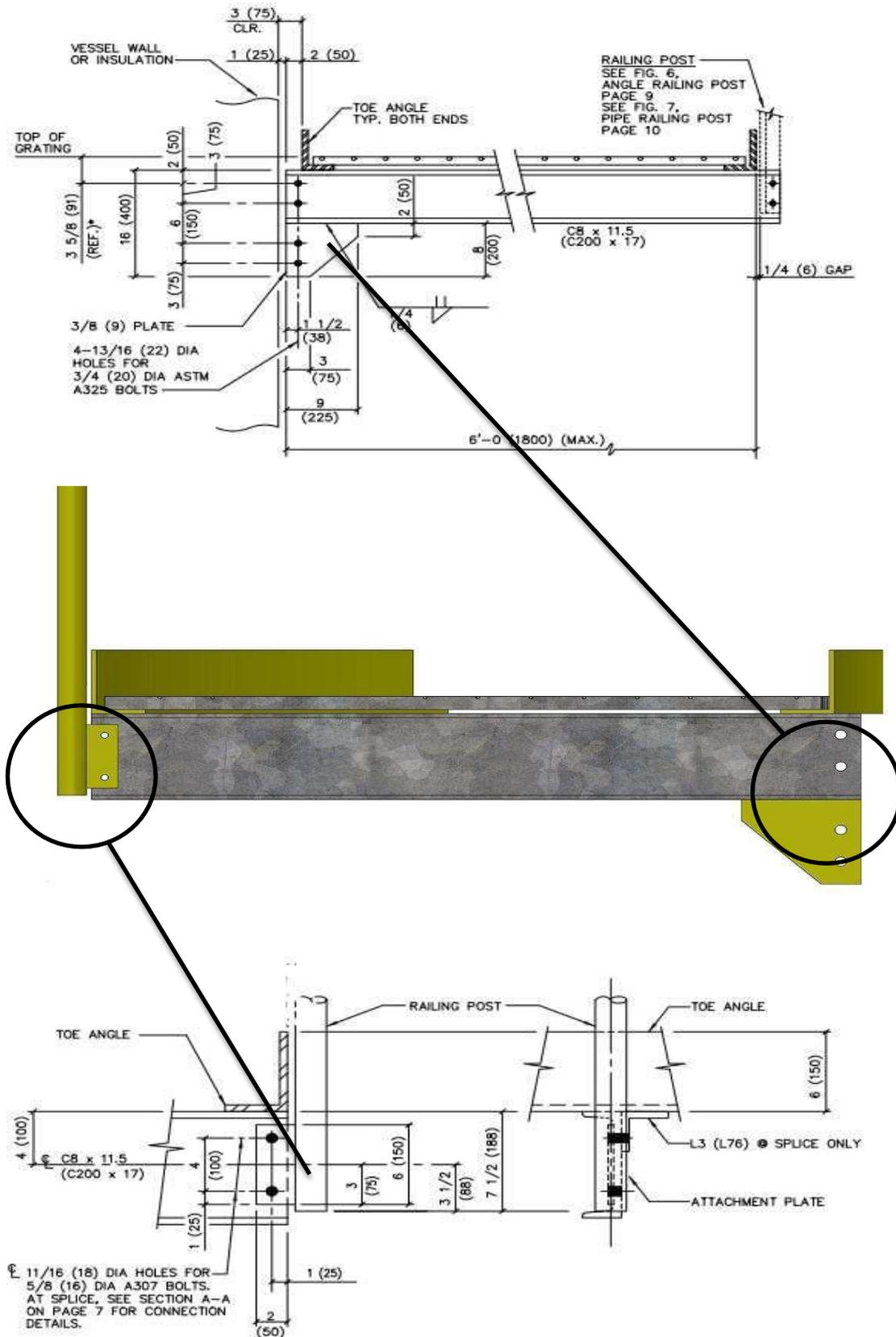


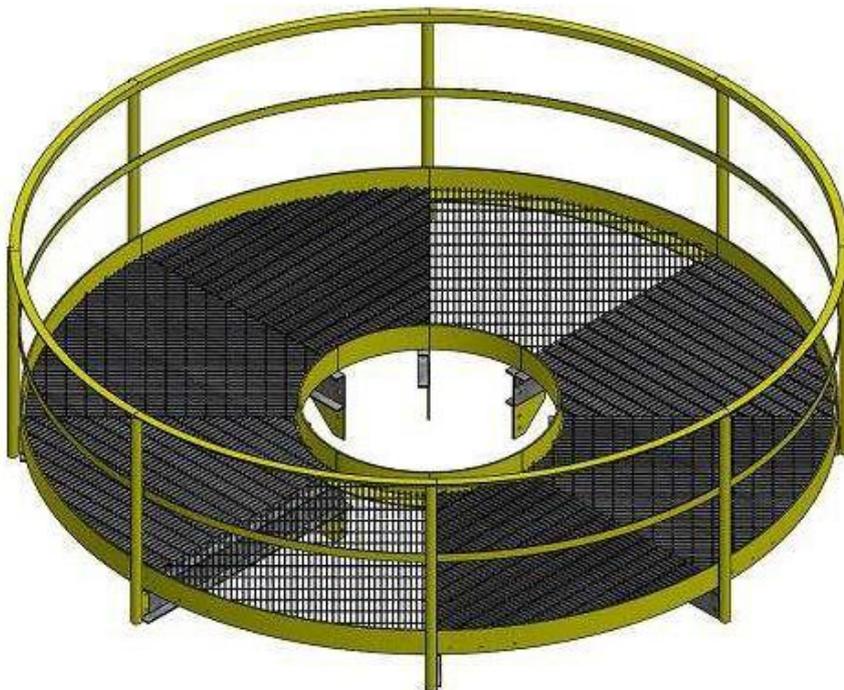
Figure 4.11 : le model du support

En assemblant les composants construits précédemment :



**Figure 4.12** : une partie de la plateforme circulaire montée sur la colonne

En faisant une répétition circulaire on aura la forme finale :



**Figure 4.13** : model 3D de la plateforme circulaire

7. Assemblage finale de la colonne :

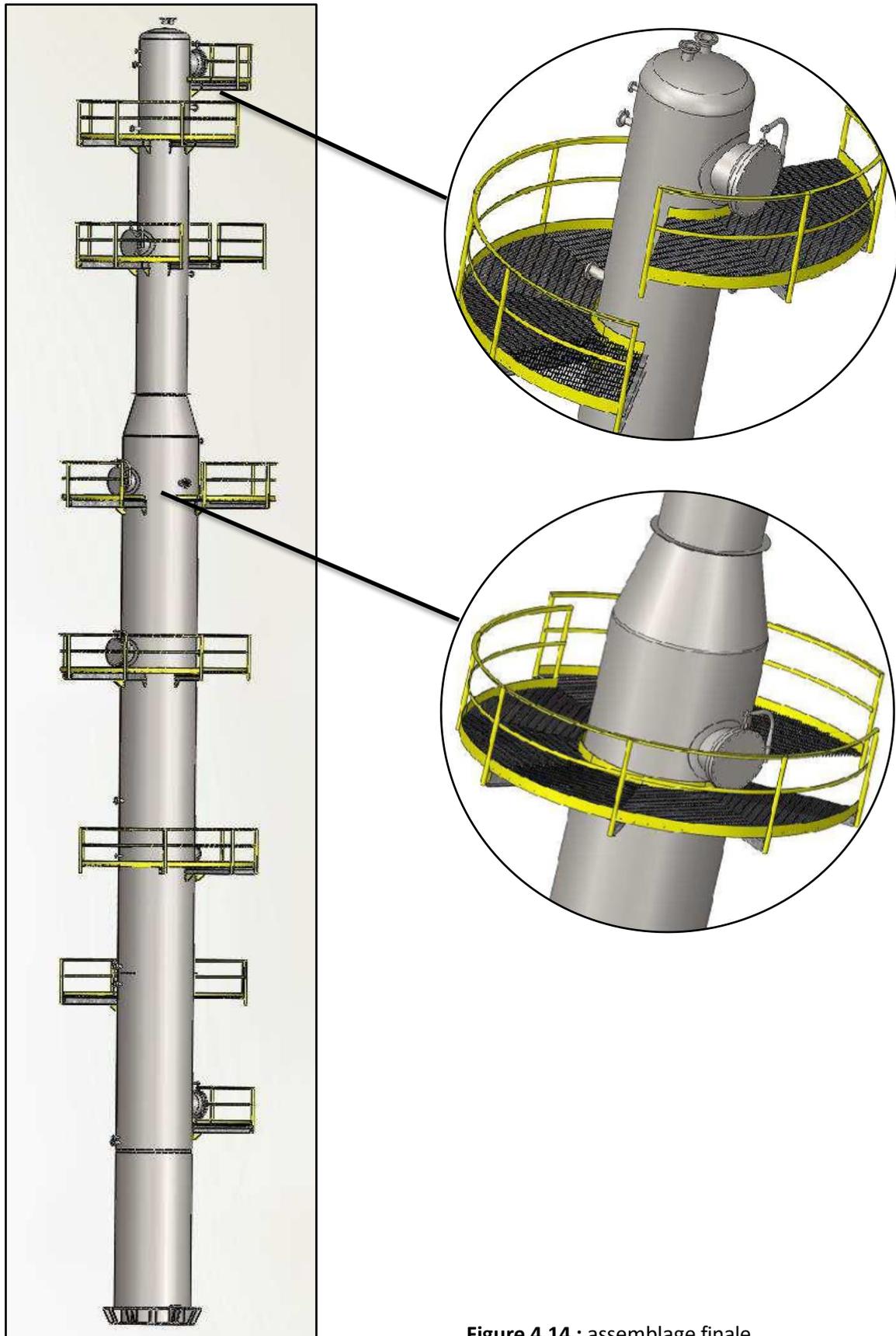


Figure 4.14 : assemblage finale

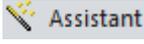
# 5 Simulation de l'action du vent sur la C-101

Dans ce chapitre, on va expliquer brièvement la simulation de l'écoulement d'air autour d'une structure pétrochimique. On a six étapes principales à suivre :

1. L'introduction des paramètres de simulation ;
2. Définition du domaine de calcul (analogie du test en soufflerie);
3. Dimensionnement et raffinement du maillage ;
4. Exécution ;
5. Examiner les résultats ;
6. Vérification des résultats ;

Puis on va exporter les résultats obtenus vers le chapitre suivant afin de vérifier la stabilité de la colonne.

## 1. L'introduction des paramètres de simulation :

Après la création du projet à partir de l'outil Assistant  on introduit les paramètres suivants :

- le système d'unité **SI** (système international)
- le type d'analyse **externe**  Externe avec un régime transitoire

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Transitoire</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
..... Temps d'analyse total	1 s
..... Sauvegarde périodique	0 s

- On choisit l'air comme fluide de projet

Fluides du projet	Fluide par défaut
Air ( Gaz )	<input checked="" type="checkbox"/>

- On sélectionne les caractéristiques d'écoulement

Caractéristique d'écoulement	Valeur
Type d'écoulement	Laminaire et turbulent <input type="button" value="v"/>

- On définit une vitesse d'air de 37.5 m/s (une vitesse donnée au site de stage) dans la direction d'axe (oz) là où il y a un maximum d'obstacle sur la structure( bride, trou d'homme....etc.) afin de maximiser l'effet de l'action du vent

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Paramètres de vitesse</b>	
..... Paramètre	Vitesse <input type="button" value="v"/>
..... Défini par	Vecteur 3D <input type="button" value="v"/>
..... Vitesse dans la direction X	0 m/s
..... Vitesse dans la direction Y	0 m/s
..... Vitesse dans la direction Z	37.5 m/s

- Définition des conditions ambiantes (paramètre thermodynamique)

..... Pression	101325 Pa
..... Température	323.2 K

## 2. Définition du domaine de calcul :

La taille du domaine doit être choisie de telle façon à contenir toute la structure, il faut étendre le domaine dans le côté opposé pour mieux visualiser les résultats.

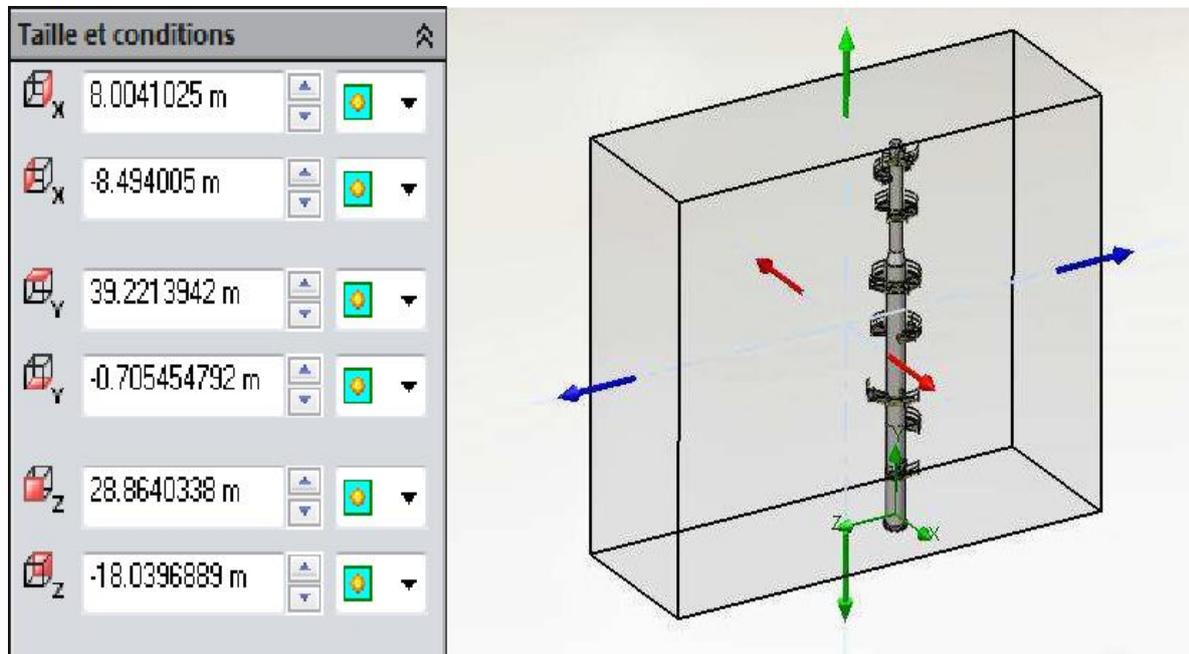


Figure 5.1 : dimensionnement du domaine de calcul

## 3. Dimensionnement et raffinement du maillage :

Dans cette étape on peut contrôler le niveau du maillage initial, les paramètres de control de calcul (le raffinement, la résolution ....etc.)

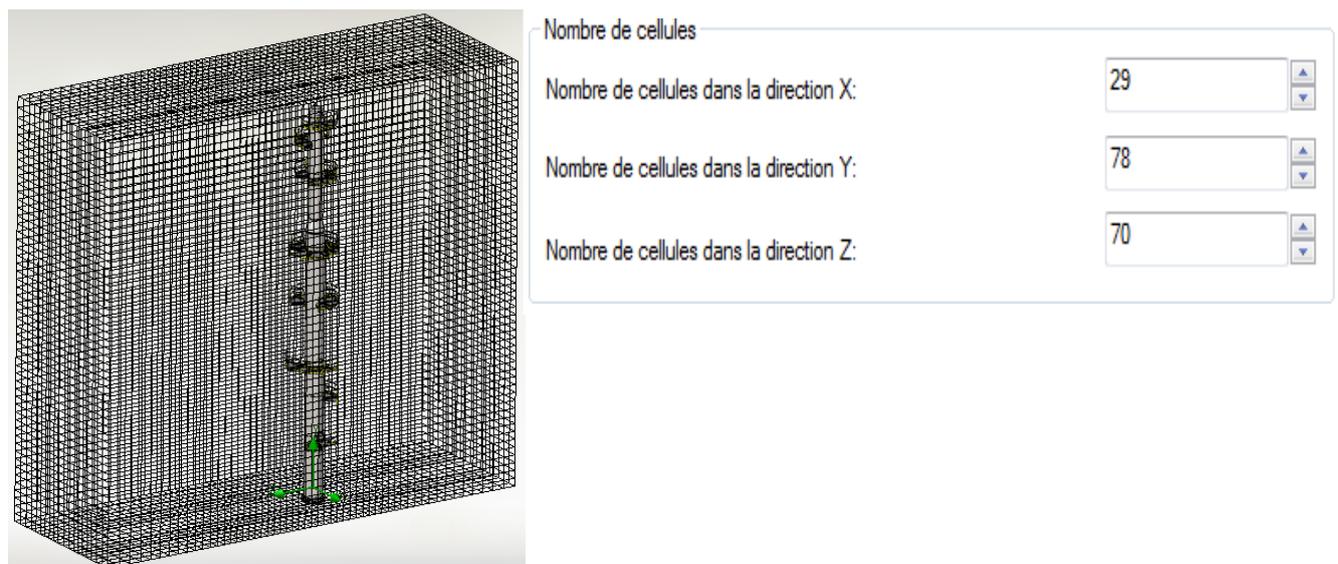


Figure 5.2: maillage initial

Pour mieux capter l'effet dans les zones les plus intéressantes (petit....etc.) autour de la structure on effectue un raffinement à un certain niveau. On aura l'aperçu suivant du maillage :

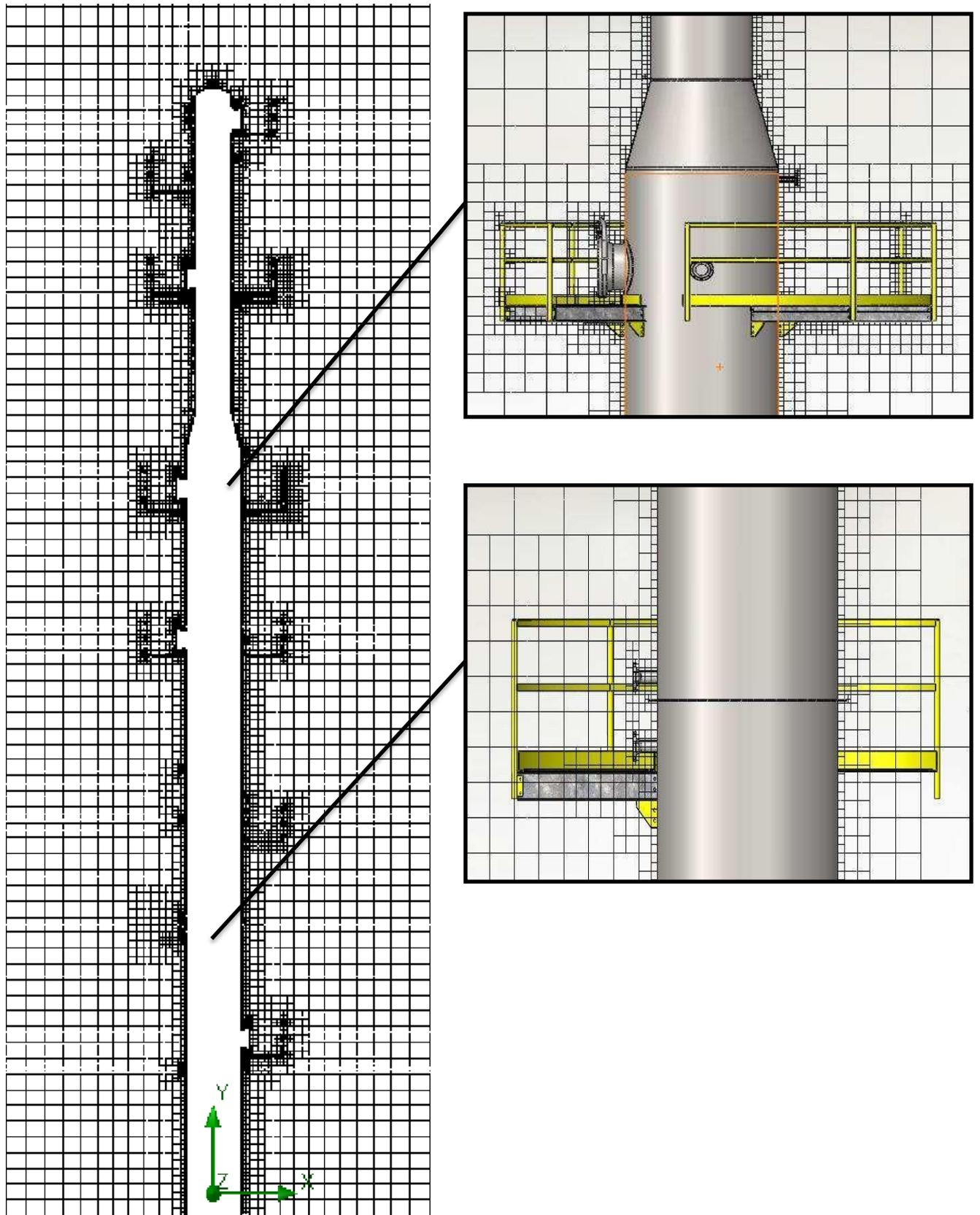
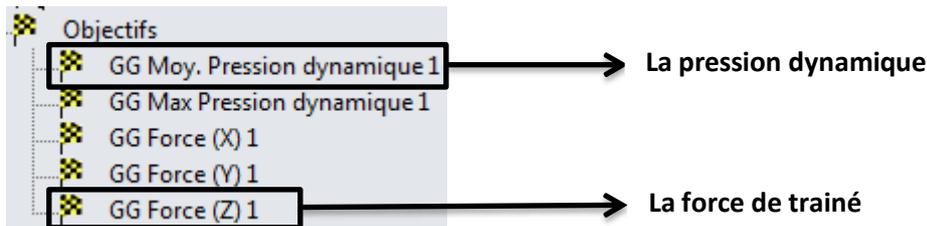


Figure 5.3 : le maillage après le raffinement

4. Exécution :

Avant de lancer le calcul on définit les objectifs suivants :



Après on lance le calcul jusqu'à atteindre la convergence

Nom	Valeur actuelle	Progression	Critère	Commentaire
GG Force (X) 1	1006.52 N	Atteinte (IT = 481)	619.675 N	Critères de vérification
GG Force (Y) 1	3853.45 N	Atteinte (IT = 402)	1076.38 N	Critères de vérification
GG Force (Z) 1	36059.8 N	Atteinte (IT = 402)	17112.4 N	Critères de vérification
GG Max Pression dynamique 1	2503.47 Pa	Atteinte (IT = 402)	320.753 Pa	Critères de vérification
GG Moy. Pression dynamique 1	678.093 Pa	55%	2.42228 Pa	Critères de vérification

5. Résultats :

La force obtenue par simulation suivant (z) est représenté comme suit :

Nom de l'objectif	Unité	Valeur moyen	Valeur minimale	Valeur maximale
GG Force (Z) 1	[N]	36395,231	36059,75183	36774,0166

Examinant la vitesse de l'écoulement dans la direction de l'axe ) dans le plan (YZ)

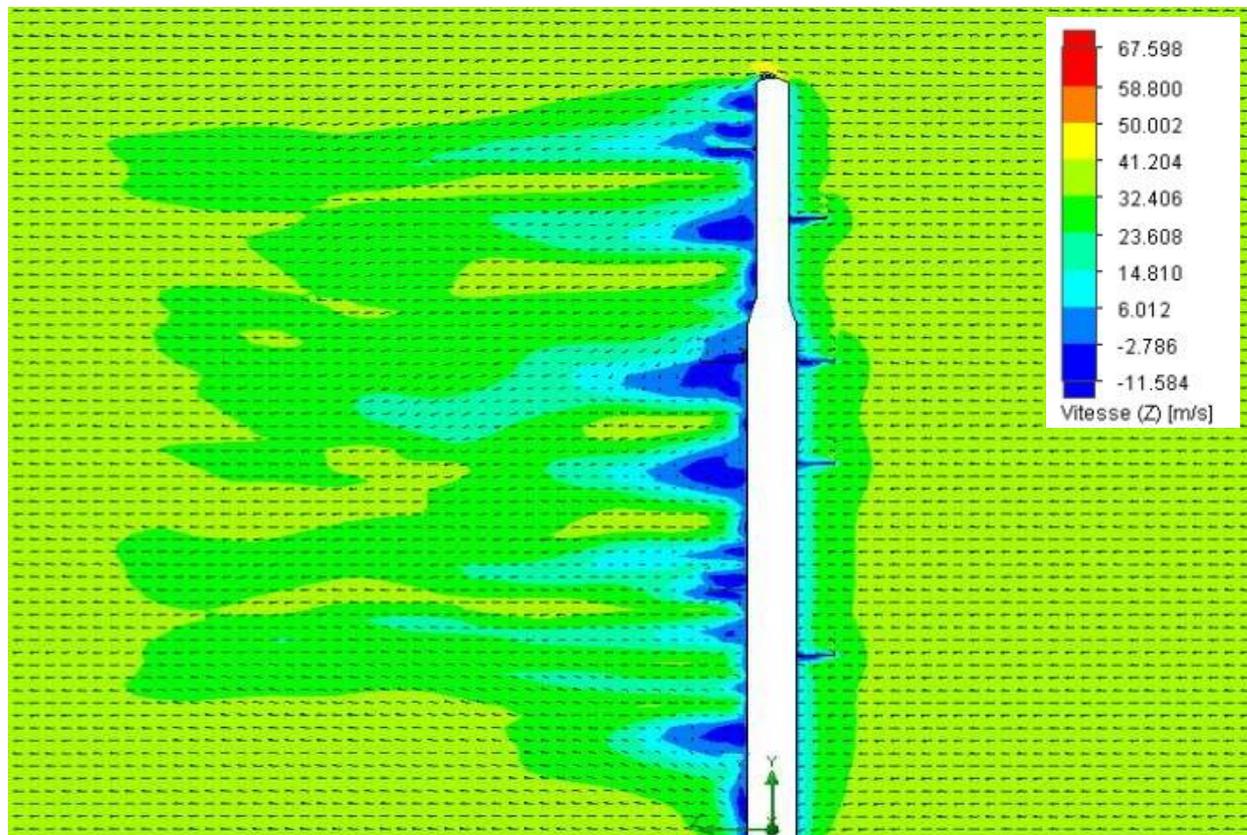


Figure 5.4 : visualisation de la vitesse suivant (z) dans le plan de droite

Dans un autre plan (YX), il apparaisse bien les zones de distribution des vitesses

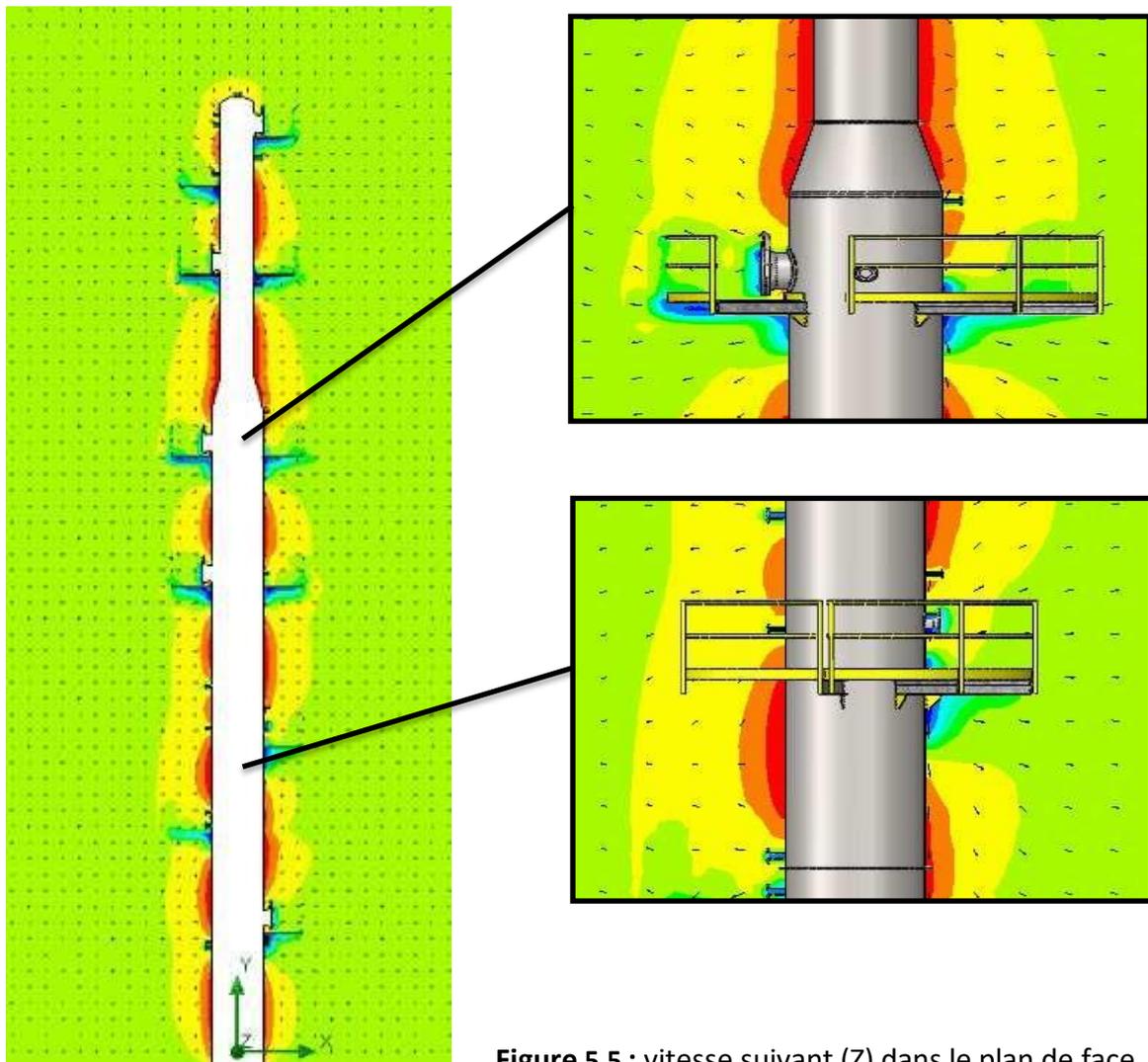


Figure 5.5 : vitesse suivant (Z) dans le plan de face

On constate que la vitesse vient de de diminuer dès qu'elle rencontre l'obstacle (la colonne), elle atteint une valeur maximale de 67.58 m/s (fig), et commence à diminuer jusqu'à une valeur de 2.78 m/s dans la zone de dépression (fig), ce qui semble logique.

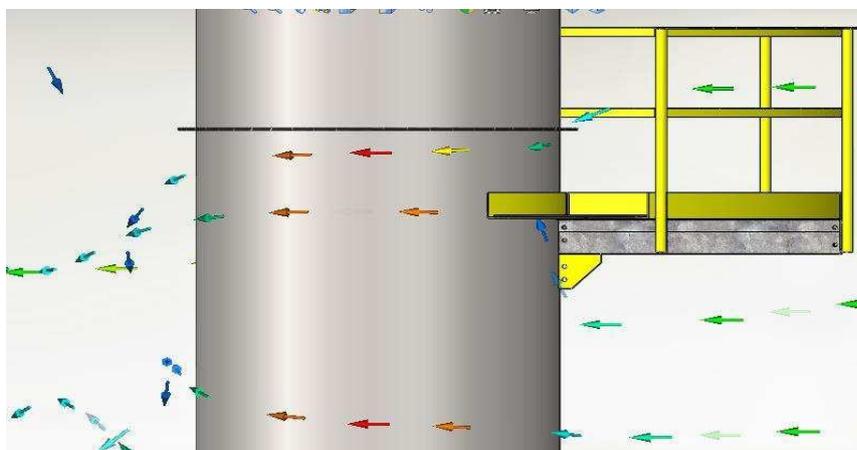


Figure 5.6 : les lignes de courant en trajectoire dynamique

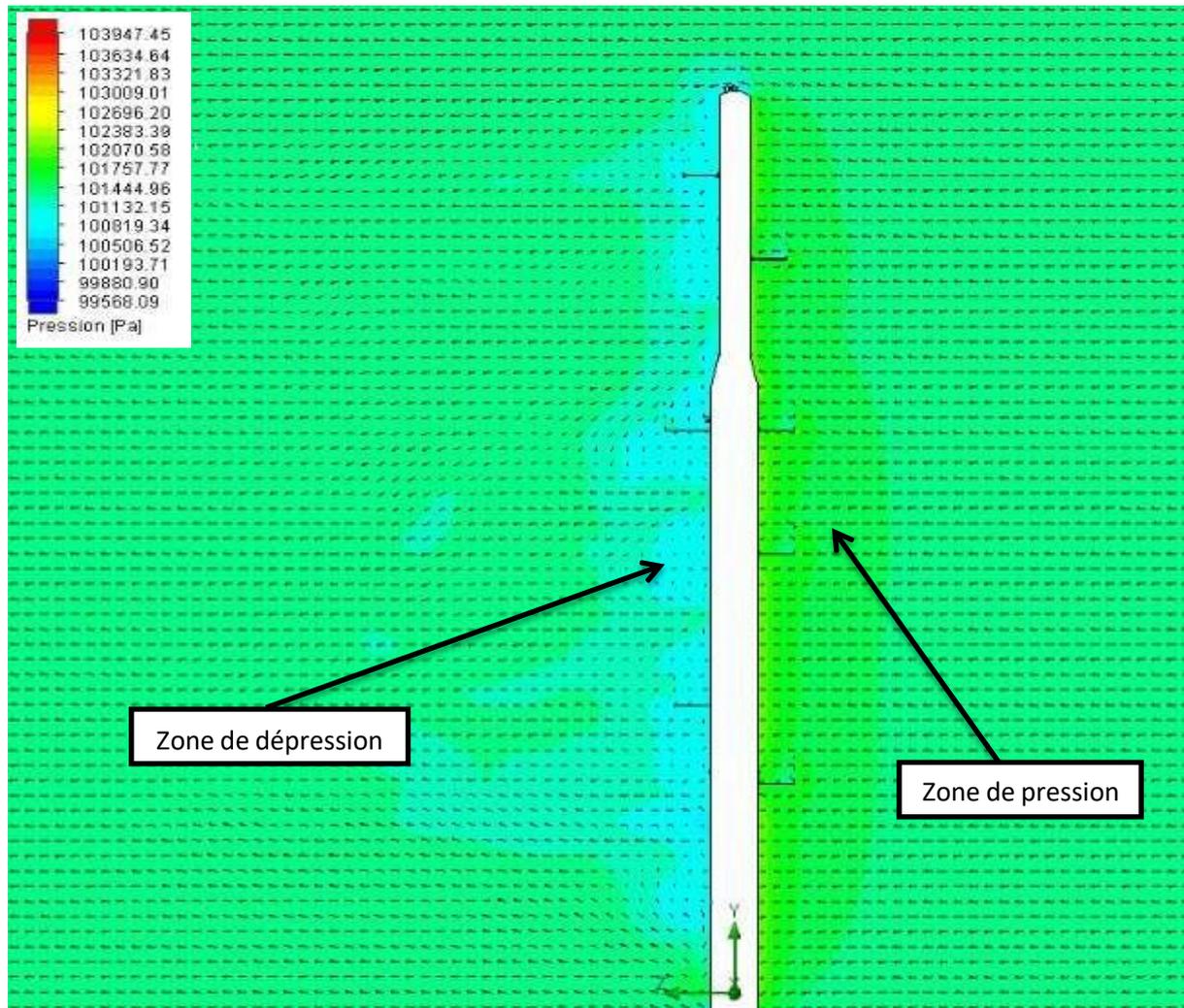


Figure 5.7 : aperçu de la pression

## 6. Vérification des résultats :

Dans cette partie on va vérifier les résultats obtenu numériquement par des solutions analytiques et expérimentales pour prouver que l'étude est réalisée correctement.

a) La première chose à vérifier est le comportement du fluide autour de la colonne :

Généralement, lorsque le vent rencontre un obstacle le côté face au vent subit une pression maximale (zone de pression) et pour l'autre côté on aura une dépression due à l'absence de l'air ce qui est clairement montré dans les figure 1 2 3

b) L'autre paramètre à vérifier est la pression dynamique :

Analytiquement la pression dynamique :  $q = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2$

$\rho_{ar}$  (à 50 C°) = 1.092 Kg/m<sup>3</sup>       $V = 37.5$  m/s

Application numérique :  $q = 767.8$  Pa

Alors que la simulation par SolidWorks flow simulation donne le résultat suivant :

Nom de l'objectif	Unité	Valeur moyen	Valeur minimale	Valeur maximale
GG Moy. Pression dynamique 1	[Pa]	679,8557144	678,0932969	682,4347318

Puisque les oscillations sont moins perceptibles dans cette étude, la valeur moyenne est la plus préférée dans ce cas []. Donc les résultats calculés analytiquement et numériquement sont presque identique.

L'erreur relative :  $P = \frac{|valeur\ approchée - valeur\ réelle|}{valeur\ réelle}$

Application numérique :  $P = 0.09$

c) Le troisième paramètre à vérifier est le coefficient de trainée :

Pour une structure complexe tel que la colonne étudiée, la vérification du coefficient de trainée s'effectue par des tests appelés test de soufflerie (Wind tunnel test), et tant que ces tests ne sont pas disponible, on se procède à un autre alternatif, c'est de prendre une partie cylindrique de la colonne, c'est une forme ordinaire déjà examiné expérimentalement avec une base de donné disponible présenté sous forme d'un diagramme  $C_d = F(R)$ .

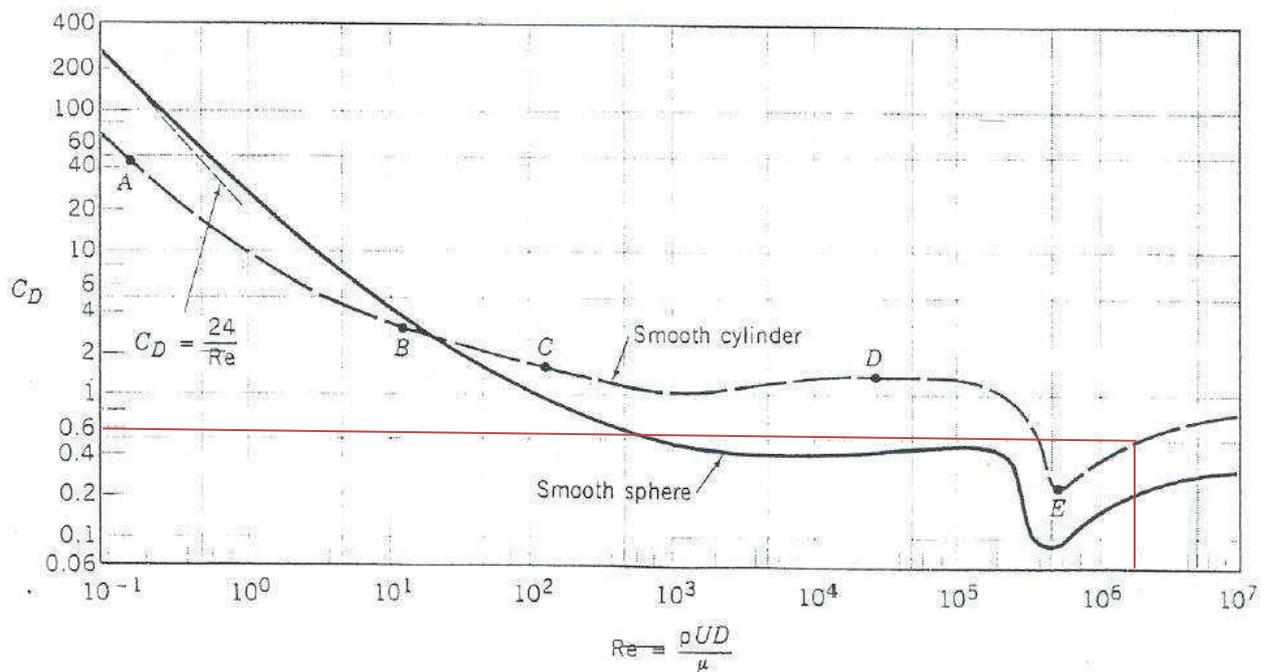


Figure 5.8 : coefficient de trainée pour une sphère et un cylindre

Afin de réaliser l'étude de vérification on installe le domaine sur une partie cylindrique de la colonne, ce qui est montré dans la figure suivante :

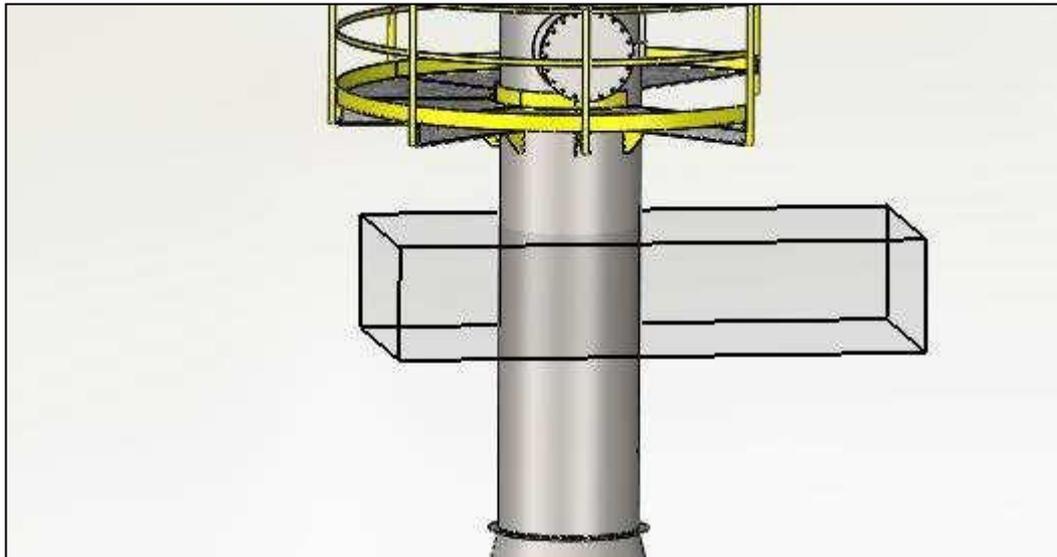
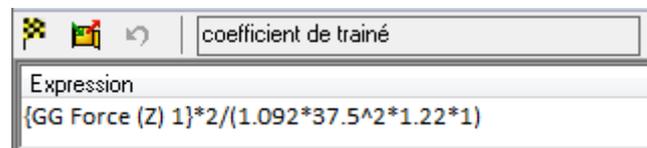


Figure 5.9 : domaine de calcul

Avant d'exécuter le calcul on installe l'équation objective suivante qui permet à SolidWorks de comprendre qu'on veut obtenir la valeur du coefficient de trainée:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S}$$

Elle est introduite comme suit :



Résultat :

Nom de l'objectif	Unité	Valeur moyen	valeur minimale	valeur maximale
Coefficient de trainé	[N]	0,457649899	0,434342457	0,474901182

Puisque les valeurs sont proche l'une de l'autre, on prend la valeur moyenne  $C_d = 0.457$

Par projection, la valeur expérimentale du coefficient  $C_{d\ exp} = 0.58$

	expérimentale	simulation
Coefficient de trainé	0.58	0.457

L'erreur relative :  $C_d = 0.212$

L'écart entre les deux valeurs n'est important ce qui est acceptable en simulation des écoulements, en plus le nombre de Reynolds est un facteur qui influe sur la précision de calcul, plus il est grand plus l'erreur est important [ ]

**Conclusion :**

Après avoir les résultats, et les vérifier analytiquement et expérimentalement, on accepte que les paramètres de la simulation sont logiquement introduit pour l'étude de la colonne, ainsi que les résultats obtenus sont acceptables, ce qui nous permet de dire que l'étude est correctement faite, et d'utiliser les résultats obtenus dans le chapitre suivant.