

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu pour ses bienfaits inestimables, de m'avoir illuminé le chemin vers le savoir et la science et de m'avoir permis de terminer mes études après une longue rupture ainsi que ce projet dans de bonnes conditions.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur Mr DIB

Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé. Je suis reconnaissant pour le temps qu'il m'a accordé, sa franchise et sa sympathie et je lui adresse ma gratitude pour tout cela, J'ai beaucoup appris à ses côtés.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mr MZAD notre Professeur, responsable de la filière et président du jury pour ces conseils, ses qualités pédagogiques et scientifiques, pour son aide, sa franchise, à aussi Mr. HOUAM pour l'attention de nous examiner.

Mes vifs remerciements s'adressent aux enseignants du département génie mécanique et aux travailleurs du complexe FERTIAL pour leurs orientations tout le long de la période du stage.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Dédicaces

Plusieurs obstacles auraient été insurmontables sans l'aide du tout puissant, le soutien et l'appui dont j'ai bénéficié au cours de l'élaboration de ce travail.

Un grand merci pour mes parents :

***Ma mère,** qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils. Pour toute son assistance et sa présence durant toute sa vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude, merci maman.*

***Mon père,** pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de lui durant toute sa vie.*

Je dédie ce mémoire à :

Ma famille, spécialement à mes frères, mes sœur, mes belles sœurs

Mes amis : Seif, Abdou, Maroua, Saleh, Ali, Issam et le groupe énergétique et environnement.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire : Merci.

kheireddine

SOMMAIRE

CHAPITRE I

I.1 Introduction	01
Problématique et objectif	02
I.2. Historique	03
I.3. Situation géographique de l'usine d'Annaba	04
I.4. Objectif de l'entreprise	05
I.5. Exportation	05
I.6. Présentation des activités de la plate-forme	06
I.6.1. Organisation de la direction de maintenance	06
I.6.2. Direction production	06
I.6.2.a. Centrales et utilités	08
I. 6.2.b. Unité Ammoniac	09
I. 6.2.c. Principe du procédé fabrication de l'acide nitrique	10
I. 6.2.d. Unité NPK	11
I. 6.2.f. Unité UAN	11
I. .6.2.g. Unité Nitrate d'Ammonium	11
1. Section de l'évaporation de l'ammoniac liquide	13
2. Section de neutralisation de NH_3 par HNO_3	14
3. Section de l'évaporation	14
4. Section de vibro-prilleur	17
5. Section de stockage	17

CHAPITRE II

II. Introduction	18
II.1 Notions du transfert de la chaleur	18
II.1.1 Le transfert de chaleur	18
II.1.2 Les modes de transfert de chaleur	18

II.1.3 Flux de chaleur	21
II.1.4 Flux de chaleur lié à un débit massique	21
II.2. Les échangeurs de chaleur	21
II.2.1. Définition de l'échangeur de chaleur	21
II.2.2. Matériaux de construction	22
II.2.3. Critères de classement des échangeurs de chaleur	22
II.3. Les échangeurs à plaques et joints	27
II.4 Les échangeurs à tubes et calandre et leurs composants	30
II.4.1. Les différents types d'ailette des tubes	32
II.4.2. Les types des échangeurs à tubes et calandre	33
II.4.3. Critères du choix de l'ordre de passage des fluides	35
II.4.4. Echangeurs de type TEMA	36
II.4.5. Recommandations du TEMA	37
II.5. Problèmes de fonctionnement des échangeurs de chaleur	38
II.5.1 Encrassement	38
II.5.1.1 Types d'encrassement	39
II.5.1.2 Impact de l'encrassement sur le dimensionnement des échangeurs	40
II.5.1.3 Coefficient d'excès de surface C_s	41
II.5.1.4 Les paramètres influençant l'encrassement	42
II.5.1.5 Prévention de l'encrassement	43
II.5.2. Les vibrations	43
II.5.3 La maintenance des échangeurs	44
II.6 Evaluation des performances d'un échangeur	44
II.6 .1. Evaluation par la méthode DTLM	44
II.6 .2. Evaluation par la méthode NUT	45
II.7. Conclusion	45

CHAPITRE III

III.1. Introduction	46
III.2. Description et rôle des échangeurs au niveau de la section de RDC	46
III.2.1. Principe de l'évaporation multiple effet	46
III.2.2. Description du procédé et paramètres de marches	48
III.2.2.a. Bac des condensats acides	48
III.2.2.b. Deuxième effet	48
III.2.2.c. Premier effet	49
III.2.2.d. Condensat non traité	50
III.3. Dimensionnement de l'échangeur tubes et calandre	51
III.4. Simulation	55
III.4.1. Généralités	55
III.4.2. Description du simulateur HYSYS	56
III.4.3 Objectif de la simulation	58
III.4.4 Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS	61
III.4.5. Simulation de l'échangeur à tubes et calandre dimensionné précédemment avec le simulateur HYSYS	63
III.4.6. DATA sheet obtenue à l'aide du simulateur HYSYS	66
III.4.7. Comparaison entre les deux data sheet de l'échangeur.	67
III.4.8. Plan mécanique et la disposition optimum obtenue des tubes	69
III.5. Conclusion	71

Conclusion générale

Liste des figures

CHAPITRE I

Fig. I.1 : Récupération des condensats pollués	02
Fig. I.2 : Situation géographique de l'usine	04
Fig. I.3 : Schéma simplifié direction de production usine d'Annaba	07
Fig. I.4 : Principe du procédé de fabrication de l'ammoniac	09
Fig. I.5 : Principe du procédé de fabrication de l'acide nitrique	10
Fig. I.5 : Principe du procédé de fabrication du nitrate d'ammonium	12
Fig. I.6 : stockage de l'ammoniac liquide et de l'acide nitrique	13
Fig. I.7 : Vue de l'unité du nitrate d'ammonium	15
Fig. I.8 : Semi réfrigération de l'ammoniac liquide	16

CHAPITRE II

Fig. II.1 : Schéma du transfert de chaleur par conduction	19
Fig. II.2 : Schéma du transfert de chaleur radiatif	19
Fig. II.3 : Schéma du transfert de chaleur convectif	20
Fig. II.4 : Différents modes de circulation des fluides	23
Fig. II.5 : Différents types d'échangeurs tubulaires	25
Fig. II.6 : Echangeurs spirales	26
Fig. II.7 : Echangeurs à plaques soudées (partiellement ou totalement)	26
Fig. II.8 : Echangeur à plaques brasées	26
Fig. II.9 : Echangeurs à plaques et joints	27
Fig. II.10 : Les différents types d'ailette des plaques	27
Fig. II.11 : Les principaux composants échangeur à plaques et joints	28

Fig. II.12 : Plaques à surface secondaire	28
Fig. II.13.a : Les différentes distributions des fluides à l'intérieur des plaques	29
Fig. II.13.b : les différentes distributions des fluides à l'intérieur des plaques	29
Fig. II.14 : Echangeur à tubes et calandre	30
Fig. II.15 : Plaque tubulaire	31
Fig. II.16 Disposition des tubes	31
Fig. II.17 Autre différent type d'ailettes	32
Fig. II.18: les types de chicanage	33
Fig. II.19 : Échangeur à tête flottante	34
Fig. II.20 : Échangeur à plaque tubulaire fixe	34
Fig. II.21 : Échangeur à tube en U	35
Fig. II.22 : Echangeur propre (à droite) et échangeur sale (à gauche)	38
Fig. II.23 : Déformation de la tôle extérieure d'un échangeur de chaleur (type à plaques brasées)	43

CHAPITRE III

Fig. III.1 : Ensemble des équipements unité RDC et NA	46
Fig. III.2 : Structure Opérationnelle de HYSYS	57
Fig. III.3 : Architecture de HYSYS	58
Fig. III.4 : Définition de la géométrie de l'échangeur	63
Fig. III.5 : Définition des paramètres du processus	64
Fig. III.6 : La composition chimique du fluide en état initial	64
Fig. III.7 : La composition chimique du fluide traité	65
Fig. III.8 : Définition de la construction de l'échangeur	65
Fig. IV.7 : Définition des propriétés du fluide chaud	67
Fig. IV.8 : Variation de la viscosité du fluide chaud en fonction de la T°	68

Fig. IV.9 : Variation de la chaleur spécifique du fluide chaud en fonction de la T°	69
Fig. IV.10 : Variation de la conductivité thermique du fluide chaud en fonction de T°	69
Fig. IV.11: Plan mécanique	70
Fig. IV.12: Disposition optimum des tubes d'après le logiciel	70

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Capacité de production des unités	5
Tableau I.2 :	16

Chapitre II

Tableau II.1 : Limites acceptables de Cs	42
Tableau II.2 : Actions envisageable pour limiter l'encrassement dans les échangeurs	43

Chapitre III

Tableau III.1: Paramètres de fonctionnement de l'échangeur	51
Tableau III.2 : Tableau comparatif	68

Nomenclature

Indice « **c** » : côté calandre

Indice « **t** » : côté tube

Q : Quantité de chaleur (W)

C_p : La chaleur spécifique (kJ/ (kg K))

m : Le débit massique (kg/s)

DTLM : La différence de température logarithmique moyenne (°C)

F : Facteur de correction de température

n : Nombre de passe

l : Longueur du tube (m)

A : La surface totale d'échange de la chaleur (m²)

A' : La surface d'échange dans une calandre (m²)

Nt' : Nombre des tubes par calandre

a : Section de passage (m²)

D_e : Le diamètre équivalent (m)

R_e : Nombre de Reynolds

G : Vitesse massique (kg/m².s)

f : Facteur de friction (côté tube)

f' : Facteur de friction (côté calandre)

 : Rapport de viscosité

h : Coefficient de transfert de chaleur W/m².K

T : La température (°C)

P : Perte de charge (kPa)

Introduction générale :

Les échanges thermiques interviennent dans des nombreux secteurs d'activités industrielles, ils s'effectuent généralement sans altération des milieux intervenant dans le transfert thermique. L'utilisation d'équipements spécifiques d'échange est alors nécessaire, ces équipements sont connus sous la dénomination d'échangeurs de chaleur, ce sont des systèmes thermodynamiques présents dans toutes les unités industrielles dans lesquelles interviennent les processus d'extraction de chaleur.

L'étude d'un échangeur de chaleur permet de dimensionner un appareil fournissant un service thermique donné (traduit en général par une puissance d'échange) avec une surface d'échange et une géométrie optimums. En fait, il s'agit de mettre à la disposition de l'utilisateur un échangeur qui soit le plus économique possible.

C'est durant la période du stage effectué au sein du complexe FERTIAL, que ce thème a été abordé avec mon encadreur comme objectif de préserver l'environnement, une étude de substitution des échangeurs de l'unité du nitrate d'ammonium par des échangeurs de type tubes et calandre ; en raison de réduire les rejets de cette unité vers mer ou vers atmosphère.

Notre thème renferme une étude globale sur l'unité de récupération des condensats pollués qui consiste essentiellement à utiliser l'énergie de chaque fluide (les rejets) dans les échangeurs de chaleur, ainsi que une simulation à l'aide du simulateur HYSYS.

Le projet comprend les parties suivantes :

Chapitre I :Présentation du complexe FERTIAL :

Dans le cadre du développement économique national du pays, l'entreprise est chargée de respecter les certificats de la qualité ISO 9001, management de la santé et de la sécurité au travail, et surtout surtout l'ISO 14001 qui dit le management environnemental.

Chapitre II : Généralités sur les échangeurs de chaleur :

On peut représenter ce chapitre par trois questions :

- Qu'est-ce que le transfert thermique ?
- Qu'est-ce que un échangeur de chaleur ?
- Quels problèmes peuvent rencontrer un échangeur

Chapitre III : Etude et simulation de la station de récupération des condensats pollués :

La section traitement d'eau polluée constitue la dernière étape dans le processus d'épuration, dont le but est de baisser les teneurs en NH_3 et NH_4NO_3 à des seuils tolérés par le processus.

De ce fait, on va utiliser un simulateur pour faire une étude sur cette station.

Conclusion générale

RESUME

La production industrielle a connu un développement considérable grâce à l'amélioration de la technologie de la maintenance et de la sécurité de fonctionnement des équipements industriels, ce progrès a pour but essentiellement :

- ✚ L 'augmentation de productivité
- ✚ L'utilisation de l'équipement de manière optimale en réduisant le nombre des accidents, préserver l'environnement et les durées de la maintenance.

Parmi ces équipements on a les échangeurs de chaleurs qui sont utilisés dans le domaine du transfert thermique.

. Au niveau de cette société (sociétés des fertilisants), le problème rencontré est la présence d'une grande quantité de condensats pollués lors de la production du NA (unité du nitrate d'ammonium) qui va provoquer la pollution du notre environnement (rejets vers mer et vers atmosphère).

Pour contourner ce problème, on a mis en réalisation une nouvelle station qui traite ces condensats s'appelle station de récupération des condensats pollués.

Notre étude porte sur la récupération des condensats pollués en utilisant les échangeurs de chaleurs.

Pour cela nous avons mis en œuvre une simulation numérique avec un calcul de vérification d'un modèle à partir de la bibliothèque propre au logiciel selon la sélection de l'exploitant. Le logiciel retenu pour cette simulation est le HYSYS.

Mots clé :

Echangeur de chaleur, environnement, Simulation, Nitrate d'ammonium, Récupération des condensats pollués

ABSTRACT

Industrial production has grown considerably thanks to the improvement of maintenance technology and the safe operation of industrial equipment, the main aim of which is to:

Increased productivity

Optimum use of equipment by reducing the number of accidents, preserving the environment and the duration of maintenance.

Among those equipments are heat exchangers which are used in the field of heat transfer.

. At the level of this company (fertilizer companies), the problem encountered is the presence of a large quantity of polluted condensates during the production of the NA (ammonium nitrate unit) which will cause pollution of our environment sea and atmosphere).

To overcome this problem, a new station which processes these condensates is called a station for the recovery of polluted condensates.

Our study focuses on the recovery of polluted condensates using heat exchangers.

For this, we have implemented a numerical simulation with a calculation of verification of a model from the library specific to the software according to the selection of the operator. The software chosen for this simulation is the HYSYS.

Keywords:

Heat exchanger, environment, Simulation, Ammonium nitrate, Recovery of polluted condensates

Chapitre I

Présentation du complexe FERTIAL

I.1.INTRODUCTION

Nous avons l'honneur de vous présenter ce mémoire de fin d'études effectué au niveau de la société FERTIAL. Pendant ce stage, nous nous sommes familiarisés avec l'environnement technique, organisationnel et sécuritaire de l'entreprise.

En complément à notre formation théorique ce stage nous a apporté une vision réelle sur les composants et constituants physique d'un cycle de transformation énergétique tel que les machines thermiques. Notre affectation au niveau de la direction de production nous a permis d'être proches de toutes les machines de la plate-forme ainsi que le procédé de fabrication de chaque produit.

Le complexe d'engrais phosphaté et azoté Fertial Annaba est installé sur une assiette de 108 hectares dont 40 hectares bâtis, il est situé à 4 Kms de centre de la ville d'Annaba.

Le choix de ce lieu d'implantation a été basé sur des considérations technico économiques telles que :

- Proximité des installations portuaires,
- Proximité des centrales électriques d'Annaba et El Hadjar,
- Existence de la voie ferrée,
- Disponibilité des voies routières rapides.
- Proximité des sources d'eau (eau de mer et de barrage)

Le complexe emploie actuellement près de 500 personnes repartis sur l'ensemble de ses six (06) directions et la Coordination de la sécurité

- Direction Générale
- Direction Production
- Direction Technique
- Direction de Maintenance
- Direction Relation Humaines
- Direction Financière

Ce chapitre est présenté en deux parties :

- Présentation de la société FERTIAL
- Les 4 structures de la direction de production

PROBLEMATIQUE :

Au niveau de cette société (sociétés des fertilisants), le problème rencontré est la présence d'une grande quantité de condensats pollués lors de la production du NA (unité du nitrate d'ammonium) plus de 20 d'ammoniac dans les condensats non traité et d'autre rejets qui va provoquer la pollution du notre environnement (rejet vers mer et vers atmosphère).

Pour contourner ce problème, on a mis en réalisation une nouvelle station qui traite ce condensat s'appelle station de récupération des condensats pollués.

OBJECTIF :**STATION RDC**

fig.I.1 Récupération des condensats pollués

I.2.Historique

C'est en 1967 que fut décidé par Sonatrach la construction d'un complexe d'engrais phosphatés à Annaba. En 1972 plusieurs de ces unités sont entrées en fabrication comme par exemple, l'unité d'acide phosphorique, l'unité d'acide sulfurique et l'unité de fabrication d'une gamme d'engrais ainsi que certaines utilités industrielles venant en appui. Ce complexe a connu une extension en 1982 avec l'installation d'une unité d'acide nitrique, de nitrate d'ammonium et de tripolyphosphate de soude (STTP).

En 1975 l'entreprise c'est équipé d'un complexe d'engrais azotés avec la participation de Crensol - Loire industrie, Krebs (France) et Kellogg (USA) qui était entré en production d'ammoniac Kellogg n'était entrée en production qu'en 1987. Avec la restriction des entreprises publiques en 1984, tout le complexe avait été sous portefeuille d'une nouvelle entité appelée Asmidal qui s'est transformé en société par actions en 1996.

Avec les réformes économiques engagées par le gouvernement Algérien, un accord de partenariat a été conclu entre Asmidal et le groupe espagnole Villard Mir. Ainsi est né Fertial qui regroupe les unités d'Annaba et d'Arzew dans cet accord le groupe Villar Mir détient 66% et Asmidal 34%.

Depuis cette date, Fertial a engagé plus de 100 millions de dollars pour la réhabilitation et la modernisation de l'unité d'Annaba.

Dernièrement et à partir de 01 janvier 2017, HADAD GROUPE a été entré comme un partenaire avec FERTIAL avec un pourcentage de 17%.

I.3. Situation géographique de l'usine d'Annaba

L'usine est située à 04 Km à l'est de la ville d'Annaba, elle est limitée par l'oued Seybouse et la cité sidi Salem à l'Est, la cité Seybouse à l'Ouest, la mer méditerranée au Nord, la route nationale N°44 et la plaine de Annaba au Sud. Fertial en tant que EPE/SPA à savoir la plateforme d'Annaba qui est un complexe qui fabrique un complexe qui fabrique les engrais phosphatés, azotes , l'ammoniac (1000t/jour) et le nitrate d'ammonium (1000t/jour). Et la plateforme d'Arzew qui est un complexe qui est un complexe qui fabrique des engrais azotés, de l'ammoniac (1500t/jour) et le nitrate d'ammonium (1000t/jour).

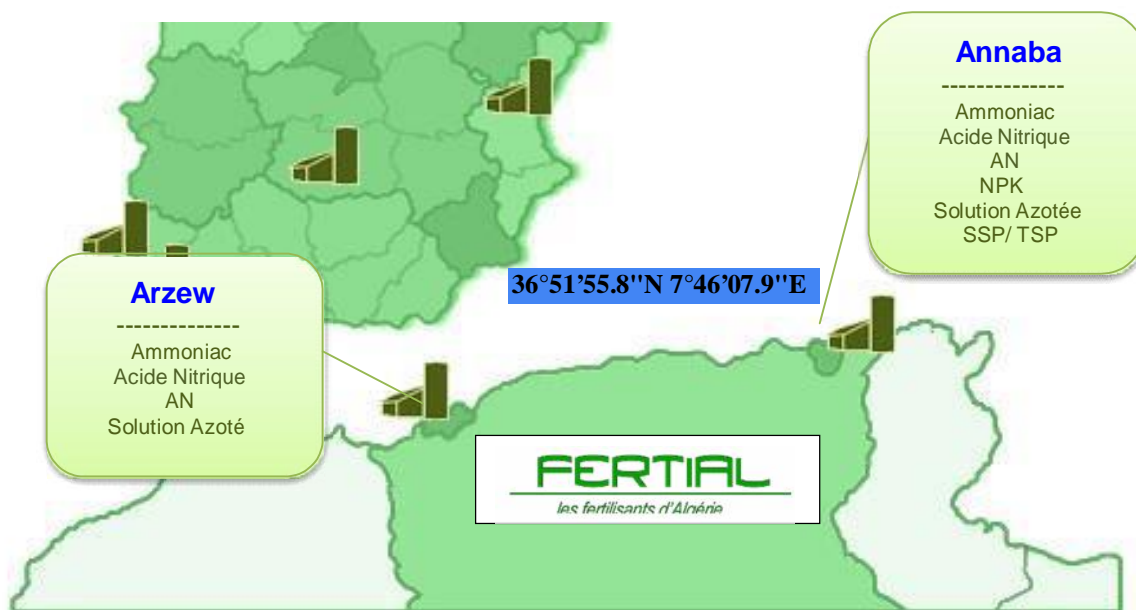
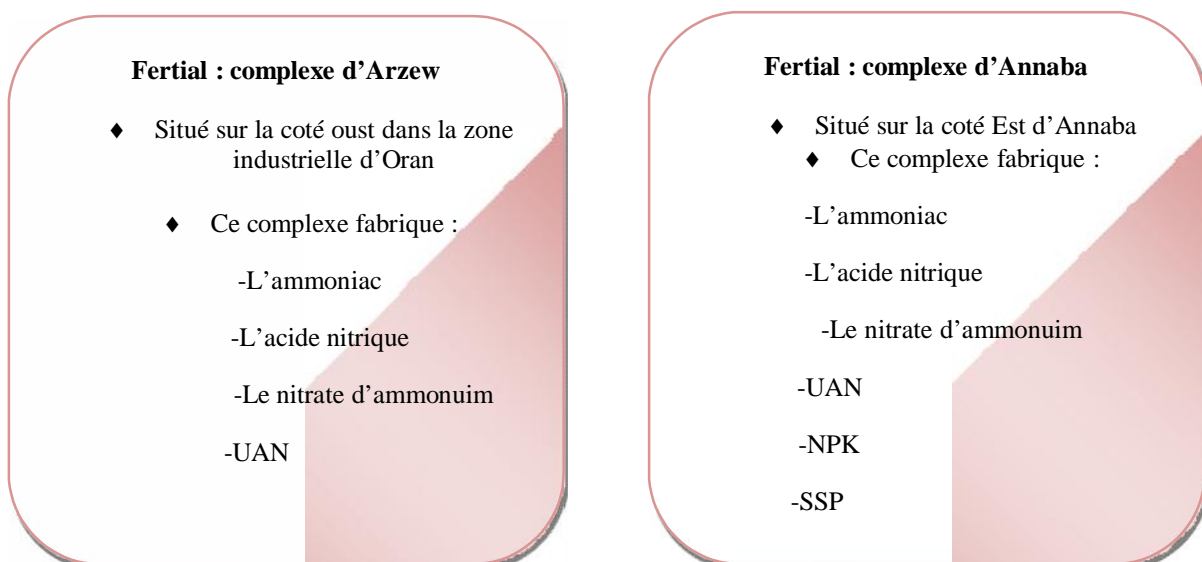


Fig.I.2. situation géographique de l'usine

Les différents sites de production :



Ce tableau résumé la capacité de production annuelle de chaque unité.

TAB.I.1. capacité de production des unités

Unité	Capacité (tonnes/an)	Année de démarrage
Ammoniac	330000	1987
Acide Nitrique	264000	1984
Nitrate d'Ammonium /CAN	330000	1984/2009
Engrais NPK	600000	1972
UAN	240000	2003
Engrais SSP	280000	2000

I.4. Objectifs de l'entreprise

Dans le cadre du développement économique national du pays, l'entreprise est chargée de :

- Convertir le marché national
- La conservation de l'espace vert
- La réduction de la pollution industrielle ISO 14001
- promouvoir et développer l'industrie des engrais,
- Exploiter, gérer et rentabiliser les humains et matériels et financiers et l'exportation
- Favoriser l'épanouissement d'esprit d'imagination, l'initiative et faire appel aux moyens locaux
- Développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière
- La satisfaction des clients avec la bonne qualité des produits ISO 9001
- Et en premier lieu la sécurité des personnes SAFETY FIRST OSHAS 18001

I.5. Exportation

NH3 : Espagne, France ; Italie, Grèce, Belgique, Cuba, grand Bretagne, Turquie et Maroc.

UAN : France, Espagne et USA.

NITRATE : Tunisie, Maroc.

SSP : Maroc, Grèce, Italie et Brésil.

I.6. PRESENTATION DES ACTIVITES DE LA PLAT-FORME

I.6.1.ORGANISTION DE LA DIRECTION DE MAINTENANCE :

Structure Maintenance Mécanique

- Département Dynamique
- Département Statique

Structure Maintenance électricité

- Département Electricité
- Département Instrumentation

Structure Ingénierie et Services

- Département Ingénierie
- Département Services

I.6.2.DIRECTION PRODUCTION:

Elle compte plusieurs unités de production d'engrais de type azotés et phosphatés ainsi que des unités d'utilités.

I.6.2.a - Centrales et utilités

Les deux centrales et utilités l'une située dans la zone engrais phosphatés et l'autre dans la zone engrais azotés sont conçues à l'origine pour une couverture totale des besoins de toute la plateforme en matière d'énergie électrique, vapeur, eau déminéralisée, eau dessalée, air service et air instrument.

La centrale I est de moindre importance avec une seule chaudière.

La centrale II constitue le noyau central de la plate-forme, elle comprend :

- Deux groupes turboalternateurs
- Quatre chaudières
- Quatre dessaleurs
- Une station de déminéralisation

Une station de compression d'air L'alimentation en électricité est pratiquement assurée par SONELGAZ à travers la sous- station.

1.6.2.b. Unité Ammoniac

L'unité d'une capacité de 1000 t/j produit de l'ammoniac suivant le procédé Kellogg, dont la majeure partie est destinée à l'exportation tandis que l'autre partie est utilisée comme matière première à la production de l'acide nitrique, le nitrate d'ammoniac et les engrais NPK.

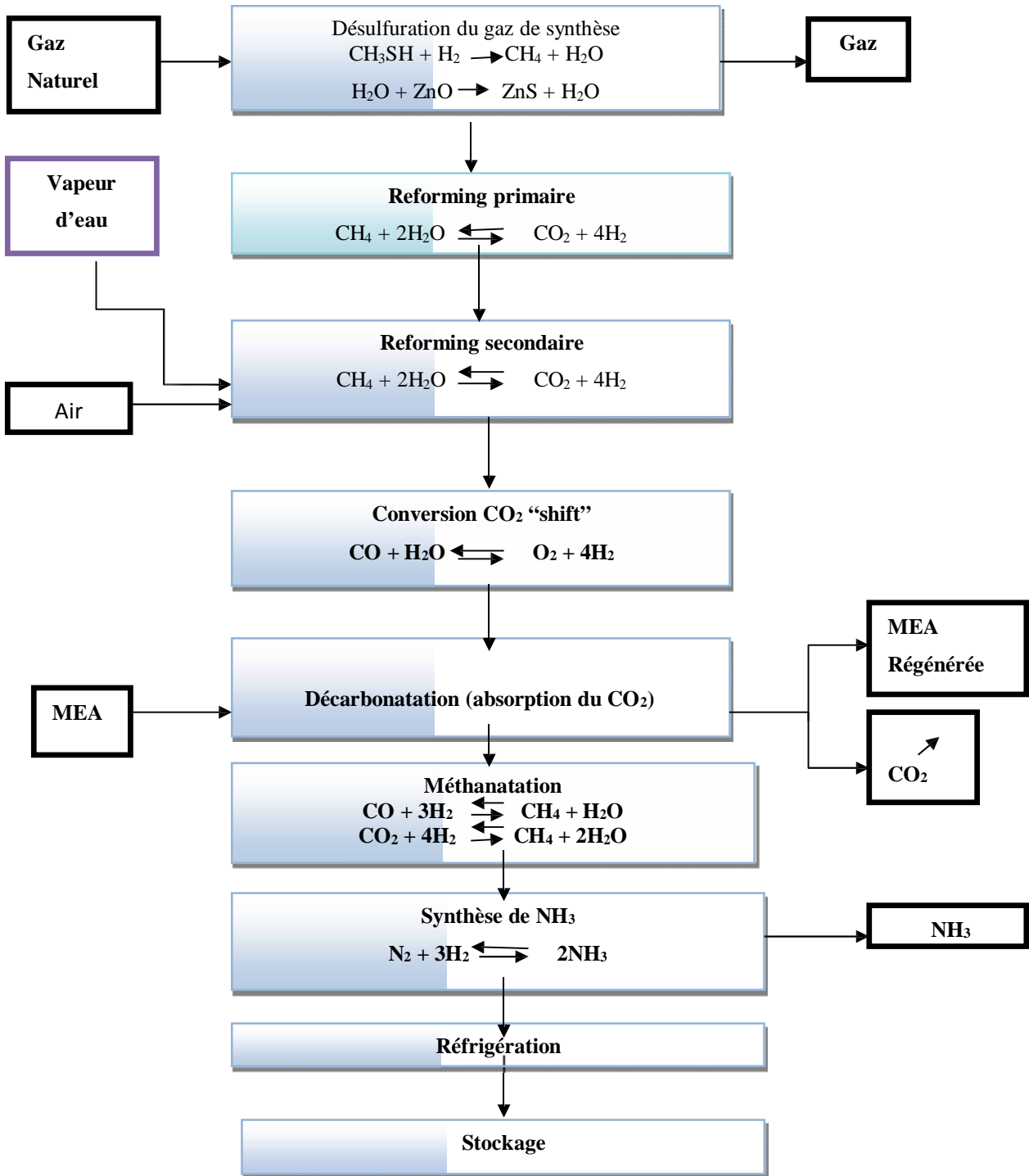


Fig.I.4. Principe du procédé fabrication de l'ammoniac

I.6.2.c. Unité acide nitrique

L'unité est composée de deux lignes identiques de fabrication d'acide nitrique de 400 t/j chacune, de procédé STAMIC ARBON.

L'acide nitrique est destiné à la production du nitrate d'ammonium

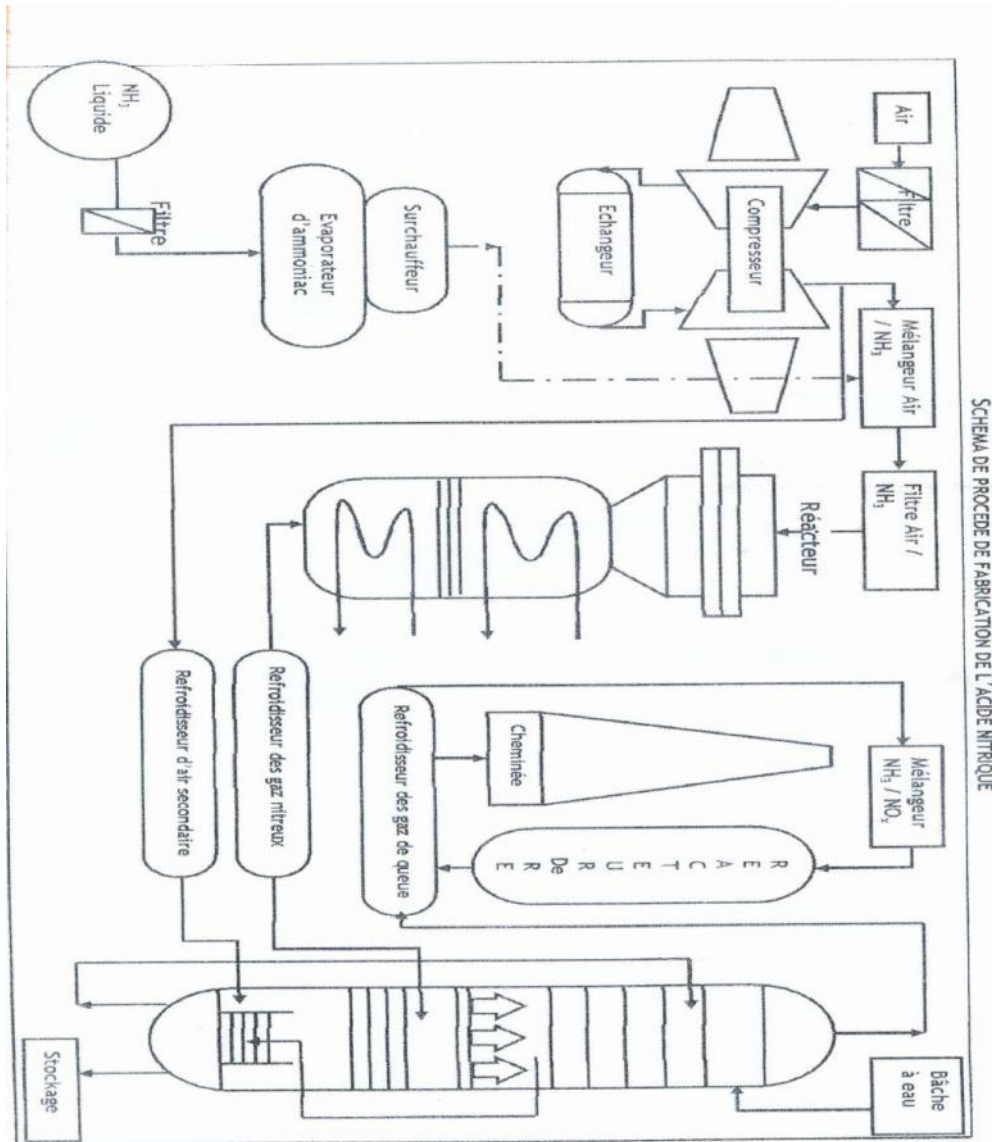


Fig.I.5. Principe du procédé fabrication de l'acide nitrique

I.6.2.d. Unité NPK :

L'unité est composée de deux lignes identiques destinées à la fabrication des engrais phosphatés du type NPK suivant le procédé PECHINEY SAINT GOBAIN. La capacité de chacune est de 1050 t/j.

La capacité de stockage MP et PF est de 150 000 t.

Le produit est ensuite dirigé vers l'atelier de conditionnement et d'expédition.

La capacité d'ensachage en sac de 50 kg est de 1500 t/j.

I.6.2.e. Unité SSP :

L'unité de fabrication de simple superphosphate- SSP, suivant le procédé SACKETT, a une capacité de 800 t/j (50 t/h).

Le produit fabriqué est destiné à la fabrication de NPK ou commercialisé directement après granulation. La granulation et le conditionnement de ce produit se font dans les mêmes installations que les engrais NPK.

I.6.2.f. Unité UAN

C'est la dernière unité à voir le jour au complexe FERTIAL, cette unité est capable de produire 600 t/j de solution UAN à des teneurs de 28%, 30% et 32% N.

I.6.2.g. Unité Nitrate d'Ammonium

L'unité est composée de deux lignes identiques de fabrication de nitrate d'ammonium de 500 t/j chacune, suivant le procédé STAMI CARBON. La qualité du produit fabriqué sous forme de prills devrait avoir une teneur en azote de 33,5%. Une partie de la production est dirigée vers l'exportation tandis que l'autre est utilisée dans la formulation des engrais NPK. Le stockage du nitrate d'ammonium se fait en deux lieux :

Stockage au niveau de l'unité **NPK** pour la fabrication des engrais phosphatés (le produit est livré sous forme de solution chaude 95%).

Stockage de nitrate d'ammonium destiné en général à l'exportation. Composé de : 05 silos pour un stockage vrac total de 1000 t, le conditionnement (en sac de 50 kg et 500 kg) et une superficie pour le stockage de 30000t de NA conditionné. Ce dernier stockage est équipé d'un système de détection et d'extinction d'incendie.

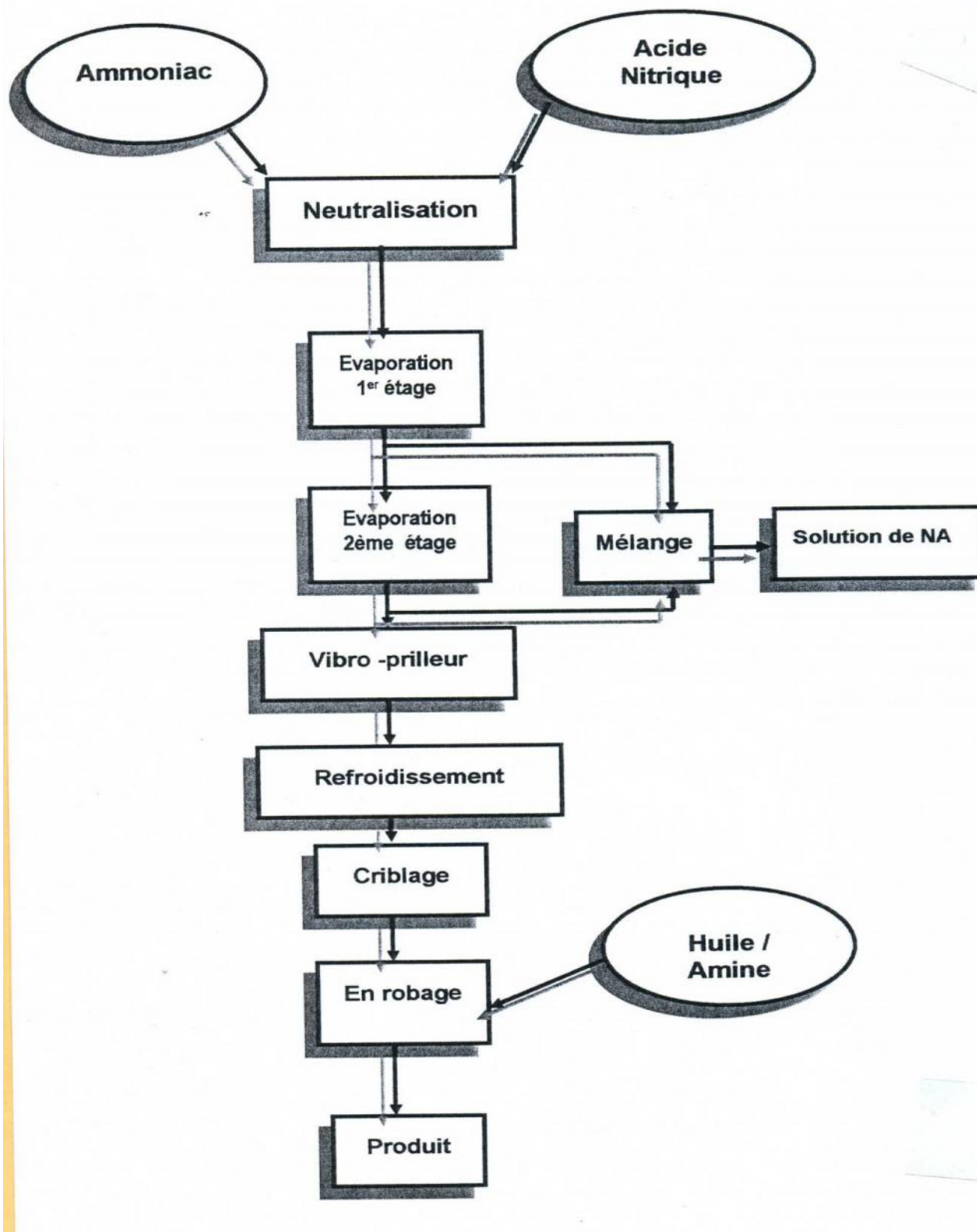


Fig.I.6. Principe du procédé fabrication du nitrate d'ammonium

Le nitrate d'ammonium est obtenu par la réaction entre l'acide nitrique et l'ammoniac. Cette réaction se passe dans un réacteur, la solution ainsi formée sera concentrée jusqu'à environ 98 % puis elle sera pulvérisée dans la tour de prilling (voir photo -1-). Le produit obtenu sous forme des prilles sera séché puis enrobé avec des aminés et évacués vers l'unité ensachages, ensuite vers 05 silos de capacité 200 tonnes munis de dépoussiéreur à filtre à manche.

Systemes ou sections de l'installation :

- L'évaporation de l'ammoniac liquide
- Neutralisation de NH_3 par HNO_3
- Evaporateur
- Vibro- prilleur
- Stockage

1. Section de l'évaporation de l'ammoniac liquide

L'ammoniac liquide contenant 05% en poids d'eau et 5 à 10 ppm d'huile. Etant stocké dans la sphère (voir photo -2-) à une pression de 4 bars et à une température de 0 à 5°C est envoyé vers l'évaporateur d'ammoniac LH1507 ou il est évaporé jusqu'à 17°C et à une pression de 6 bars. L'ammoniac gazeux passe ensuite à travers une surchauffeur pour être surchauffé jusqu'à 35°C par échange de chaleur avec la vapeur basse pression puis envoyé dans le collecteur vers le neutraliseur.



Fig.I.7. stockage de l'ammoniac liquide et de l'acide nitrique

2. Section de neutralisation de NH_3 par HNO_3

La neutralisation s'effectue dans un neutraliseur LR 1511 (4m^3) constitué par un tube de mélange, un tube de transfert et un séparateur. L'acide nitrique à 57% en poids mélangé avec un peu d'acide sulfurique à 93% en poids et l'ammoniac gazeux sont envoyés dans une solution de nitrate d'ammonium circulant dans le neutraliseur. L'ammoniac gazeux est alimenté par un distributeur placé dans la partie inférieure du tube de mélange, au-dessous de celui-ci se trouve le diffuseur d'acide nitrique.

L'ammoniac recyclé, venant du système de récupération, la solution de nitrate d'ammonium (45%) venant du bac de dissolution des fines, sont injectées dans le tube de transfert.

La réaction $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$

Se déroule dans le tube provoquant la circulation de la solution. Elle s'effectue à $t = 180^\circ\text{C}$ et sous pression $p = 3$ bars eff. Le pH doit être maintenu entre 4,5 et 5,2.

La chaleur libérée par la réaction est suffisante pour accroître la concentration de la solution de nitrate d'ammonium obtenue jusqu'à 77%.

La solution atteint le sommet du tube de mélange et entre tangentiellement dans le séparateur où la vapeur et la solution de la solution de nitrate d'ammonium sont séparées comme suit :

- La vapeur, du sommet du séparateur vers le dévésiculeur (pour éliminer les gouttelettes de liquide) après avoir été saturée par des condensats pollués (dès surchauffe) ce qui diminue sa température de 180°C à 145°C .
- Une partie de cette vapeur est utilisée comme agent de chauffage pour la première évaporation. Les gouttelettes récupérées sont envoyées dans le tube de retour du réacteur.
- Une partie de la solution s'écoule du séparateur vers un bac intermédiaire LV 1512 de capacité 7 m^3
- L'autre partie continue à circuler dans le neutraliseur du bac intermédiaire, la solution de nitrate d'ammonium 77% est envoyée vers l'évaporateur premier étage (LH 1513) par simple différence de pression.

Remarque : une partie de la vapeur procède vers le condenseur d'excès de vapeur (LE 1521) et les condensats qui en résultent sont envoyés vers la colonne de désorption d'ammoniac (LC 1522).

3. Section d'évaporateur

La solution de nitrate d'ammonium issue du neutralisateur à une concentration de 77%, se déverse dans un bac intermédiaire et passe travers l'évaporateur de la première concentration par une différence de pression ou elle sera concentrée à environ 95% sous une pression de 0,3 bars absolus et une température de 130°C. Dans un séparateur situé après l'évaporateur, la solution de nitrate d'ammonium est séparée en deux phases, une phase vapeur et une phase liquide. La phase vapeur est envoyée dans un dévésiculeur après avoir été diluée par des condensats pollués, les gouttelettes contenues dans la vapeur quittant le dévésiculeur est condensée au niveau du condenseur de la première évaporation.



Fig.I.8. Vue de l'unité du nitrate d'ammonium

Les condensats qui en sont issus s'écoulent dans le premier compartiment du pot barométrique et les gaz incondensables sont aspirés par une pompe à vide et rejetés à l'atmosphère. La phase liquide vers un pot de garde barométrique et par trop plein se déverse dans un bac de nitrate d'ammonium 95%. Afin d'obtenir un produit de granulés uniforme, ayant une teneur d'humidité de 0,2 à 0,3%, il est nécessaire de

concentrer la solution de nitrate d'ammonium jusqu'à 99,7%.

Cette concentration s'effectue à une température de 175°C et sous une pression de 0,07 bars absolus dans un deuxième évaporateur, le mélange liquide - vapeur s'écoule tangentiellement dans un séparateur où il sera séparé en deux phases, phase liquide et phase vapeur. La phase vapeur est condensés dans le condenseur de la deuxième après avoir été saturée par des condensats pollués, les condensats formés s'écoulent dans le second compartiment du pot de garde barométrique commun et les gaz incondensables sont aspirés par un éjecteur et envoyés au condenseur de la 1^{ère} évaporation. Tandis que la phase liquide (la solution de nitrate d'ammonium à 99,7%) s'écoule vers un pot de garde barométrique.

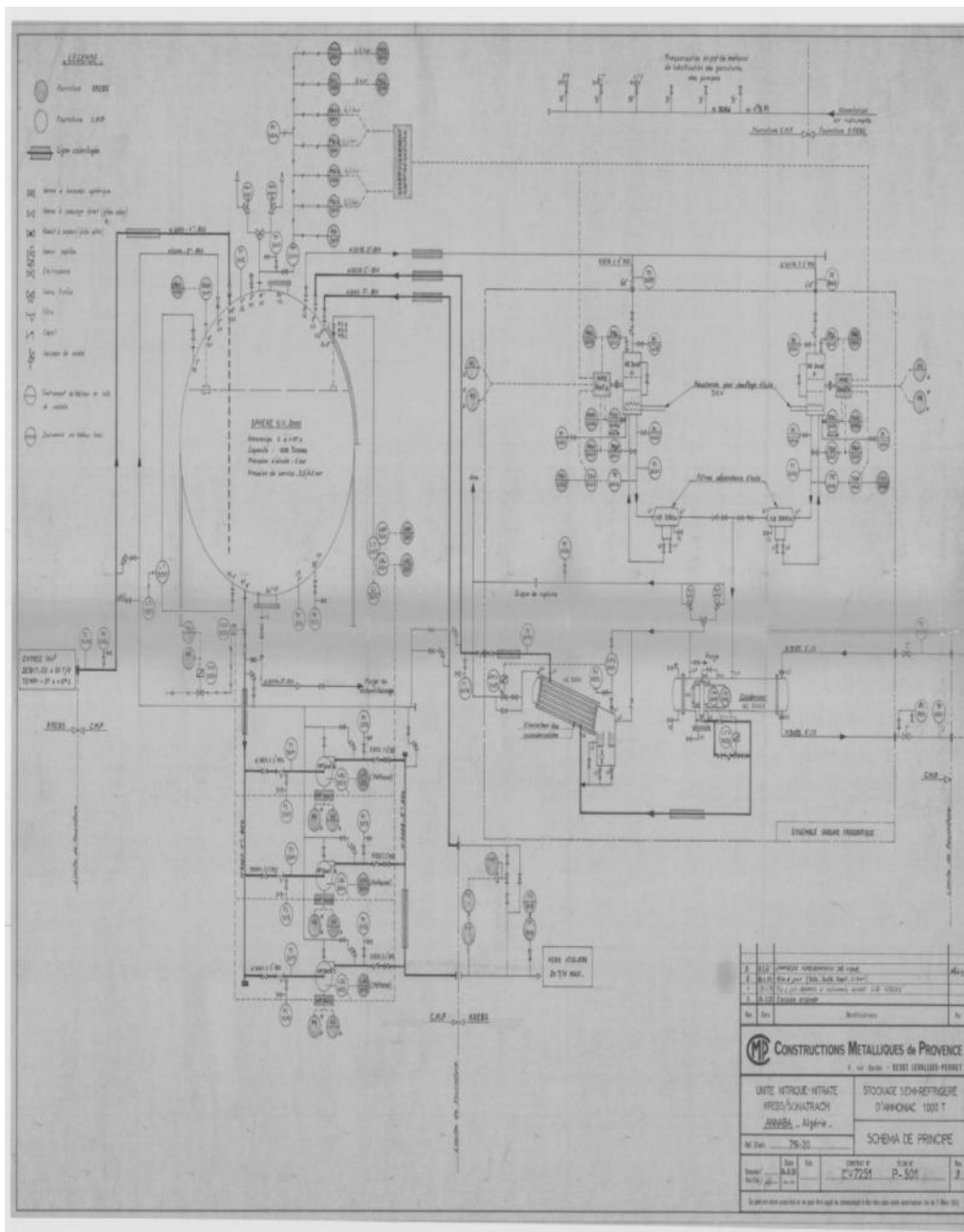


Fig.I.9.Semi réfrigération de l'ammoniac liquide

4. Section de vibro- prilleur

La solution est envoyée vers le filtre après elle est dirigée vers le vibro- prilleur qui tourne à la vitesse de rotation du panier 66 t/min, et distribue la solution de nitrate d'ammonium en fines gouttelettes à l'intérieur de la tour de vibro- prilleur.

Durant leur chute dans la tour les gouttelettes se solidifient par le contact avec un courant d'air ascensionnel. Cet air entre par 16 ouvertures situées dans les parois de la tour et aspiré par 4 ventilateurs (LZ 1563), installés à son sommet. Après la pulvérisation avec l'air on obtient des grains uniformes.

5. Section de stockage

Le produit final est posé sur une bande presseuse par une bascule puis il est envoyé au stockage par transporteur à bande.

Chapitre II

Généralités

sur les échangeurs de chaleur

II. Introduction :

Le transfert thermique représente un aspect de l'échange d'énergie, incontournable dans l'ingénierie.

Ce chapitre sera structuré selon trois questions :

- > Qu'est-ce que le transfert thermique ?
- > Qu'est-ce que un échangeur de chaleur ?
- > Quels problèmes peuvent rencontrer un échangeur ?

II.1 Notions du transfert de chaleur :

II.1.1 Le transfert de chaleur :

On définit un transfert de chaleur ou transfert thermique entre 2 corps comme une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température entre les deux corps. On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur :

- La conduction thermique (diffusion thermique)
- Le rayonnement thermique
- La convection (libre / forcée)

Ces trois modes sont régis par des lois spécifiques, seuls la conduction et le rayonnement sont les modes fondamentaux de transmission de la chaleur, sachant que la convection est très importante et ne fait que combiner la conduction avec un déplacement de fluide.

II.1.2 Les modes de transfert de chaleur :

La conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\Phi} = -\lambda \cdot S \vec{\text{grad}}(T)$$

Ou sous forme algébrique :

$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par conduction [W/ m²]

λ : Conductivité thermique du milieu [W m⁻¹ °C⁻¹]

x : Variable d'espace dans la direction du flux [m]

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur [m²]

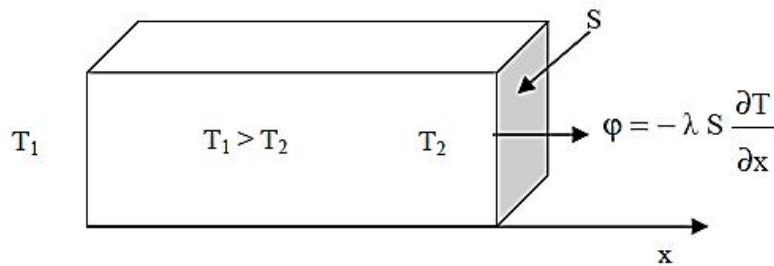


Fig. II.1 : Schéma du transfert de chaleur par conduction

□ Le rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces. Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

$$\varphi = \sigma \epsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4)$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement [W/ m²]

σ : Constante de Stefan Boltzmann [5,67.10⁻⁸ W m⁻² K⁻⁴]

ϵ_p : Facteur d'émission de la surface

T_p : Température de la surface [K]

T_∞ : Température du milieu environnant la surface [K]

S : Aire de la surface [m²]

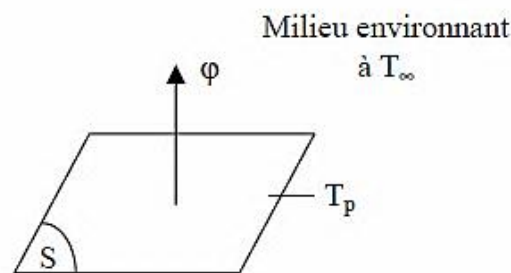


Fig. II.2 : Schéma du transfert de chaleur radiatif

□ **La convection :**

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$\varphi = h S (T_p - T_\infty)$$

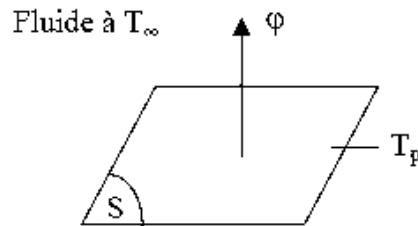


Fig. II.3: Schéma du transfert de chaleur convectif

Avec :

- φ : Flux de chaleur transmis par convection [W/m^2]
- h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
- T_p : Température de surface du solide [$^\circ\text{C}$]
- T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide [$^\circ\text{C}$]
- S : Aire de la surface de contact solide/fluide [m^2]

➤ On distingue deux types de convection :

Convection naturelle : Dans laquelle le mouvement du fluide est créé par des différences de densité et de température.

Convection forcée : Où le mouvement du fluide est provoqué par des actions mécaniques extérieures (pompe, ventilateur...).

Remarque :

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection (h) est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

II.1.3 Flux de chaleur :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur et défini par la formule suivantes:

$$q = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt}$$

Avec :

S : L'aire de la surface [m²]

Q : La quantité de chaleur échangée [W]

t : Unité de temps [s]

II.1.4 Flux de chaleur lié à un débit massique :

Lorsqu'un débit massique (\dot{m}) de matière entre dans un système à la température T_1 et sort à la température T_2 , on doit considérer un flux de chaleur entrant correspondant au bilan suivant:

$$\varphi_e = \dot{m} c_p (T_1 - T_2)$$

Avec :

φ_e : Flux de chaleur entrant dans le système [W/ m²]

\dot{m} : Débit massique [kg.s⁻¹]

c_p : Chaleur spécifique [J.kg⁻¹.K⁻¹]

T_1, T_2 : Températures d'entrée et de sortie [K]

II.2. Les échangeurs de chaleur :

II.2.1. Définition de l'échangeur de chaleur :

L'échangeur de chaleur est un équipement permettant de transférer la chaleur entre deux fluides ou plus à des températures différentes. Le même fluide peut conserver son état physique liquide ou gazeux, ou se présenter successivement sous les deux phases, c'est le cas des : condenseurs, évaporateurs, bouilleurs ou des tours de refroidissement.

Dans le domaine des échangeurs de chaleur les résistances thermiques par conduction et par rayonnement sont souvent négligées devant la résistance convective globale des deux fluides.

On distingue deux modes de transferts mis en jeu lors le fonctionnement d'un échangeur de chaleur, sont :

A- Le transfert de chaleur :

Dans le domaine des échangeurs de chaleur, la convection est le mode le plus important et le plus délicat à estimer en raison des fluides mis en jeu. Elle dépend fortement du type de fluide à utiliser, les vitesses mises en jeu et de la géométrie de l'échangeur.

Les résistances thermiques par conduction et par rayonnement sont souvent négligées devant la résistance convective globale des deux fluides.

B- Le transfert de masse :

Le transfert de masse est l'élément moteur de l'analyse technique de l'échangeur, il est dépendant aux propriétés physiques des fluides circulant dedans et la géométrie de l'échangeur de chaleur. Il est caractérisé par des grandeurs adimensionnelles comme le nombre de Reynolds qui nous donne le régime d'écoulement mis en jeu.

II.2.2. Matériaux de construction

Les matériaux de construction utilisables sont variés, leurs résistance à la corrosion et leurs coûts sont très différents (acier carbone, inox, titane, tantale, matière plastique, ...). L'utilisateur connaît souvent mieux que quiconque le matériau résistant le mieux dans les fluides qu'il exploite. Il est le seul à pouvoir accepter un compromis entre coût d'achat et durée de vie. C'est donc à lui d'indiquer les matériaux qu'il souhaite voir utiliser ou ceux qui sont prohibés.

II.2.3. Critères de classement des échangeurs de chaleur:

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. Énumérons les principaux [10]:

a- Type de contact :

- Échangeurs à contact direct :** Le type le plus simple comprend un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale.
- Échangeurs à contact indirect :** les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi.

b- Classement suivant les types d'échange :

□ Échangeur sans changement de phase :

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le deuxième fluide sans qu'il y ait changement de phase.

□ Échangeur avec changement de phase:

Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents:

1- l'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise : ces échangeurs sont rencontrés dans les machines frigorifiques.

2- le fluide secondaire se vaporise en recevant de la chaleur du fluide primaire, lequel ne subit pas de changement d'état. Ils sont appelés évaporateurs.

3- le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, lequel ne subit pas de transformation d'état.

c- Classement suivant la disposition des écoulements :

Dans les échangeurs à fluide séparés, les modes de circulation des fluides peuvent se ranger en deux catégories :

- Même sens « co-courants ».
- Sens contraire « contre-courant ».
- Ou bien les vecteurs de circulation des fluides sont perpendiculaires ; il s'agit cette fois de «courant croisé»

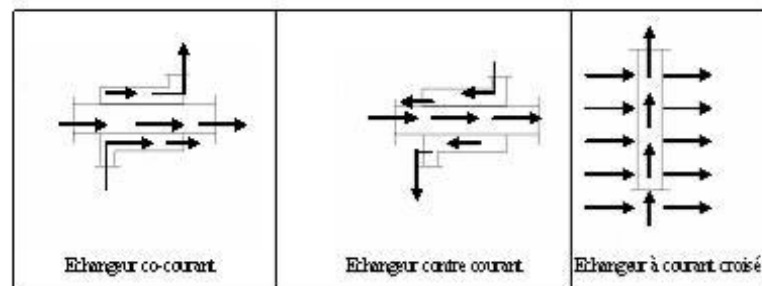


Fig. II.4 : Différents modes de circulation des fluides

d- Classement suivant la compacité de l'échangeur :

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur. Un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$, cette valeur est susceptible de varier de 500 à $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

e- Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange :

On retiendra deux types de paroi :

- les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires.
- les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre,...etc

f- Classement suivant le procédé de transfert de chaleur :

Suivant qu'il y a ou non stockage de chaleur, on définit un fonctionnement en récupérateur ou en régénérateur de chaleur :

- Transfert sans stockage, donc en récupérateur avec deux ou un passage et un écoulement en général continu.
- Transfert avec stockage, donc en régénérateur avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique.

g- Classement technologique :

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants :

- Echangeurs à tubes* : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires.

Pour des raisons économiques, les échangeurs utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange sont les plus répandus.

On peut distinguer trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement, toujours réalisés pour avoir la meilleure efficacité possible pour une utilisation donnée :

- échangeur monotube* (figure 2a), dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent.
- échangeur coaxial* (figure 2b), dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés, en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur.
- échangeur multitubulaire*, existant sous quatre formes :

- *échangeur à tubes séparés* (figure 2c) : à l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant se trouvent placés plusieurs tubes de petit diamètre maintenus écartés par des entretoises.

- *échangeur à tubes rapprochés* (figure 2d) : pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale autour de certains

d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans,

- *échangeur à tubes ailettes* (figure 2e) : ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique.

- *échangeur à tubes et calandre* (figure 2f) : c'est l'échangeur actuellement le plus répandu.

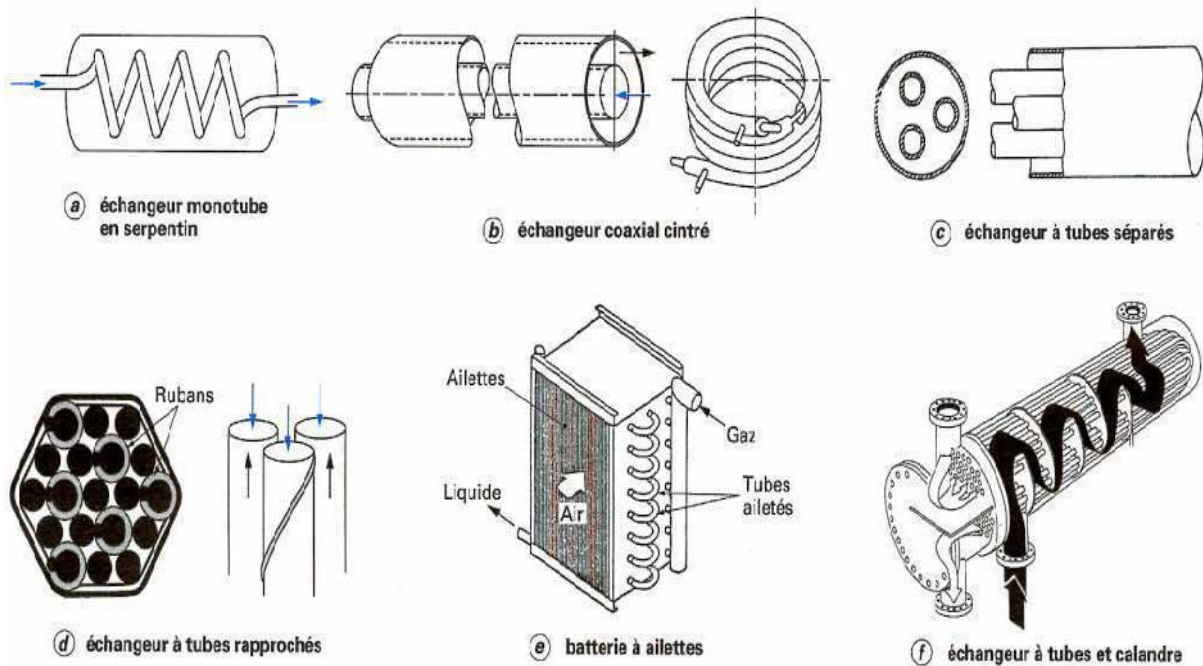


Fig. II.5 : Différents types d'échangeurs tubulaires

- **Echangeurs à plaques** : à surface primaire ou à surface secondaire (avec des ailettes)

Les échangeurs à plaques ont les meilleures performances thermiques. Cependant leur efficacité importante a fait qu'ils sont actuellement largement utilisés pour des applications diverses. On les rencontre dans l'industrie du froid et de la cryogénie, dans l'industrie chimique et pétrochimique, dans l'industrie pharmaceutique, dans l'industrie alimentaire... Leur technologie a aussi évolué tant dans la fabrication des plaques, du choix des matériaux que dans le mode d'assemblage des plaques. Initialement ce type d'échangeur a été conçu pour des fluides très propres mais l'uniformité de l'écoulement dans l'appareil, l'inexistence de zones mortes fait que leur encrassement est bien plus faible que pour les échangeurs tubulaires, de même que la simplicité de leur nettoyage permet d'étendre leur utilisation à des fluides plus encrassant.

□ Les principaux types des échangeurs à plaques sont figurés ci-dessous :

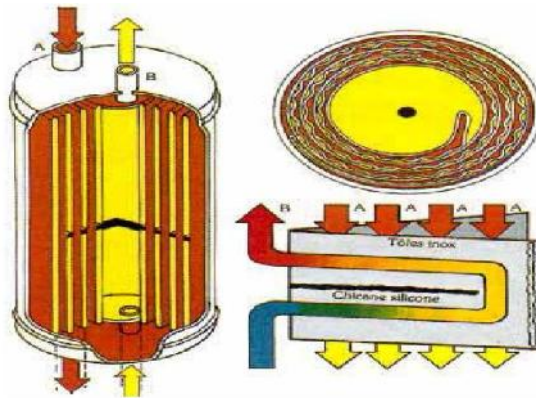


Fig. II.6 : Echangeurs spirales

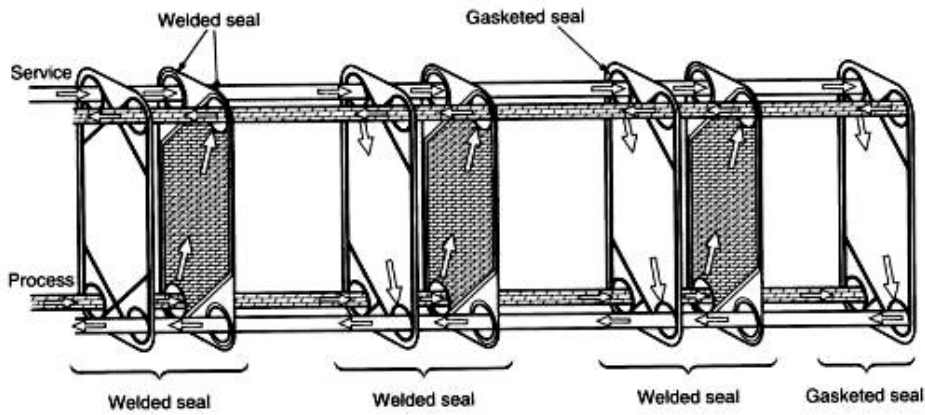
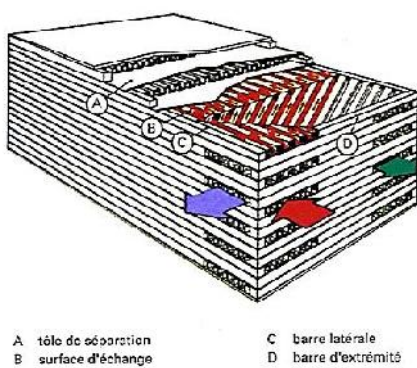


Fig. II.7 : Echangeurs à plaques soudées (partiellement ou totalement)



A tôle de couverture
B surface d'échange
C barre latérale
D barre d'extrémité



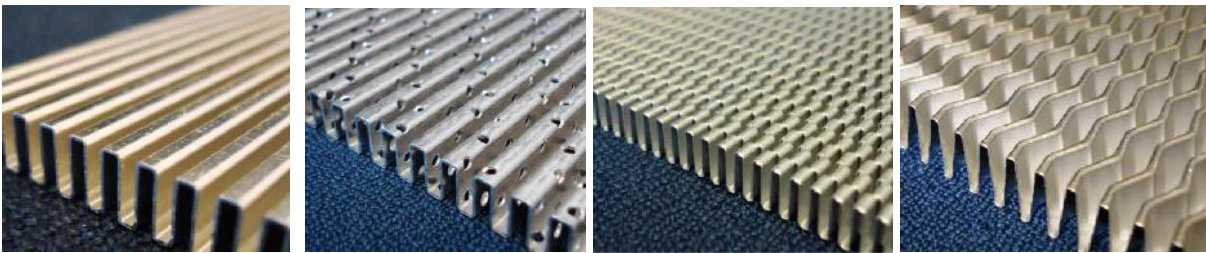
Fig. II.8 : Echangeur à plaques brasées
(Prise de vue des plaques de l'échangeur)



Fig.II.9 : Echangeurs à plaques et joints

□ **Les différents types d'ailettage des plaques :**

En pratique une surface est pourvue de plusieurs ailettes afin d'augmenter sa surface d'échange, donc améliorer le rendement d'échange de chaleur. On distingue plusieurs types d'ailettes. [9]



Ailettes planes

Ailettes perforées

Ailettes serrées

Ailettes ondulées

Fig. II.10 : Les différents types d'ailettage des plaques

□ Nous nous limitons à une description générale des échangeurs à plaques et joints et les échangeurs à tubes et calandre.

II.3. Les échangeurs à plaques et joints :

On les trouve aujourd'hui dans divers secteurs de l'industrie. Ils sont constitués par un empilement de plaques métalliques embouties qui servent de surfaces d'échanges à deux fluides ou plus. Les plaques positionnées dans un bâti constitué par un flasque fixe et un flasque mobile sont serrées entre elles au moyen de tirants latéraux. Dans d'autres configurations, les plaques peuvent aussi être brasées ou soudées entre elles.

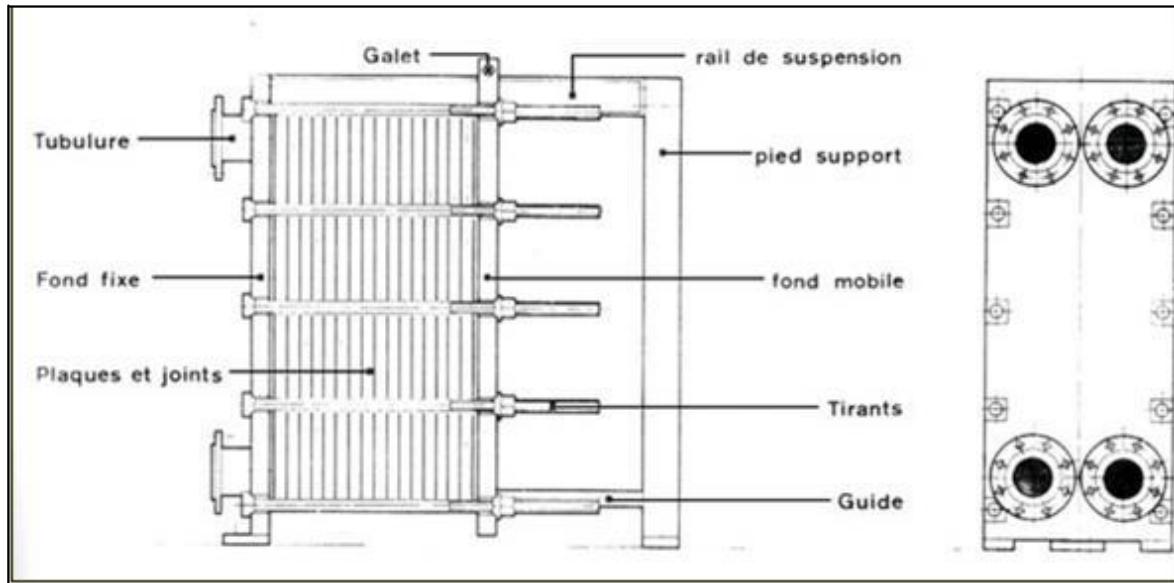


Fig.II.11 : Les principaux composants échangeur à plaques et joints

Le joint par plaque assure l'étanchéité de l'échangeur ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques.

Des cannelures droites ou en chevrons favorisent la turbulence des fluides (même pour des liquides visqueux) et assurent une bonne tenue à la pression du fait du grand nombre de contact métal/métal. On distingue les échangeurs à surface primaire (les plus communs) et les échangeurs à surface secondaire (on ajoute des ailettes plissées ou ondulées entre les plaques).

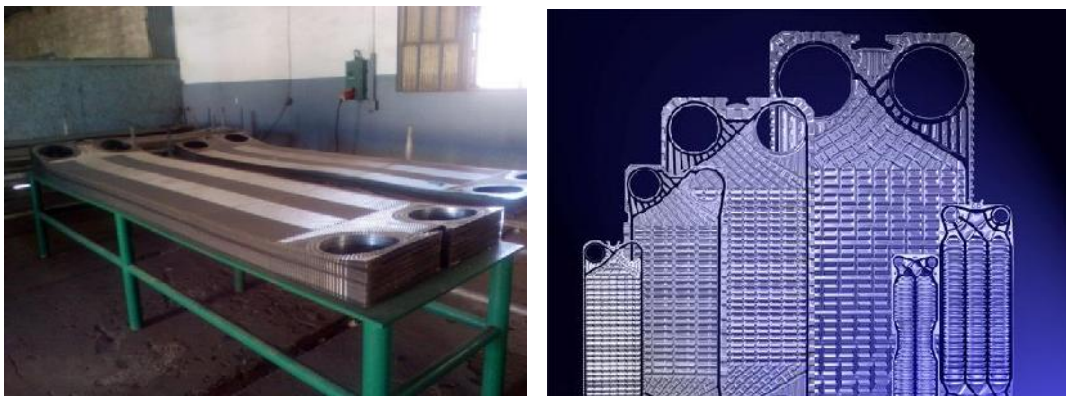


Fig. II.12 : Plaques à surface secondaire

II.4 Les échangeurs à tubes et calandre :

L'échangeur sous forme d'un faisceau de tubes, disposés à l'intérieur d'une enveloppe dénommée calandre. L'un des fluides circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, autour des tubes.

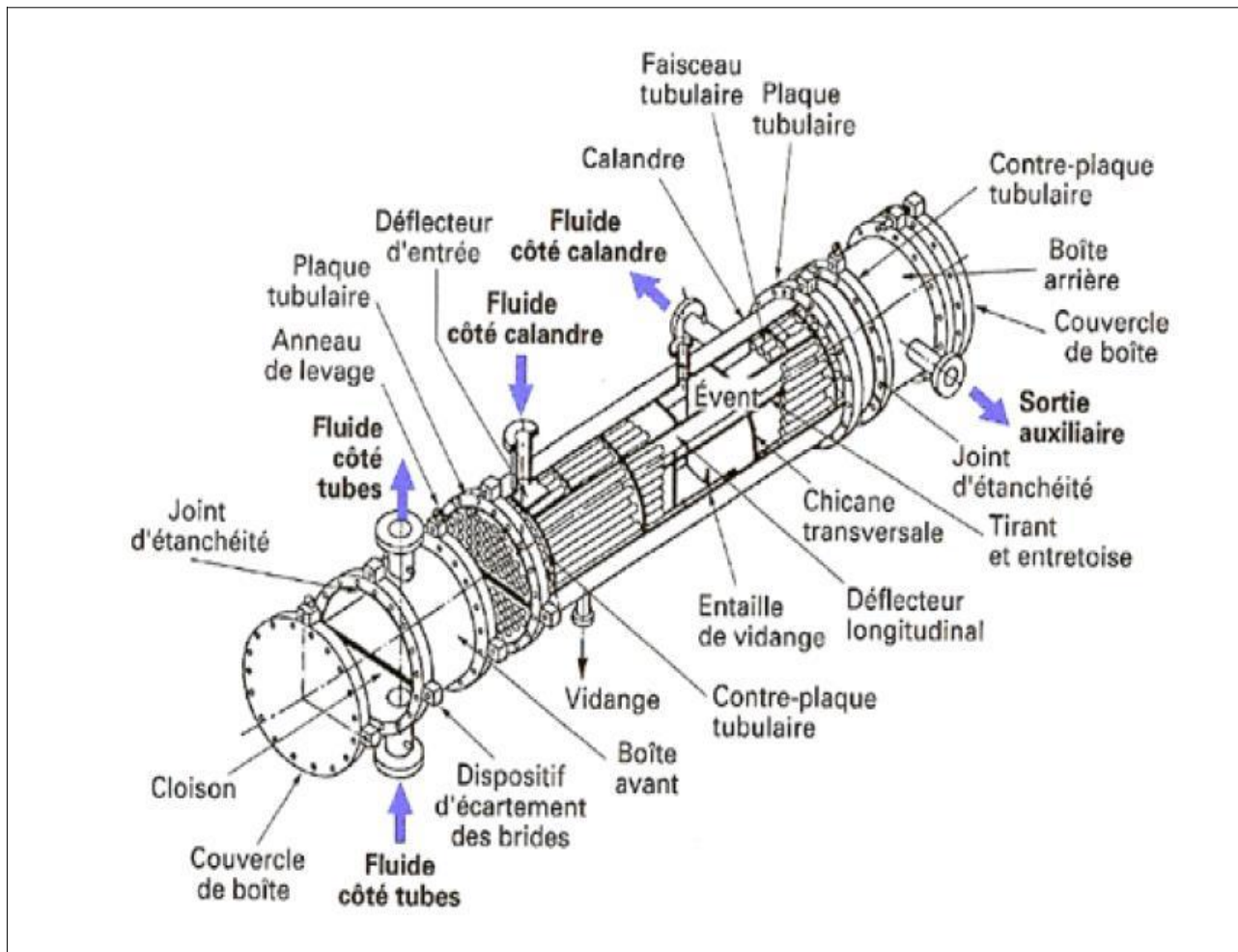


Fig.II.14 : Echangeur à tubes et calandre

Les éléments essentiels constituant d'un échangeur à tubes et calandre sont :

- **La boîte d'échangeur (distributeur)** : c'est l'organe qui reçoit et distribue le fluide à l'extrémité du faisceau de tubes. En général, un échangeur comporte deux distributeurs, à l'exception de la configuration de tubes en U ou en épingle.
- **La calandre (virole)** : c'est l'enveloppe cylindrique qui contient le faisceau tubulaire.
- **Les plaques tubulaires** : Ce sont des plaques percées et supportant le faisceau tubulaire aux

extrémités de la calandre. Leur épaisseur est calculée de façon à tenir compte de la différence de pression entre le fluide dans la calandre et le fluide dans les boîtes ainsi que des contraintes dues aux différences de dilatation entre tubes et calandre. Les tubes sont fixés sur la plaque par **dudgeonnage 2** (Opération qui consiste à assembler par refoulement de matière l'extrémité d'un tube sur la plaque Tubulaire.) Ou par soudure ou par les deux, la soudure servant alors à assurer l'étanchéité.

□

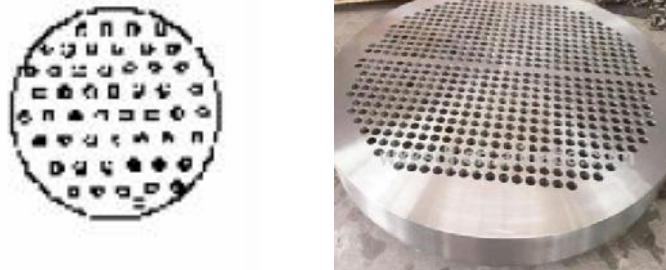


Fig II.15 : Plaque tubulaire

- **Le faisceau tubulaire:** ce sont généralement des tubes (lisses ou ailetés) normalisés disposés de deux façons possibles : le pas carré et le pas triangulaire.

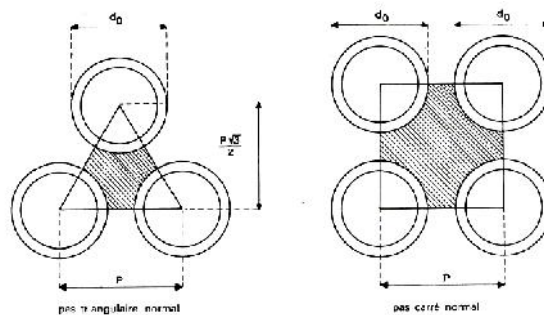
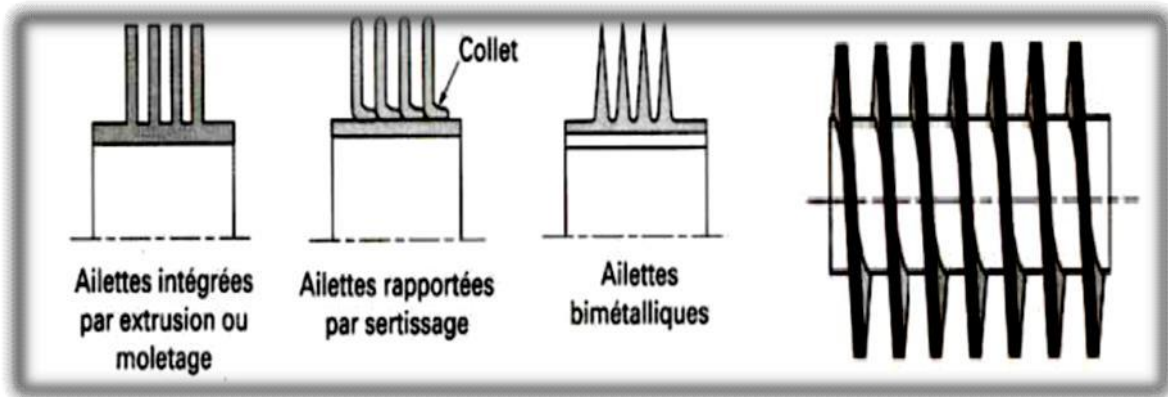


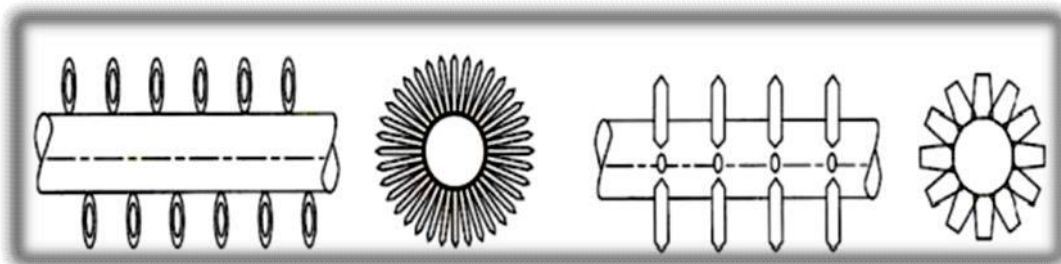
Fig II.16 : Disposition des tubes

II.4.1. Les différents types d'ailette des tubes :



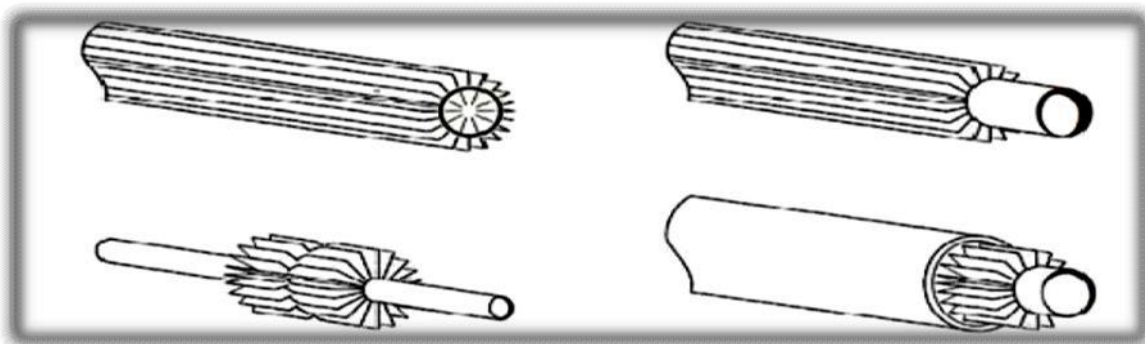
Ailettes annulaire

Ailettes spiral



Ailettes à fils préformés

Ailettes poinçonnées



Ailettes longitudinal

Fig. II.17 : Autre différent type d'ailettes [4]

- **Chicanes** : pouvant être de forme horizontales ou transversales, elles servent à assurer une bonne rigidité du faisceau et un bon brassage du fluide, car en augmentant la vitesse d'écoulement de celui-ci, elles améliorent le coefficient d'échange. Cependant, un compromis doit être réalisé entre le coefficient d'échange et les pertes de charge.

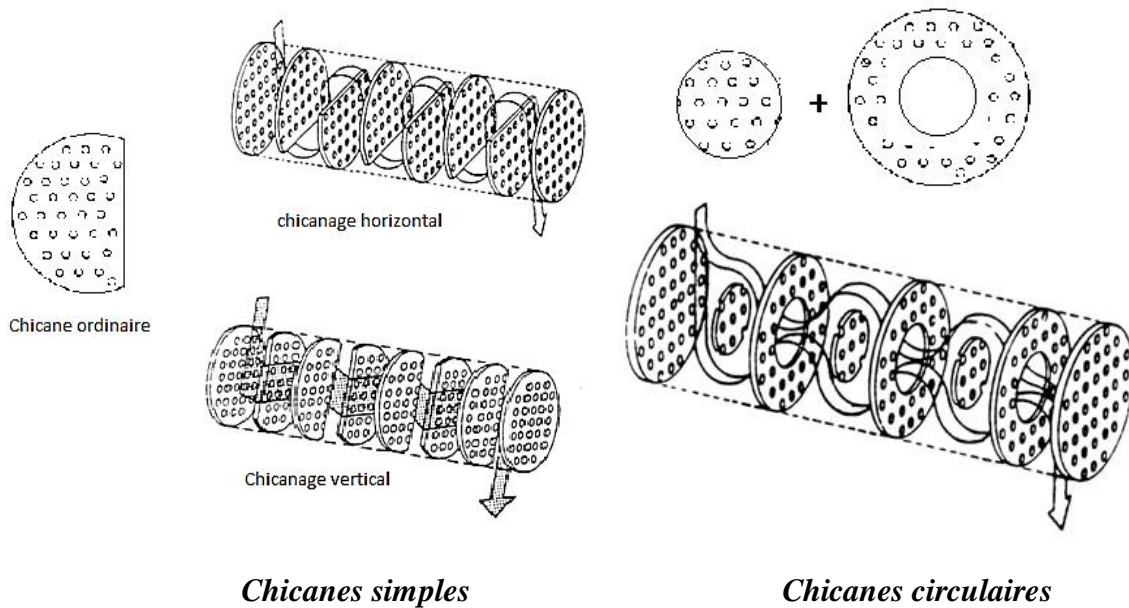


Fig. II.18 : les types de chicanage [8]

- **Tirants et entretoises** : assurent la liaison et l'espacement des chicanes et confèrent de la rigidité au faisceau.
- **Détecteurs** : assurent l'orientation de l'écoulement du fluide afin d'assurer une bonne distribution de celui-ci et protègent dans certains cas, le faisceau contre l'impact direct du fluide entrant (vapeurs saturées par exemple).
- **Events et vidange** : dans toute conception d'un échangeur destiné pour le réchauffage ou le refroidissement d'un liquide, il est impératif de prévoir des piquages de vidange et d'évents afin d'éliminer d'éventuelles poches de gaz qui en stagnant dégradent les performances de l'échangeur.

II.4.2. Les types des échangeurs à tubes et calandre :

a- Echangeur de chaleur à tête flottante :

L'une des plaques tubulaires est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre inférieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre. [4]

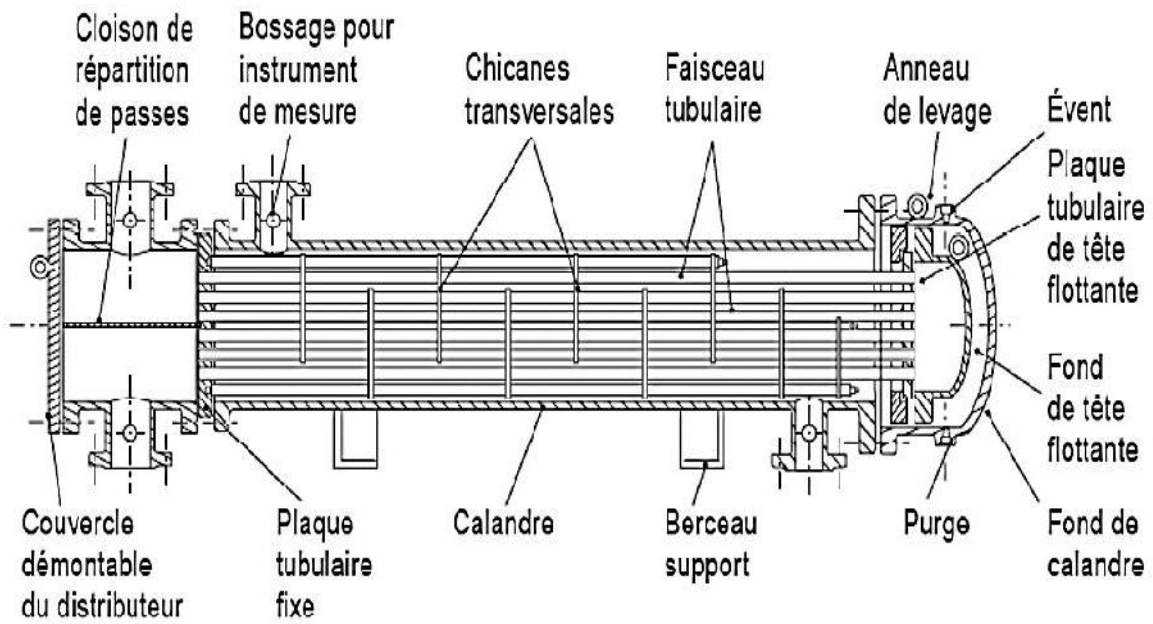


Fig. II.19 : Échangeur à tête flottante

b- Echangeur à plaque tubulaires fixes :

Dans ce cas, les plaques tubulaires peuvent être directement soudées sur la calandre.[4]

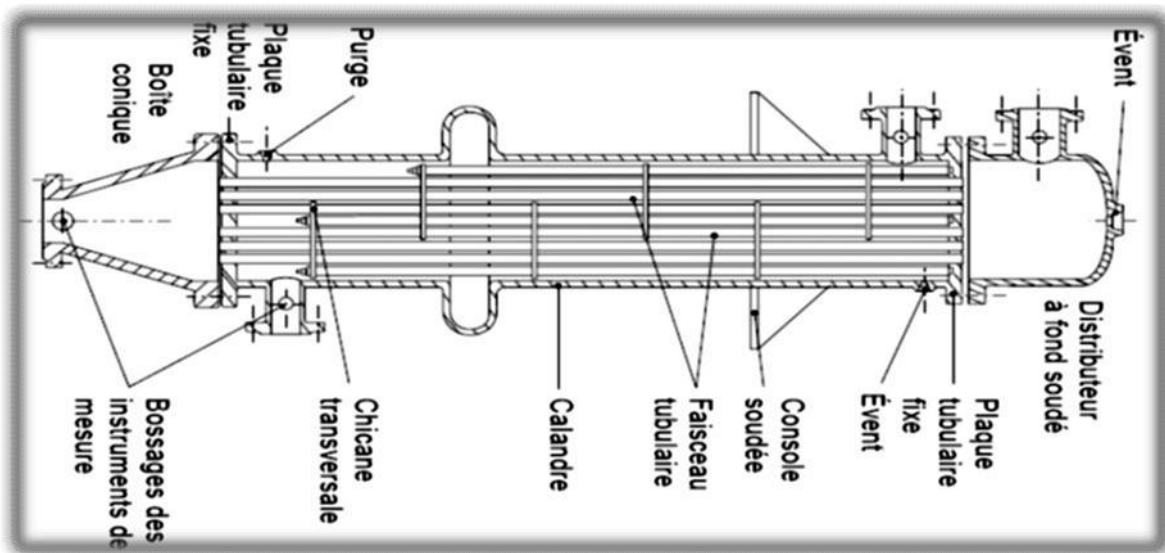


Fig. II.20 : Échangeur à plaque tubulaire fixe

c- Echangeur à tubes en U :

Le faisceau est constitué de tubes coudés en forme d'épingle, il n'est donc porté que par une seule plaque tubulaire. Ce système permet la libre dilatation du faisceau. En revanche, le nettoyage des tubes est difficilement réalisable autrement que par voie chimique.

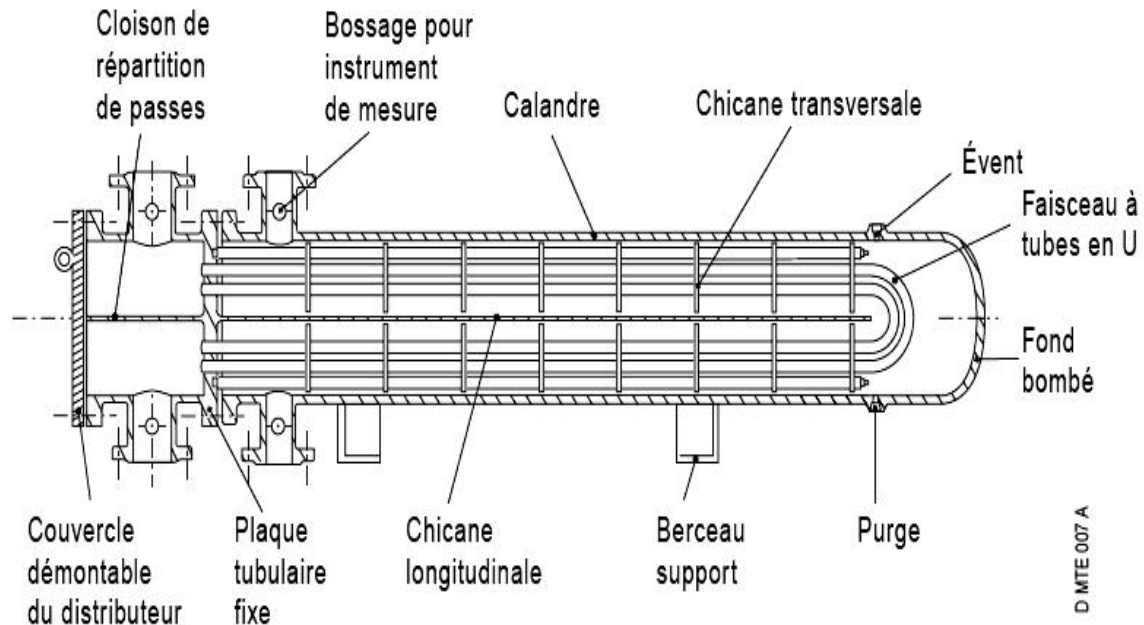


Fig. II.21 : Échangeur à tube en U

II.4.3. Critères du choix de l'ordre de passage des fluides :

Côté tube :

- L'eau de refroidissement (pour gagner éventuellement la quantité évacuée par convection naturelle).
- Le fluide le plus corrosif (le remplacement des tubes coûte moins cher que celui de la calandre).
- Le fluide le plus sale (il est plus simple de nettoyer l'intérieur des tubes que le faisceau à l'extérieur).
- Le fluide le moins visqueux (il est plus simple d'améliorer le coefficient d'échange de ce côté-ci des tubes).
- Le fluide sous haute pression (l'épaisseur des tubes et les dégâts seraient moindres).
- Le liquide de moindre débit volumique (On améliore mieux les coefficients de ce côté-ci).
- Le fluide soumis au moindre écart de température (Pour des écarts importants $> 100^\circ$, tout le faisceau devrait pouvoir se dilater, par conséquent le fluide changera de côté). [3]

II.4.4. Echangeurs de type TEMA :

Les échangeurs de chaleurs ne sont pas des appareils normalisés, bien que bons nombres d'éléments les constituant, le sont. Les échangeurs tubulaires sont des appareils standardisés et codifiés. La construction des échangeurs tubulaires suit les règles de codes nationaux et internationaux: Le **T.E.M.A** (Tubular exchangers manufacturers association U.S.A). En France c'est le S.N.C.T (syndicat national des chaudronniers et tôliers France). Ces codes suivent les normes de construction des réservoirs sous pressions de leurs pays, par exemple l'A.F.N.O.R pour la France et l'A.S.M.E pour les U.S.A. Le **T.E.M.A** est le code qui fait autorité internationale.

En **Algérie**, l'E.N.C.C de Hassi Aneur (Oran) est une entreprise qui fabrique des échangeurs de chaleurs de type multitubulaires, elle utilise le code **T.E.M.A** et l'**A.S.M.E**.

La combinaison de distributeurs, de calandres et de fonds de calandre (boîtes arrière) permet de réaliser un type d'échangeur TEMA, qui est désigné par trois lettres représentant respectivement le type de boîte avant, de calandre et de boîte arrière de l'échangeur.[L'annexe N°2] donne quelques combinaisons possibles d'échangeurs de type TEMA.[1]

Les lettres figurant dans ce tableau correspondent respectivement à :

Pour les distributeurs :

- A** : distributeur (boîte avant) avec fond démontable
- B** : distributeur à fond soudé
- C** : plaque fixe et couvercle démontable
- D** : fond spécial pour haute pression
- E** : plaque fixe et couvercle démontable

Pour les calandres :

- E** : il s'agit d'une calandre à une seule passe
- F** : calandre à deux passes et chicane longitudinale
- G** : calandre dont l'écoulement est divisé par une chicane longitudinale
- H** : calandre dont l'écoulement est doublement divisé par des chicanes longitudinales
- J** : calandre dont l'écoulement est divisé par une chicane transversale
- K** : rebouilleur type Kettle
- X** : calandre dont l'écoulement est croisé

Pour les fonds de calandres (boîtes arrière) :

- L** : plaque tubulaire fixe (formant bride de calandre) et faisceau démontable (boîte type A)
- M** : plaque tubulaire fixe et faisceau démontable
- N** : plaque tubulaire fixe (soudée) et faisceau démontable
- P** : fond flottant (glissant) avec presse étoupe extérieur
- S** : fond flottant avec anneaux démontables
- T** : fond flottant

U : faisceau de tubes en U

W : fond flottant avec presse étoupe extérieur à détecteur de fuite

II.4.5. Recommandations du TEMA :

Le standard TEMA introduit les recommandations suivantes pour la construction des échangeurs :

_ Les tolérances de fabrication des différents éléments constituant un échangeur sont proposées, et autres paramètres sont également mentionnés.

_ Un modèle de feuille de calcul (ou notice des spécifications) est recommandé.

_ Une plaque minéralogique est demandée sur ce type d'échangeurs, sur la base d'un inspecteur des mines.

_ Le fabricant doit garantir les performances thermiques et mécaniques de l'échangeur durant l'exploitation et ce conformément aux doléances du client, soit 12 mois après livraison, quand l'échangeur est utilisé dans les bonnes conditions.

Ajoutons que la durée de vie et la satisfaction du client sont obtenues pour les unités qui sont bien conçues et construites avec soins. Une installation correcte et une maintenance préventive sont de la responsabilité de l'utilisateur. Néanmoins, il est utile de rappeler que le manque de performances d'un échangeur peut provenir de plusieurs origines, dont :

- > L'encrassement excessif.
- > L'accumulation d'air ou de gaz dans l'appareil suite à un mauvais pompage, chute de pression ou mauvais dégazage.
- > Les conditions opératoires différentes de celles pour lesquelles l'échangeur a été conçu.
- > Une mauvaise distribution du fluide.
- > Une mauvaise conception thermique de l'appareil.

Par ailleurs, le TEMA ajoute :

- > Il faut permettre le démontage de l'échangeur.
- > Prévoir des fondations et des boulons de fondations.
- > Dispositions à prendre pour le nettoyage
- > Prévoir des vannes et des by-pass afin de permettre l'inspection de l'échangeur et sa maintenance.
- > Prévoir également des soupapes de dégazage facilitant l'évacuation des gaz qui peuvent s'accumuler.

- Une attention particulière doit être accordée au problème de vibrations, afin d'éliminer ou tout au moins minimiser les vibrations qui peuvent apparaître dans les échangeurs fonctionnant par exemple sous haute pression.
 - Lors du démarrage, envoyer d'abord le fluide froid suivi du fluide chaud pour réduire au mieux les dilatations du faisceau et éviter les chocs thermiques.
 - La maintenance régulière des échangeurs est une garantie d'une durée de vie allongée. Le nettoyage peut être chimique ou mécanique. Dans le cas du nettoyage chimique, la connaissance de la composition des dépôts par analyse permet de prévoir les bons produits dissolvant du tartre.
- [1]

II.5. Problèmes de fonctionnement des échangeurs de chaleur :

Lors de l'exploitation des échangeurs de chaleur, les industriels sont le plus souvent confrontés aux phénomènes liés à l'encrassement, la corrosion et les vibrations, voir la tenue mécanique des appareils. La tenue mécanique des échangeurs peut être considérée comme un problème à part, dans la mesure où pour les échangeurs de géométrie classique, elle est réglementée par des textes spécifiques et est en phase d'être régie par une normalisation européenne.

II.5.1 Encrassement :

L'encrassement englobe tout processus d'accumulation de particules solides contenues dans un fluide en circulation, soit par dépôt de tartre, soit par apparition de micro-organismes d'origine biologique.

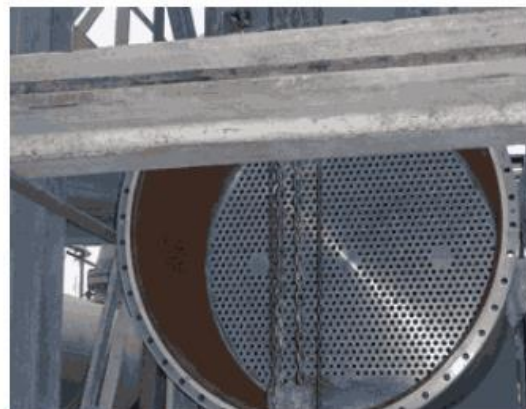


Fig. II.22 : Echangeur propre (à droite) et échangeur sale (à gauche)

II.5.1.1 Types d'encrassement

Selon le mécanisme de dépôt, on convient de classer les différents types d'encrassement en six catégories :

- encrassement particulaire
- corrosion
- entartrage
- encrassement biologique
- encrassement par réaction chimique
- encrassement par solidification

➤ **Encrassement particulaire :**

Ce type d'encrassement concerne les phénomènes de dépôt, puis d'accumulation de particules solides sur les surfaces d'échange, charriées par un fluide en écoulement.

Ainsi, l'eau d'une chaudière (produits de corrosion), ou d'une tour de refroidissement (Poussières, oxydes et hydroxydes de fer) ou encore les fumées industrielles qui déposent un résidu solide de combustion sont considérés comme des systèmes provoquant de l'encrassement particulaire.

➤ **Corrosion :**

Il s'agit ici du résultat d'une réaction chimique (ou électrochimique) entre la surface d'échange et le fluide en écoulement influencée par plusieurs paramètres dont : la nature du métal, son état de surface, la nature de l'agent agressif et les conditions physico-chimiques (température, vitesse d'écoulement, ...).

Cela se traduit par un encrassement dû aux produits de la réaction qui se déposent sur la surface d'échange (on parle alors de corrosion in situ). En revanche, les produits de corrosion créés ailleurs, entraînent un encrassement particulaire (corrosion ex situ).

➤ **Entartrage :**

Il intervient généralement quand on est en présence d'une production de solution solide à partir d'une solution liquide. Ce phénomène est rencontré surtout dans les échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer ou saumâtre, dans les chaudières et les systèmes géothermiques.

➤ **Encrassement biologique :**

Le développement de micro-organismes tels que les bactéries, les algues,..., crée un film au contact de la surface thermique. Ce type d'encrassement bien qu'apparaissant comme un processus naturel (les bactéries sont omniprésentes dans l'eau) peut être particulièrement favorisé par les conditions physico-chimiques rencontrées dans les échangeurs.

➤ **Encrassement par réaction chimique :**

Il apparaît quand une réaction chimique se déroule près de la surface d'échange et que les solides produits par la réaction s'y déposent. Ce phénomène se traduit souvent par une polymérisation. En général, les domaines concernés sont l'industrie pétrochimique (craquage thermique des hydrocarbures lourds), l'industrie agroalimentaire (pasteurisation du lait) et les systèmes de chauffage utilisant des fluides organiques.

➤ **Encrassement par solidification :**

La solidification d'un liquide pur au contact d'une surface d'échange sous-refroidie se traduit parfois par la formation d'une couche de glace ou givre entraînant l'encrassement par solidification des conduites. On peut tout simplement observer le dépôt d'hydrocarbures paraffiniques (possédant un point de congélation élevé) au contact d'une surface d'échange froide.

Enfin, on peut assister en réalité plutôt à un mode combiné, car la plupart des dépôts sont le résultat d'au moins deux types d'encrassement. Ainsi, un échangeur refroidi par eau peut être sujet à l'entartrage, à l'encrassement particulaire et à l'encrassement biologique par exemple.

II.5.1.2 Impact de l'encrassement sur le dimensionnement des échangeurs :

D'un point de vue thermique, l'encrassement d'un échangeur se traduit par la diminution de ses performances. En effet, les différents dépôts localisés sur la surface d'échange génèrent une résistance thermique supplémentaire qui s'oppose au transfert de chaleur à travers la paroi et par suite une diminution du coefficient d'échange global est observée conformément à l'expression déjà établie (Cas d'encrassement des tubes) :

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \frac{D_e}{D_i} + r_{e_i} \frac{D_e}{D_i} + \frac{e}{\lambda} \frac{D_e}{D_m} + r_{e_e} + \frac{1}{h_e}}$$

Avec : D_e/D_m désigne le rapport du diamètre extérieur de la conduite au diamètre moyen ($D_m = (D_e + D_i)/2$) et « e » l'épaisseur du tube. L'expression s'écrit encore :

$$\frac{1}{K_e} = R_{th} = \left(\frac{1}{h_i} \frac{D_e}{D_i} + \frac{D_e}{D_i} + \frac{e}{\lambda} \frac{D_e}{D_m} \right) + r_{e_i} \frac{D_e}{D_i} + r_{e_e}$$

C'est à dire sous la forme :

$$\frac{1}{K_e} = R_{th} = \frac{1}{K_{in}} + r_{e_i} \frac{D_e}{D_i} + r_{e_e}$$

En d'autres termes, la résistance thermique R_{th} de l'échangeur après encrassement, est égale à la résistance thermique de l'échangeur neuf $\frac{1}{K_{in}}$ majorée des résistances d'encrassement interne ($r_{e_i} \frac{D_e}{D_i}$) et externe r_{e_e} . [1]

En fait, l'évaluation de la résistance d'encrassement pour des conditions d'utilisation données est importante car elle peut guider le projeteur de l'échangeur dans le surdimensionnement éventuel de la surface d'échange pour atténuer le phénomène d'encrassement. Deux approches sont envisagées pour évaluer la résistance d'encrassement :

- Utilisation des tables, tables TEMA1 par exemple, pour déterminer la résistance thermique d'encrassement dû à certains liquides, ou d'autres tables relatives à l'encrassement côté gaz industriels.
- Utilisation de données issues de l'utilisateur possédant une certaine expérience dans le domaine des échangeurs.

II.5.1.3 Coefficient d'excès de surface C_s :

En ce qui concerne le surdimensionnement de la surface d'échange, la prise en compte de l'encrassement peut encore être traduite en termes d'excès de surface, caractérisé par un coefficient C_s (en %) :

$$C_s = \frac{S - S_{in}}{S_{in}} \times 100$$

Avec S et S_{in} respectivement surfaces d'échange après et avant encrassement. Notons qu'ici le calcul de S et S_{in} est effectué de manière à échanger le même flux thermique avec la même différence de température logarithmique moyenne DTLM. [1]

❖ Valeurs recommandées de C_s :

Le tableau suivant donne quelques valeurs du coefficient d'excès de surface pouvant servir de limites acceptables avec les domaines d'utilisation. Quoiqu'il en soit, on recommande d'éviter un surdimensionnement dépassant la valeur de 50 %. Dans ce cas, d'autres solutions sont envisageables telles que le choix de deux échangeurs en parallèle ou un dispositif de nettoyage en continu.

Valeurs de C_s	domaines d'utilisation
$C_s \approx 10 \%$	valeur minimale d'un surdimensionnement prenant en compte l'encrassement
$C_s \approx 15 \%$ à 25%	valeurs usuelles (pour un grand nombre de cas)
$C_s \approx 30 \%$ à 50%	surdimensionnement extrême (à utiliser pour les cas difficiles et là où il y'a risque de pénalités sévères si l'échangeur ne réalise pas les performances)

Tableau II.1 : Limites acceptables de C_s [1]

II.5.1.4 Les paramètres influençant l'encrassement :

Plusieurs paramètres ont été identifiés durant la conception comme ayant une influence directe sur l'encrassement des échangeurs. Ces paramètres sont :

- Les propriétés des fluides et leurs aptitudes à encrasser
- La température et la rugosité de surface.
- La vitesse d'écoulement et les effets hydrodynamiques.
- Le matériau des tubes.
- Les impuretés et l'étanchéité de l'échangeur
- Les produits solides en suspension.
- Le fluide encrassant du côté tube.
- L'écoulement côté calandre.
- La géométrie et l'orientation de l'échangeur
- Les changements saisonniers de température.
- Le changement de phase (la condensation, la vaporisation)

II.5.1.5 Prévention de l'encrassement :

Il existe des procédés mécaniques ou chimiques de prévention de l'encrassement pendant le fonctionnement de l'échangeur. L'objectif de ces procédés est non seulement une amélioration notable des performances, mais également une augmentation de la durée de service entre deux arrêts programmés (pour maintenance). Le tableau suivant représente quelques techniques utilisées pour prévoir l'encrassement des échangeurs :

Phase fonctionnement	Phase construction et montage	Phase fonctionnement	Phase d'arrêt
<ul style="list-style-type: none"> • Choix de type d'échangeur • choix de la géométrie et de la configuration • choix des conditions de fonctionnement (température, débit...) 	<ul style="list-style-type: none"> • assurance qualité sur la fabrication • protection pendant le transport et lors du stockage • opération de nettoyage et de passivation 	<ul style="list-style-type: none"> • maintien des conditions de fonctionnement (températures, débit...) • prétraitement des fluides • utilisation d'additifs (inhibiteurs, antitartres, dispersants, acides) 	<ul style="list-style-type: none"> • démontage et nettoyage manuel • attaques mécanique du dépôts(perçage,...) • nettoyage hydraulique à la lance(vapeur,air)

Tableau II.2 : Actions envisageable pour limiter l'encrassement dans les échangeurs

II.5.2. Les vibrations :

L'importance des vibrations doit amener le concepteur d'un échangeur à prendre en considération ce volet au même titre que le transfert de chaleur et les pertes de charges. Les échangeurs de chaleur sont soumis à leurs propres vibrations générées par l'écoulement des fluides circulant dans la calandre³ (sans oublier les vibrations classiques induites par les chocs,...). Il s'agira pour nous d'introduire les vibrations d'un système et de voir les caractéristiques vibratoires des tubes telles que fréquence propre et amortissement, ainsi que les caractéristiques hydrauliques (écoulement, instabilité,...).



Fig. II.23 : Déformation de la tôle extérieure d'un échangeur de chaleur
(Type à plaques brasées)

II.5.3 La maintenance des échangeurs :

- Durant l'exploitation, il faut faire attention à la réduction de la vitesse d'écoulement qui peut augmenter
- Veiller à la formation du personnel exploitant qui doit être au courant des mécanismes d'augmentation de l'encrassement.
- Les échangeurs compacts sont plus sensibles à l'encrassement que le reste des échangeurs, il faut faire autant attention aux filtres, aux doseurs chimiques, ... que pour les pompes.
- Etablir des procédures claires lors de blocages.
- Etablir des procédures claires pour l'entretien des échangeurs.
- Le nettoyage des échangeurs se fait de plusieurs façons selon le type d'échangeur, la nature de l'application, la nature des fluides en circulation...
- Lorsqu'on ne peut pas démonter les échangeurs, on peut : Faire circuler de l'eau, des solutions alcalines ou acides, ou autre solutions chimiques permettant de dissoudre les dépôts, d'injecter de l'air ou de l'azote dans le fluide ce qui permet de disloquer les dépôts. [1]

II.6 Evaluation des performances d'un échangeur :

L'étude d'un échangeur peut se faire selon deux méthodes différentes :

- Méthode du nombre d'unité de transfert : *NUT*, appelée méthode de l'efficacité.
- Méthode de la différence moyenne logarithmique : (*DTLM*).

II.6 .1. Evaluation par la méthode DTLM (Différences de Températures Logarithmiques Moyenne) :

Cas où l'échangeur est à dimensionner dont les débits des fluides chauds et froids et leurs températures sont connus à l'entrée et à la sortie. L'objectif consiste alors à déterminer:

- la surface d'échange requise
- la géométrie appropriée en fonction du type d'échangeur, du coût, de la masse et de l'encombrement.
 - On fixe T_{CS} et T_{FS}
 - Evaluer ΔT_{LM} .
 - Détermination du flux $\phi = US\Delta T_{LM}$ pour une première itération.
 - Utiliser les nouvelles valeurs de T_{CS} et T_{FS} pour refaire itération si c'est nécessaire.

II.6 .2. Evaluation par la méthode NUT :

Cette méthode est utilisée pour simuler un échangeur existant, dont on connaît les températures entrée des deux fluides et on recherche les températures des fluides sortants.

- Calculer $Nut = \frac{US}{C_{\min i}}$
- Déterminer $\frac{C_{\min i}}{C_{\max i}}$ et tirer E à partir des abaques.
- Calculer $\phi = E C_{\min i} (T_{ce} - T_{fe})$.
- Calculer T_{CS} et T_{FS} par $\phi = m_c C_c (T_{ce} - T_{cs}) = m_f C_f (T_{fs} - T_{fe})$.

II.7. Conclusion

Vu l'importance industrielle des échangeurs de chaleur, il existe une diversité des différents types qui ont des nombreuses applications. En outre leurs domaines d'étude sont vastes, citons : le transfert thermique, la mécanique des fluides, mécanique des matériaux, encrassement.

L'échangeur de chaleur ne contient aucune pièce mécanique mobile, et il peut subir plusieurs problèmes techniques, donc une maintenance préventive est nécessaire afin d'éviter ses problèmes car leurs maintenance corrective est coûteuse.

Le dimensionnement de cet appareil se fait selon deux méthodes NUT et DTLM.

La simulation est traitée dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Etude et Simulation de la station de récupération des condensats pollués

III.1. Introduction :

La section traitement d'eau polluée constitue la dernière étape dans le processus d'épuration, dont le but est de baisser les teneurs en NH_3 et NH_4NO_3 à des seuils tolérés par le processus. De ce fait, tout dysfonctionnement ou indisponibilité des équipements installés au niveau de la section peuvent provoquer des perturbations comme, qui a provoqué l'arrêt de l'unité suite à leur indisponibilité.

III.2. Description et rôle des échangeurs au niveau de la section de récupération des condensats pollués :



Fig.III.1 : ensemble des équipements unité RDC et NA

Les condensats de procédés proviennent de la condensation des buées produites lors de la réaction de l'acide nitrique et de l'ammoniac dans les deux réacteurs existants.

Ce procédé est basé sur une ré-évaporation des condensats dans 2 évaporateurs fonctionnant en double effet et présente un très faible coût opératoire.

La description de procédé est en conjonction avec les documents suivants :

- Process flow Diagram Section L1
- Process flow Diagram Section L2
- Process flow Diagram Section L3 ANNEX III.1
- Process and Instrumentation diagram (PID) Traitement condensat 1^{ère} effet ANNEX III.2
- Process and Instrumentation diagram (PID) Traitement condensat 2^{ème} effet ANNEX III.3
- Process and Instrumentation diagram (PID) Condensats non traité ANNEX III.4

III.2.1.Principe de l'évaporation multiple effet :

Dans ce document la vapeur produite par évaporation des condensats de procédés est appelée Buée. Le terme vapeur est utilisé pour la vapeur produite dans les réacteurs de synthèse de nitrate d'ammonium.

La vapeur produite dans les réacteurs de synthèse de nitrate d'ammonium contient des vésicules de nitrate d'ammonium ainsi que de l'ammoniac sous forme de gaz. Cette vapeur est en partie condensée dans la section de concentration primaire et est collectée sous forme de condensât alcalin. La partie qui n'est pas condensée sert de source d'énergie thermique dans l'atelier d'épuration des condensats, et est aussi collectée sous forme de condensât alcalin.

Les condensats alcalins sont neutralisés avec de l'acide nitrique afin de convertir l'ammoniac dissous en nitrate d'ammonium non volatile. Les condensats sont alors évaporés dans des évaporateurs à flot tombant, les buées produites sont exemptes de contaminant alors que la phase liquide se concentre progressivement en sels dissous. Les buées produites dans le premier effet servent de source de chaleur pour l'évaporation des condensats dans le second effet.

Schématiquement, une tonne de vapeur alimentée au premier effet permet de générer une tonne de buée dans l'évaporateur du premier effet, qui elle-même évapore une tonne d'eau dans l'évaporateur du deuxième effet. Dans le principe une tonne de vapeur permet de produire deux tonnes de buée qui une fois condensées produiront des condensats sans contaminant.

III.2.2. Description du procédé et paramètres de marche :

a. Bac des condensats acides :

Les buées sous pression produites dans les réacteurs LR1511 et LR2511 sont après désurchauffe essentiellement utilisées pour alimenter les évaporateurs LH1513/LH2513 de la première concentration et dans l'atelier de traitement des condensats où elles cèdent leur énergie en se condensant. Les condensats ainsi produits sont flashés sous pression atmosphérique avant de s'écouler par gravité dans le bac LV2526. La buée de flash qui en résulte est condensée dans le condenseur LE3501. Ce condenseur reçoit également une partie de la vapeur produite aux réacteurs LR1511 et LR2511 afin de maintenir constante la pression d'opération des réacteurs à 4.3 bars absolu. Les condensats produits dans le condenseur LE3501 s'écoulent également par gravité dans le bac LV 2526.

Tous les condensats qui sont collectés dans le bac LV2526, sont neutralisés par un ajout d'acide nitrique afin de capturer l'ammoniac dissous. L'intérieur du bac est maintenu sous forte agitation par le nouvel agitateur LA2526 afin d'assurer son homogénéité et un contrôle optimal du pH au environ de 2. L'essentiel des condensats acides est alors envoyé vers l'évaporateur du deuxième effet LH3502 via les pompes LP3504 A/B, alors qu'une faible partie est envoyée par les pompes LP3507 A/B vers les désurchauffeurs LV1520/LV2520.

b. Deuxième effet :

Evaporateur LH3502 :

Les condensats acides se mélangent avec les condensats qui re-circulent depuis le bas de l'évaporateur LH3502 afin d'assurer un « mouillage » optimal des tubes de l'évaporateur.

Les évaporateurs sont de type « flot tombant » avec un coefficient de transfert thermique élevé. Les condensats s'écoulent à l'intérieur des tubes, où ils sont chauffés par les buées provenant du premier effet se condensant du côté calandre de l'échangeur. La chaleur transmise génère une évaporation d'une partie des condensats à l'intérieur des tubes et la buée générée est séparée des condensats bouillants dans la chambre inférieure de l'évaporateur. Le liquide « bouillant pré concentré » est re-circulé vers les tubes via les pompes LP3502 A/B, alors que la buée s'écoule horizontalement vers le séparateur LV3502. Une partie du condensat « Pré concentré » contenant environ 6% de nitrate d'ammonium est envoyé vers le premier effet de traitement.

✚ Séparateur LV3502 :

Dans le séparateur LV3502 les gouttelettes de condensat « pré concentré » entraînées par la buée sont capturées puis collectées dans le fond de l'équipement avant d'être retournées vers l'aspiration de la pompe de recirculation de l'évaporateur LH3502.

La buée passe alors à travers un dévésiculateur de type matelas tricoté situé dans la partie haute du séparateur qui enlève les gouttelettes qui auraient pu être entraînées par la vapeur ascendante.

✚ Condenseur LE3502 - Refroidisseur LE3503 :

La buée provenant du séparateur LV3502, mélangée avec la buée de flash des condensats collectés dans la calandre de l'évaporateur LH3502, est envoyée au condenseur LE3502. Le condenseur LE3502 est un aérocondenseur, avec des ventilateurs à vitesse variable qui permettent d'ajuster la pression de travail à 1.3 bars absolus.

L'ensemble du condensat propre est collecté dans le ballon de flash LV3503 avant de s'écouler vers le refroidisseur LE3503 où il est refroidi à 40°C. Le condensat propre est envoyé pour l'essentiel en limite de batterie via les pompes LP3503A/B. Il est aussi utilisé comme source d'eau froide pour les équipements mécaniques des sections L1 et L2. Enfin il permet de faire l'appoint d'eau vers les ateliers d'acide nitrique.

c. Premier effet :

Les condensats « pré concentrés » venant du deuxième effet se mélangent avec les condensats qui re-circulent depuis le bas de l'évaporateur LH3501. Cet évaporateur fonctionne sur le même principe que l'évaporateur LH3502. La vapeur se condensant du côté calandre provient des réacteurs LH1521 et LH2521. Une partie du condensat « concentré » contenant environ 25% de nitrate d'ammonium est envoyé vers l'atelier de synthèse de nitrate d'ammonium pour y être recyclé.

Les buées générées par l'évaporateur LH3501, débarrassées de leurs entraînements dans le séparateur LH3501, servent de vapeur de chauffe au deuxième effet.

d. Condensat non traité :

Concentration primaire :

Cette partie de l'installation existante demeure inchangée.

La solution de nitrate d'ammonium avec une concentration d'environ 79% en provenance du réacteur est concentrée jusqu'à 95% de matière sèche dans les évaporateurs LH1513 / LH2513. Les buées à 0.3 bar abs générées à ce stade sont désurchauffées dans les désurchauffeurs LV1530/LV2530 avant d'être condensées dans les échangeurs LE1531/LE2531. Les condensats de concentration s'écoulent par gravité dans les bacs barométriques LV1536/LV2536.

Bacs barométriques LV1536/LV2536 :

Les 2 bacs barométriques LV1536 et LV2536 sont reliés par une ligne de « vase communiquant » afin que les condensats collectés dans le bac LV2536 s'écoulent vers le bac LV1536. Une adjonction contrôlée d'acide nitrique est effectuée dans le bac LV1536 afin de maintenir le pH à une valeur inférieure à 2. Les condensats collectés dans le bac LV1536 sont envoyés pour l'essentiel vers le bac de stockage des condensats pollués LV3504 par les nouvelles pompes LP3504 A/B. Une faible fraction des condensats du bac LV1536 sert aussi à la désurchauffe des buées générées à la concentration primaire.

Bac de stockage et refroidisseur condensats pollués :

Les condensats stockés dans le bac LV3504 sont envoyés en limite de batterie vers le bac d'eau des ateliers d'acide nitrique NV1053 par les pompes LP3506 A/B. Avant de quitter l'atelier ils sont refroidis à environ 20°C dans le refroidisseur LE3504 où ils cèdent leur chaleur sensible en vaporisant une fraction de l'ammoniac qui alimente les ateliers de synthèse de nitrate d'ammonium.

De ce fait, nous venons de faire un calcul de vérification d'un échangeur Tube-calandre au niveau de la station

III. 3. Dimensionnement de l'échangeur tubes et calandre :

Le dimensionnement et le choix des échangeurs de chaleur est complexe et dépendra de plusieurs facteurs citons entre autres :

- ✚ La grande diversité des appareils (échangeurs tubulaires, à plaques, etc.)
- ✚ la variété des régimes d'écoulement : simple phase en régime laminaire ou turbulent, avec ou sans effet de convection naturelle, diphasique en évaporation ou en condensation, condensation avec ou sans incondensables, mélanges de fluides, etc.
- ✚ Le nombre important des configurations d'écoulement, pouvant aller bien au-delà de deux fluides dans le cas d'un échangeur compact, par exemple.

La conception d'un échangeur de chaleur peut être divisée essentiellement en trois parties :

- ✚ l'analyse ou le calcul thermique et géométrique.
- ✚ la conception préliminaire mécanique.
- ✚ la conception finale aux fins de fabrication.

La première partie est celle qui nous concernera tout au long de ce chapitre est le calcul de la surface d'échange requise afin qu'une quantité de chaleur déterminée soit échangée.

Dans notre cas on va utiliser la méthode de KERN (DTLM) destinée pour le dimensionnement d'un nouveau appareil, en connaissant les quatre températures des deux fluides au niveau des entrées et sorties de l'échangeur, et dont le but est de rechercher la géométrie (conception) de l'échangeur.

		Fluide chaud	Fluide froid
Débit	(kg/h)	8595,44	18268,75
T _e	(C°)	146,3	117,5
T _s	(C°)	128,3	128,3

Tableau III.1 : Paramètres de fonctionnement de l'échangeur

✚ Choix d'écoulement des fluides (côté tubes ou calandre) :

- ✓ Côté tubes : fluide froid
- ✓ Côté calandre : fluide chaud

Calcul de la différence logarithmique moyenne de température:

$$DTLM = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)}$$

$$DTLM = \frac{(146,3 - 128,3) - (128,3 - 117,5)}{\ln\left(\frac{146,3 - 128,3}{128,3 - 117,5}\right)}$$

$$DTLM = 14,094 \text{ } ^\circ\text{C}$$

la surface totale d'échange « A » :

$$Q = A \cdot U_s' \cdot f \cdot DTLM$$

Avec U_s' coefficient de transfert sale.

$$f = \text{coefficient correctif} = 1,29$$

$$U_s' = 1160 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$Q = 4\,050\,000 \text{ Kcal/h} = \text{quantité de chaleur échangé}$$

$$A = \frac{Q}{A \cdot U_s' \cdot f \cdot DTLM} = \frac{4050000}{1160 \times 1,29 \times 14,094} = 192,03 \text{ m}^2$$

$$A = 192,03 \text{ m}^2$$

Selon le standard TEMA, pour une surface d'échange inférieure à 300 m², on utilise un seul échangeur de chaleur.

Les caractéristiques des tubes :

Selon le standard TEMA et les échangeurs commerciaux, on propose un échangeur de chaleur dont les caractéristiques des tubes sont :

- **Matériau de construction : acier au carbone**
- **Diamètre extérieur : $d_e = 50,8 \text{ mm}$**
- **Epaisseur : 1,25 mm**
- **Longueur utile : $l = 10\,000 \text{ mm}$**
- **Disposition : Pas triangulaire**
- **Le pas : $P = 63,5 \text{ mm}$**

✚ Calcul de la surface d'échange d'un tube :

$$a = .d_0.l$$

Avec :

$$d_e = 50,8 \text{ mm}$$

$$l = 10\,000 \text{ mm}$$

AN : $a = 1,595 \text{ m}^2$

✚ Nombre des tubes par calandre :

$$N_t' = \frac{A'}{a.n_c} = \frac{192,03}{1,595 * 1} = 120,394$$

Avec : n_c est le nombre des passes côté calandre

$$N_t' = 121 \text{ tubes}$$

✚ Calcul des températures caloriques des fluides:

Pour le fluide chaud : $T_c = T_{sc} + F_c (T_{es} - T_{sc})$

Pour le fluide froid : $t_c = t_{ef} + F_c (T_{sf} - T_{ef})$

Fraction calorique : $F_c = \frac{DTLM}{\Delta t(\text{chaud}) - \Delta t(\text{froid})}$

AN: $F_c = \frac{14,094}{(146,3 - 128,3) - (128,3 - 117,5)} = 1,957$

$$T_c = 128,3 + 1,957 (146,3 - 128,3) = 163,52 \text{ C}^\circ$$

$$t_c = 117,5 + 1,957 (128,3 - 117,5) = 138,63 \text{ C}^\circ$$

✚ **Calcul de la Section de passage :**

$$a_t = \frac{N_t}{n_t} \pi \frac{d_i}{4}$$

$$a_t = \frac{192}{1} 3,14 \frac{(0,046)^2}{4}$$

$$a_t = 0,318 \text{ m}^2$$

✚ **La vitesse massique :**

$$G_t = \frac{M}{a_t}$$

$$G_t = \frac{18268,75}{0,3183600} = 15,96 \text{ kg/m}^2.\text{s}$$

$$G_t = 15,96 \text{ kg/m}^2.\text{s}$$

✚ **Calcul du nombre de Reynolds:**

$$Re = \frac{d_i \cdot G_t}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,046 \cdot 15,96}{0,000013} = 56\,473,84$$

$Re = 56\,473,84 > 10\,000$; Régime d'écoulement : **turbulent**

III.4. SIMULATION

III.4.1 Généralités :

La simulation est une forme particulière de l'expérience. Dans une expérience ordinaire (au laboratoire), l'expérimentateur exerce une action directe sur l'objet à étudier, par contre; dans la simulation, ce contact n'existe pas en ce sens que l'expérimentateur n'agit pas directement sur l'objet mais sur son modèle mathématique.

La simulation est l'utilisation d'un modèle mathématique adéquat pour étudier le comportement d'un système physique. Un modèle mathématique est un ensemble d'équations qui décrivent le comportement d'un système à étudier (opération unitaire). Ces équations sont souvent des relations de conservation de masse, d'énergie et des équations de conservation de quantité de mouvement.

En utilisant cet aspect mathématique de raisonnement, la simulation offre un avantage majeur et important, car elle fournit une bonne approche du comportement du système réel.

De nos jours, vu le développement considérable des logiciels informatiques, la simulation est devenue un outil de travail indispensable pour l'ingénieur de process.

Le fonctionnement d'un simulateur est basé essentiellement sur le choix d'un modèle thermodynamique représentant mieux le système à étudier.

Les différentes tâches qu'un simulateur de procédé devrait effectuer sont :

- ✚ La résolution des bilans de matière et d'énergie ;
- ✚ Le dimensionnement des équipements ;
- ✚ L'évaluation économique du procédé ;
- ✚ L'optimisation du procédé.

Et pour la réalisation de celle-ci, un simulateur doit contenir :

- ✚ Une bibliothèque de modèle de calcul des propriétés physiques et thermodynamique des corps purs et des mélanges, couplée à une banque de données de corps purs ;
- ✚ Une bibliothèque de module standard de simulation des opérations unitaires les plus couramment présentées dans un procédé de fabrication ;
- ✚ Une bibliothèque de modules de méthodes numériques algébriques ;
- ✚ Une bibliothèque de modules de génération de diagnostics.

Le choix du modèle thermodynamique :

Les logiciels de simulation donnent accès à plusieurs modèles thermodynamiques pour la prédiction de l'équilibre liquide vapeur, d'enthalpie et d'entropie ainsi que les propriétés de transports.

La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique, parce que ce dernier est établi pour une classe de fluide et un domaine de conditions P et T recommandés en utilisant des hypothèses et des suppositions pratiques.

On peut distinguer :

1. Modèles d'activités

Ces modèles sont surtout utilisés pour les systèmes qui présentent une forte polarité. Parmi ces modèles : le modèle de MARGULES et le modèle UNIQUAC.

2. Modèles hétérogènes

Ces modèles sont recommandés pour les systèmes de constituants présentant une forte polarité (forte déviation à l'idéalité, azéotropiques.....). Dans ces modèles les phases vapeurs sont représentées par les équations d'états, et les phases liquides par des corrélations pour le calcul des coefficients de fugacité.

Leurs utilisations restent limitées à cause de la nature empirique des corrélations proposées et qui nécessitent des extrapolations en dehors des conditions expérimentales.

3. Modèles basés sur les équations d'Etat

Les modèles thermodynamiques basés sur les équations d'état sont utilisés pour le calcul des systèmes d'hydrocarbure et des systèmes de faible non-idéalité. Ils peuvent être utilisés pour calculer des propriétés thermodynamique tel que : le constant d'équilibre K, l'entropie, l'enthalpie et la densité.

Leurs supériorités par rapport aux autres modèles résident dans le fait de l'utilisation des coefficients d'interaction binaires.

III.4.2. Description du simulateur HYSYS :

Le HYSYS est un logiciel de simulation des procédés de génie chimie, développé par la société canadienne HYPROTECH, il est utilisé aussi dans l'engineering (station de compression, canalisation...etc.). Il a été conçu pour permettre le traitement d'une vaste gamme de problèmes allant de la séparation bi, tri-phasique simple jusqu'à la distillation et la transformation chimique.

Le logiciel HYSYS est un outil de dimensionnement utilisé pour s'assurer que les conceptions optimales sont identifiées. Il est aussi utilisé pour modéliser les unités existantes et assurer que les équipements sont par spécification performants, ainsi évaluer et améliorer les procédés existants.

Les ingénieurs engagés dans l'engineering de design utilisent le logiciel HYSIS pour faire des calculs rapides en utilisant des modèles efficaces et des techniques optimales.

✚ La simulation par HYSYS réduit les coûts de l'engineering par :

Des calculs rapides de différents designs en utilisant des model efficaces et des techniques optimales pour s'assurer que les équipements du procédé sont correctement spécifiés afin de délivrer les caractéristiques du produit voulues aux rendements de la production désirés.

Création de modèles qui peuvent être appliqués durant le fonctionnement de l'unité à partir du design de conception jusqu'aux détails : Estimation, formation et optimisation.

Le HYSYS demande, pour définir ces corps, de remplir un tableau de valeurs à utiliser lors des calculs. En outre, pour caractériser les mélanges d'hydrocarbures complexes, il est possible d'utiliser les résultats d'analyses normalisées telles que ASTM,...etc.

Le HYSYS va par la suite utiliser ces données pour générer un nombre fini (choisi par l'utilisateur) de pseudo-corps repérés par Leurs points d'ébullition normaux pour représenter ces mélanges.

✚ Structure et architecture de HYSYS :

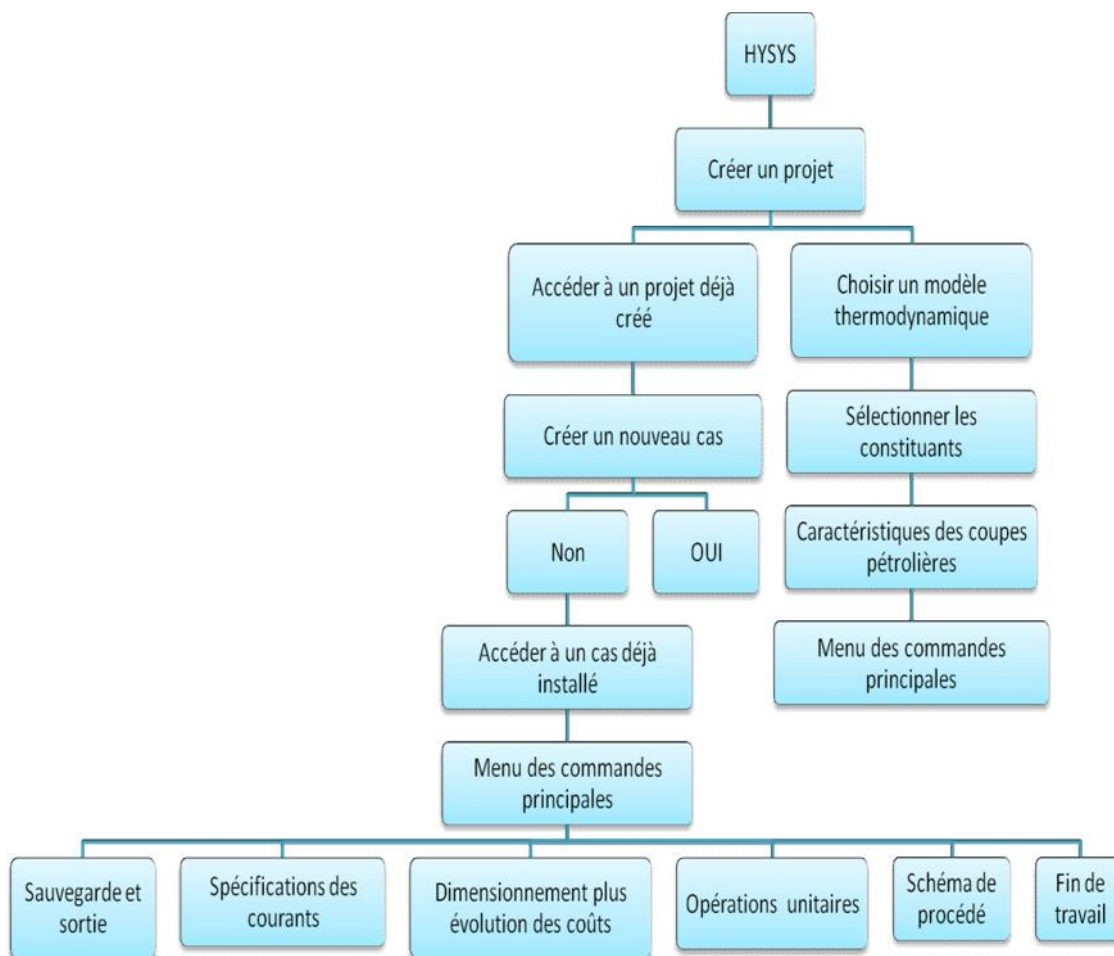


Fig. III.2. Structure opérationnelle de HYSYS

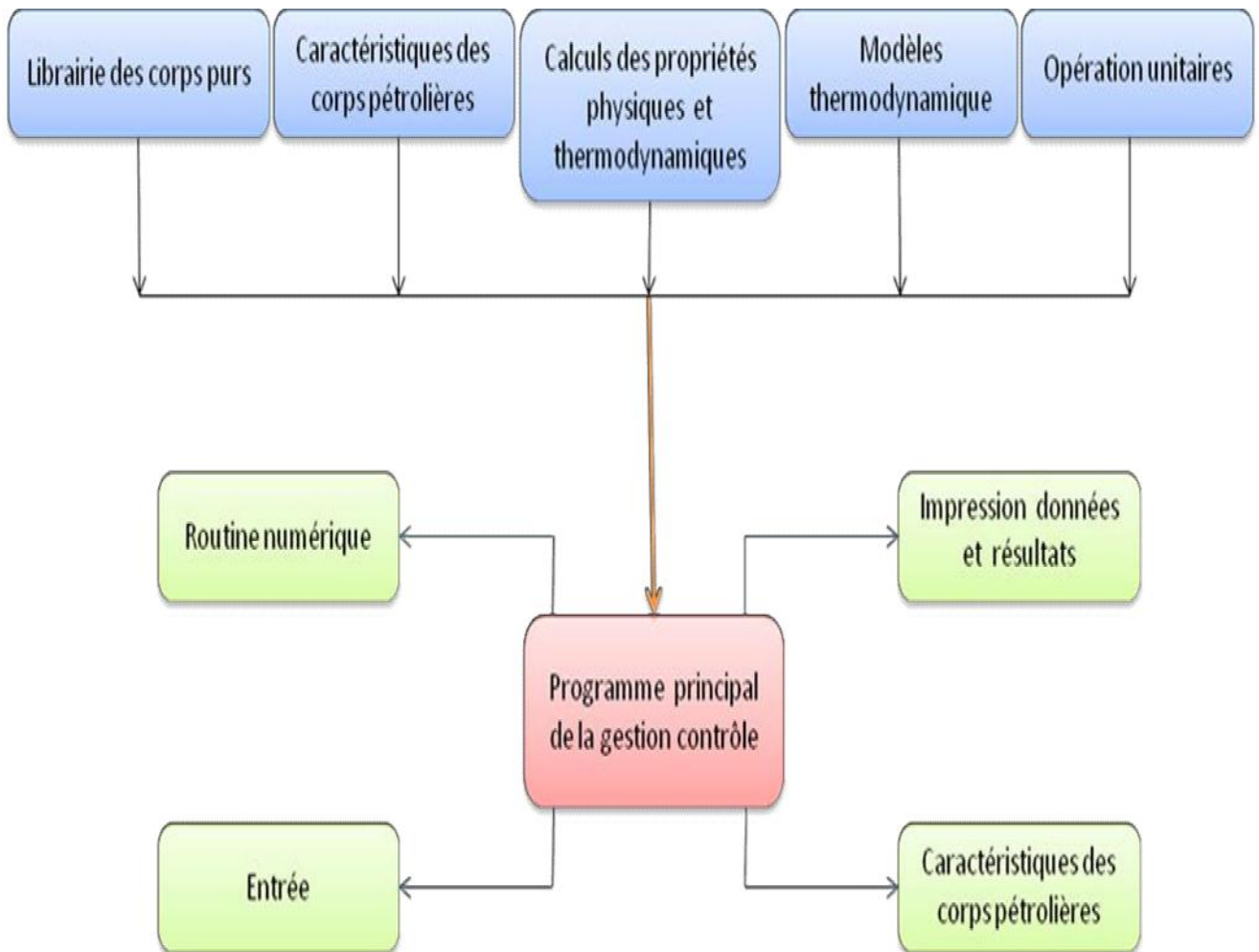


Fig. III.3. Architecture de HYSYS

III.4.3. Objectif de la simulation :

La simulation est un outil utilisé dans différents domaines de l'ingénierie et de la recherche en général, permettant d'analyser le comportement d'un système avant de l'implémenter et d'optimiser son fonctionnement en testant différentes solutions et différentes conditions opératoires. Elle s'appuie sur l'élaboration d'un modèle du système, et permet de réaliser des scénarios et d'en déduire le comportement du système physique analysé

Un modèle n'est pas représentation exacte de la réalité physique, mais il est seulement apte à restituer les caractéristiques les plus importantes du système analysé.

Il existe plusieurs types de modèle d'un système physique : allant du modèle de représentation qui ne s'appuie que sur des relations mathématiques traduisant les grandeurs caractéristiques de son fonctionnement, jusqu'au modèle de connaissance complexe issu dont dépend principalement des objectifs poursuivis.

III.4.3.1 Principes de fonctionnement et rôle des simulateurs :

Les simulateurs de procédés utilisés classiquement dans l'industrie, peuvent être considérés comme des modèles de connaissance. Ils sont basés sur la résolution de bilans de masse et d'énergie, des équations d'équilibres thermodynamiques, ...etc, et sont à même de fournir l'information de base pour la conception. Ils sont principalement utilisés pour la conception de nouveaux procédés (dimensionnement d'appareil, analyse du fonctionnement pour différentes conditions opératoires, optimisation), pour l'optimisation de procédés existants et l'évaluation de changements effectués sur les conditions opératoires. Avant même de parler de modèles d'opération de transformation de la matière, il faut des modèles pour prédire les propriétés physiques de la matière. C'est pourquoi ces simulateurs disposent tous d'une base de données thermodynamiques contenant les propriétés des corps purs (masse molaire, température d'ébullition sous conditions normales, paramètres des lois de tension de vapeur, ...). Cette base de données est enrichie d'un ensemble de modèles thermodynamiques permettant d'estimer les propriétés des mélanges.

Tout simulateur industriel de procédés chimiques est organisé autour du module suivant :

- Une base de données des corps purs et un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés des mélanges appelés aussi modèles thermodynamiques.
- Un schéma de procédé permettant de décrire les liaisons entre les différentes opérations unitaires constituant l'unité (PFD pour Process Flow Diagram).
- Des modules de calcul des différentes opérations unitaires contenant les équations relatives à leur fonctionnement : réacteur chimique, colonne de distillation, colonne de séparation, échangeurs de chaleur, pertes de charges, etc.
- Un ensemble de méthodes numériques de résolution des équations des modèles.

Avec ce type de logiciel, les ingénieurs peuvent à partir de la donnée des corps purs présents dans le

procédé et du schéma de procédé, développer un modèle du processus reposant sur la mise en commun des équations décrivant les différentes opérations unitaires, les réactions chimiques, les propriétés des substances et des mélanges, qui puisse aussi communiquer avec d'autres applications comme Excel, Visual Basic et Matlab,...

III.4.3.2. Modes de fonctionnement des simulateurs:

Il y a deux modes de fonctionnement dans un simulateur : statique (ou stationnaire) et dynamique.

Les simulateurs statiques résolvent des équations statiques qui traduisent le fonctionnement en régime permanent (à l'équilibre), tandis que les simulateurs dynamiques permettent d'évaluer l'évolution des variables dans le temps à partir de la résolution de systèmes d'équations différentielles. Les simulateurs industriels sur la thermodynamique les plus connus mondialement sont :

- Statiques : ASPEN PLUS (Aspen Technologies), Design II de (WinSim), HYSYS(Hyprotech), PRO/II (Simulation Sciences), PROSIM
- Dynamiques : HYSYS (Hyprotech), ASPEN DYNAMICS (Aspen Technologies), Design II de (WinSim), DYMSYM (Simulation Sciences Inc.)

Selon Winter (Winter, 1992) les simulateurs dynamiques sont en passe de se substituer aux simulateurs en régime permanent. Par exemple, HYSYS (Hyprotech) peut passer de la simulation d'un régime permanent à celle d'un régime transitoire (dynamique) par un seul « click » sur un bouton.

Néanmoins, tout procédé ne peut être simulé à l'aide de ces simulateurs industriels. En effet, dans le cas de la mise au point de nouveau procédé, il est généralement nécessaire de disposer de son propre simulateur. Le concept est le même : sur la base des propriétés thermodynamiques des corps purs impliqués dans l'opération et des modèles thermodynamiques, il y a résolution des équations de bilan de matière et d'énergie et des relations d'équilibre constituant le modèle. La différence vient du fait que généralement seules les propriétés des corps présents dans le procédé chimique considéré ne sont pas détaillées et que l'environnement de développement est moins convivial. On parlera de simulateur dédié (spécifique à un procédé donné). Il a l'avantage de pouvoir avoir une totale maîtrise sur la façon d'écrire les équations du modèle et de les résoudre.

III.4.3.3. Utilisation de la simulation :

Les différentes tâches qu'un simulateur de procédé devrait effectuer sont :

➤ **Dans la conception (engineering) :**

- La résolution des bilans de matières et d'énergie.
- Le dimensionnement des équipements.
- L'évaluation économique du procédé
- L'optimisation du procédé

➤ **Dans le suivi des procédés :**

- Réajustement des paramètres de fonctionnement dans le cas des changements de composition de l'alimentation.
- Détermination de la performance des équipements.

III.4.4. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS:

III.4.4.1 Concepts de base du simulateur HYSYS :

HYSYS est un logiciel de simulation interactif intégrant la gestion d'événements («Event driven») : c'est-à-dire qu'à tout moment, un accès instantané à l'information est possible, de même que toute nouvelle information est traitée sur demande et que les calculs qui en découlent s'effectuent de manière automatique. Non seulement toute nouvelle information est traitée dès son arrivée mais elle est propagée tout au long du Flowsheet.

Dans ce qui suit, on définit les principaux concepts de base et vocabulaires associés, qui sont utilisés pendant les étapes de construction d'un modèle dans le simulateur HYSYS.

- « Flowsheet » : c'est un ensemble d'objets « FlowsheetElements » (courants de matière, d'énergie, d'opérations unitaires, de variables opératoires) qui constituent tout ou une partie du procédé simulé et qui utilisent la même base de données thermodynamique « FluidPackage ».

- **Fluid Package:** il permet de définir les composants chimiques présents dans le procédé simulé et leur affecte les propriétés chimiques et physiques contenues dans la base de données des corps purs. Il permet aussi de définir les modèles thermodynamiques qui seront utilisés pour le calcul des propriétés des mélanges et de définir les cinétiques des réactions chimiques mises en jeu dans le procédé.

- **Process Flow Diagram:** ce diagramme permet de visualiser les courants et les opérations unitaires, représentées par des symboles dans le « Flowsheet », ainsi que la connectivité entre les courants, les opérations unitaires et les tableaux des propriétés des courants.
- **Workbook :** il permet d'avoir accès à l'information sur les courants et les opérations unitaires sous forme de tableau de données.
- **Desktop:** c'est l'espace principal de HYSYS pour visualiser les fenêtres lors de la conception.
- **Propertyview :** il contient l'information décrivant un objet (opération ou courant)
- **Simulation Case** (fichier de simulation) : c'est l'ensemble des Fluid Package, Flowsheets et FlowsheetElements qui constituent le modèle.

III.4.4.2. Environnement de simulation:

Il existe 5 environnements de développement pour manipuler et mettre en forme l'information dans le simulateur (voir la Figure 2) :

- **Environnement « Basis Manager »:** cet environnement permet de créer et modifier le « Fluid Package ».
- **Environnement « OilCharacterization »:** il est utilisé pour caractériser les fluides de type pétrolier
- **Environnement « Main Flowsheet »:** il permet de définir la topologie du Flowsheet principal de la simulation. Il est utilisé pour placer et définir les différents courants, opérations unitaires et « Sub-Flowsheets » qui constituent le procédé simulé.
- **Environnement « Sub-Flowsheet »:** il permet de définir la topologie d'un sous ensemble particulier du schéma principal (un courant ou une opération particulière et des autres Sub-Flowsheets).
- **Environnement « Column »:** c'est un objet particulier permettant de définir la topologie de l'opération unitaire colonne à distiller. Il possède ses propres «Flowsheet», «Fluid Package»,

III.4.4.3. Caractéristiques principales de HYSYS:

Cette partie décrit brièvement les caractéristiques importantes qui font de HYSYS une plate-forme de simulation et de développement très puissante.

- Toutes les applications nécessaires sont utilisées dans un environnement de simulation commun (The Integrated Engineering Environment).
- Il intègre la possibilité d'une modélisation dans un état stable ou stationnaire et en régime

dynamique : la modélisation dans un état stable et l'optimisation étant utilisées lors de la conception des procédés, la simulation en régime dynamique étant réservée aux études de contrôlabilité de procédés et au développement de stratégies de contrôle.

- Programmation de HYSYS : HYSYS contient un (Internal Macro Engine) qui supporte la même syntaxe que Microsoft Visual Basic. On peut automatiser différentes tâches dans HYSYS sans avoir besoin d'un autre programme.
- Gestion des événements (Event Driven): HYSYS combine le calcul interactif (les calculs sont exécutés automatiquement chaque fois que l'on fournit une nouvelle information) avec un accès instantané à l'information (à tout moment on peut avoir accès à l'information depuis n'importe quel environnement de simulation).
- Gestion intelligente de l'information (Built-in Intelligence): Les calculs des propriétés thermodynamiques s'effectuent instantanément et automatiquement dès qu'une nouvelle information est disponible.
- Opérations Modulaires: Chaque courant ou unité d'opération peut réaliser tous les calculs nécessaires, en utilisant l'information soit indiquée dans l'opération ou communiquée depuis un courant. L'information est transmise dans les deux directions à travers les Flowsheets.
- Algorithme de résolution non séquentielle : on peut construire des Flowsheets dans n'importe quel ordre.

III.4.5. Simulation de l'échangeur à tubes et calandre dimensionné précédemment avec le simulateur HYSYS :

1/ Définir la géométrie de l'échangeur :

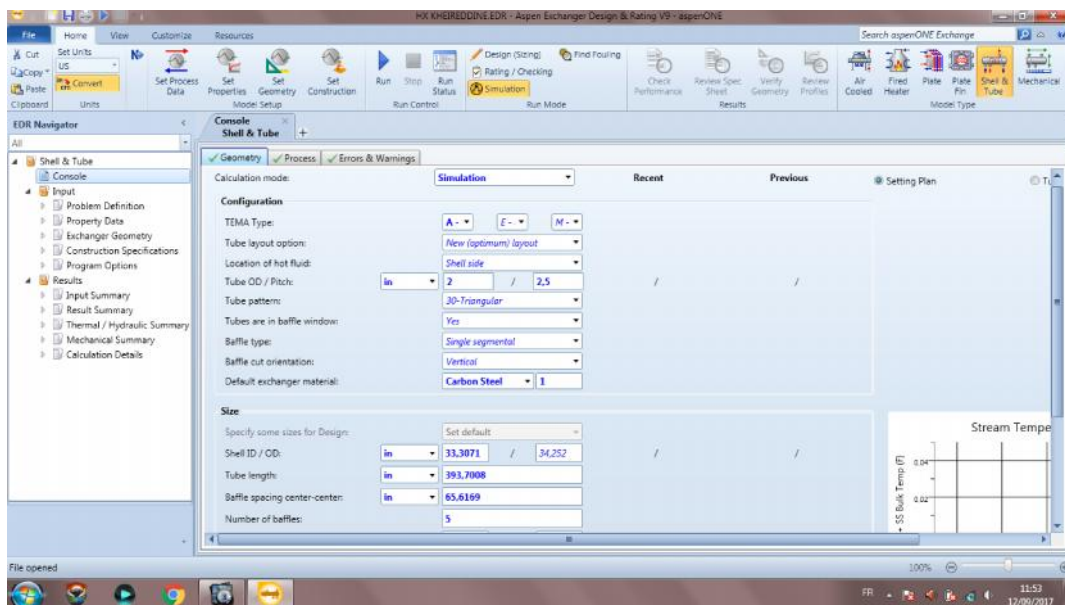


Fig. III.4 : Définition de la géométrie de l'échangeur

2/ Définir les paramètres du processus :

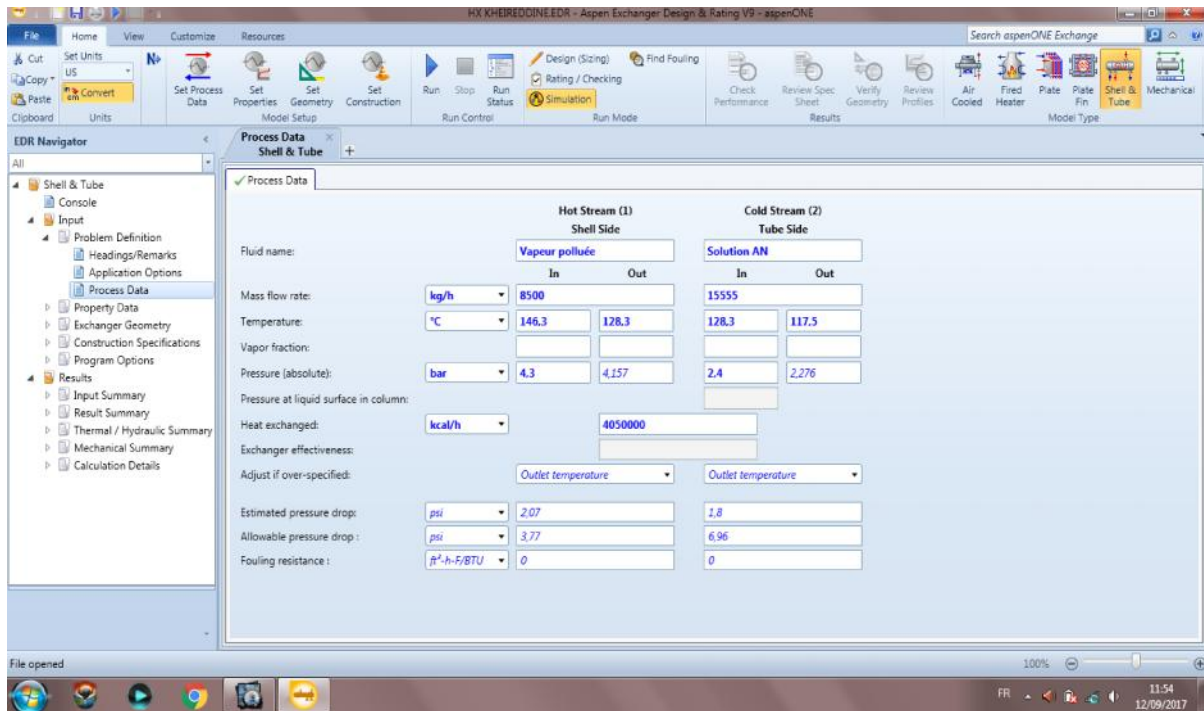


Fig. III.5 : Définition des paramètres du processus

3/ Définir la composition chimique des fluides:

➤ *Fluide état initial :*

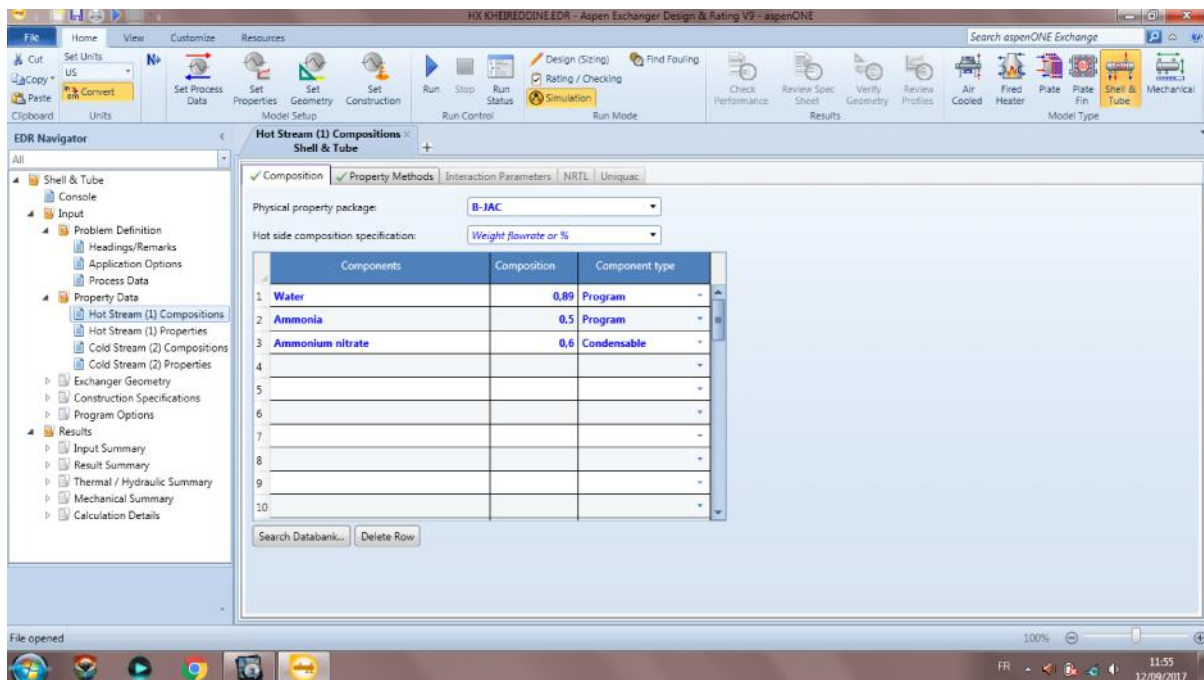


Fig. III.6. :la composition chimique du fluide en etat initial

➤ **Fluide Traité :**

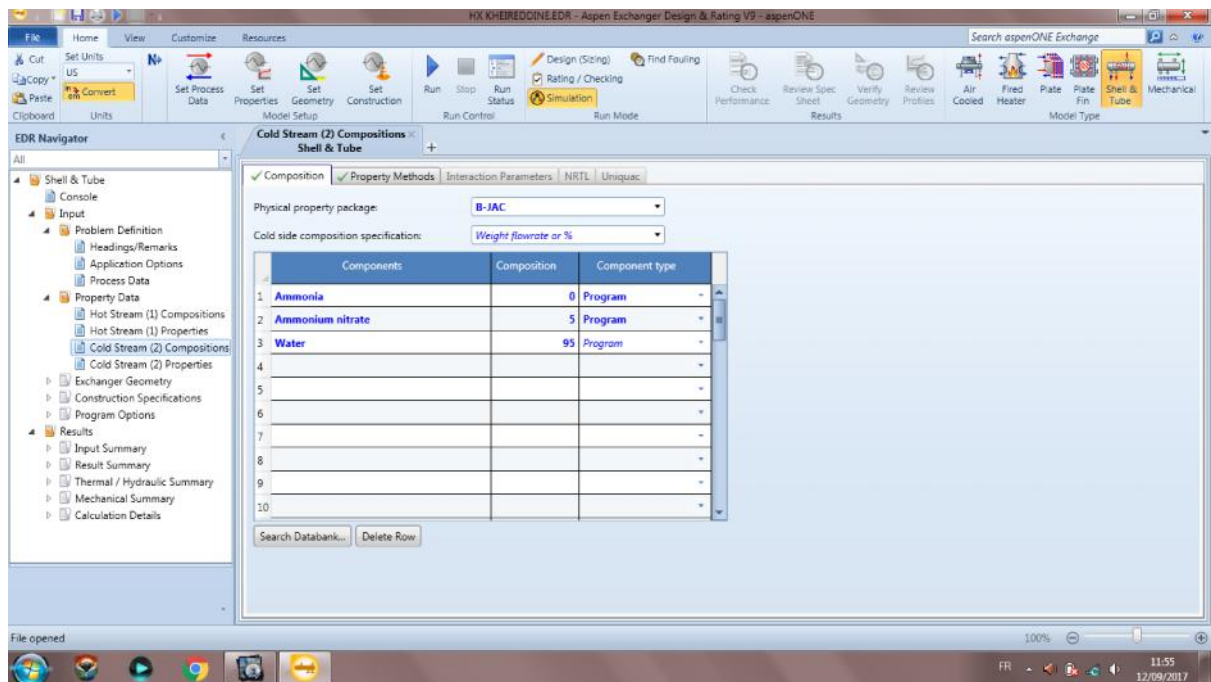


Fig. III.7 : la composition chimique du fluide traité

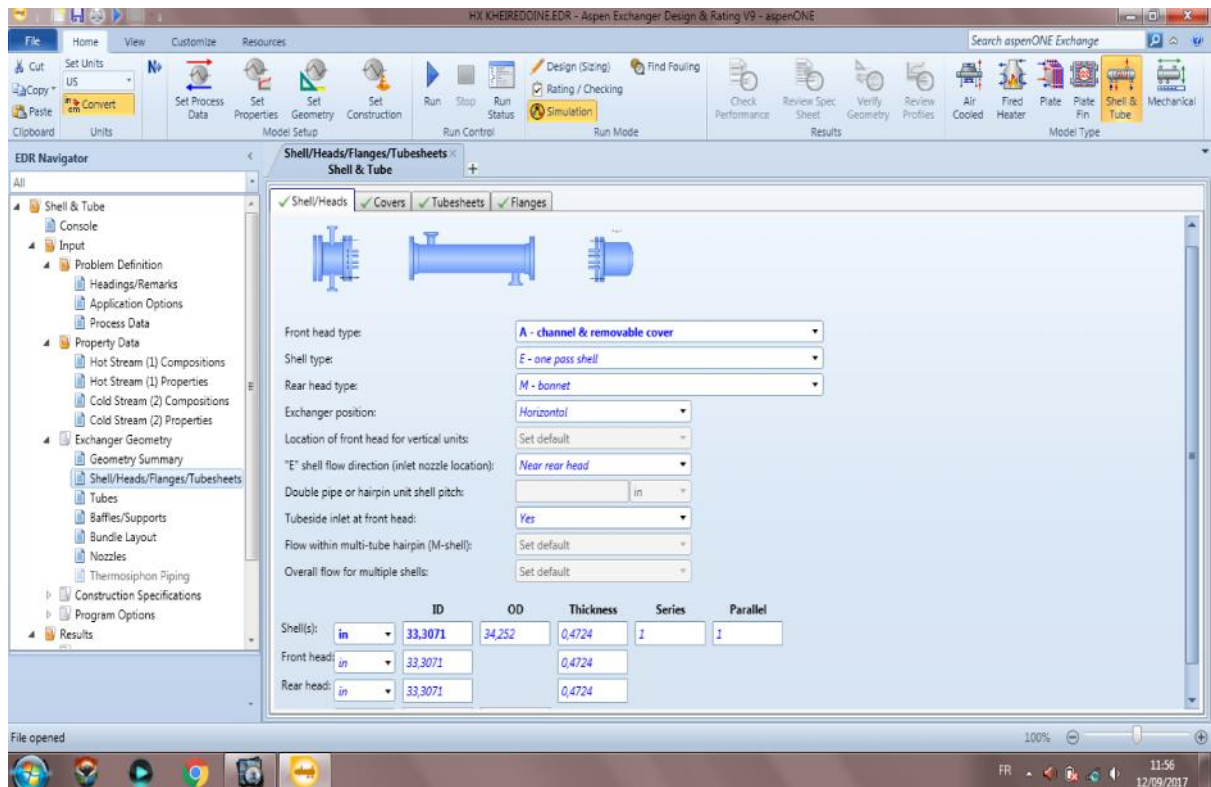



Fig.III.8 : Définition de la construction de l'échangeur

III.4.6. DATA sheet obtenue à l'aide du simulateur HYSYS :

		Team LND Calgary, Alberta CANADA	Case Name: C:\Document and Settings\dz0109\Bureau\LH3501 Unit Set: NewUser1 Date/Time: Sat Sept 09 12:27:54 2017	Page : 2	
Heat exchanger specification sheet					
Equipment: evaporator		Item N° : LH3501		Quantity : 01	
1	Performances		Shell side	Tube side	
2	Fluid	Vapeur	Solution AN	Heat exchanger type	
3	Phase	Gaz/ liquide	Liquide /Gaz	Extremity type	
4	Density	kg/m ³	2,31 / 921	1037 / 1,35	Support material
5	Flow	kg/h	8 500	15555 / 7290	Localisation
6	Pressure (P max)	bar abs	4,30	2,4	
7	Temperature (in/out)	°C	146	128,3	Construction code
8	Delta T shell/Tube max	°C	15		ASME VIII
9	Heat exchanged	kcal/h	4 050 000		Test pressure
10	Transfert rate	kcal/h m ² °C	1 160		Following code
11	Pressure drop allowed	bar	/	/	Category of fluid (PED)
12	Pressure drop calculated	bar	/	/	Shell : 2
13	Clogging rate	h m ³ °C/kcal			Tube : 1
14	Viscosity	mPa.s	1,3E-2 /0,19	1 / 1,3E-2	Heat transfer area
15					m ² Pass 1 : 192
16					Pass 2 : /
17					
18	Dimensions, volumes and weight				
19	Diameter/height	mm	/		Principal mat of construction
20	Volume		Shell side	Tube side	ASTM
21	Chore	m ³	0,1	0,6	AISI 304L
22	Maximum	m ³	3,8	3,6	AISI 304L
23					AISI 304L
24	Poids: Vide/ Fonctionnement	kg	8500 / 9200		Piping material
25	Poids des internes	kg	/		ASTM
26					AISI 304L
27	Piping				Joints material
28	Tag	ND	Class	Type	Front
29	A1	8"	150#	WN	RF
30	A2	2"	150#	WN	RF
31	B1	2"	150#	WN	RF
32	B2	3"	150#	WN	RF
33	B3	10"	150#	WN	RF
34					
35	E1	1"	150#	WN	RF
36	E2	1"	150#	WN	RF
37					
38	M1	3"	150#	WN	RF
39	M2	3"	150#	WN	RF
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53	Hyprotech Ltd		HYSYS v9 (Build 4815)		Page 1 of 2

III.4.7. Comparaison entre les deux DATA sheet du LH3501


 FERTIAL ANNABA - ALGERIA AN Plant		Item N° : LH3501	Job n° : 08084
		Name : Evaporateur 1 ^{er} Effet	Doc n° : 2.FE.LH3501
DATA SHEET ECHANGEUR DE CHALEUR			Page : 1/2
Fournisseur : RIBATTI		Commande n° :	Quantité : 1
1	Données procédé		Données de construction
2	Fluide	Vapeur	Solution AN
3	Phase	Gaz/ Liquid.	Liquid./Gaz
4	Masse volumique	kg/m ³	2,31 / 921
5	Débit	kg/h	8 500
6	Pression fonctionnement (P max)	bar abs	4,30
7	Température (Entrée/Sortie)	°C	146
8	Delta T Calandre/Tube max	°C	30
9	Quantité de chaleur échangée	kcal/h	4 050 000
10	Coefficient de transfert	kcal/h m ² °C	1 160
11	Perte de charge autorisée	bar	N/A
12	Perte de charge calculée	bar	N/A
13	Coefficient d'encrassement	h m ² °C/kcal	N/A
14	Viscosité	mPa.s	1,3E-2 / 0,19
15			
16			
17			
18	Dimensions, volumes et poids		
19	Diamètre/Hauteur (ou Longueur)	mm	Voir schéma
20	Volume :	m ³	Côté Calandre
21	Travail	m ³	Côté tube
22	Maximum	m ³	
23			
24	Poids: Vide/ Fonctionnement	kg	8500 / 9200
25	Poids des internes	kg	Note 1
26			
27	Tubulures		
28	Tag	ND	Classe
29	A1	8"	150#
30	A2	2"	150#
31	B1	2"	150#
32	B2	3"	150#
33	B3	10"	150#
34			
35	E1	1"	150#
36	E2	1"	150#
37			
38	M1	3"	150#
39	M2	3"	150#
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54	Notes : Note 1 : A remplir par le fournisseur		
55	Note 2 : A confirmer suivant la conception mécanique		
56			
57	Rev.	Date	Prép / Vérif/Approuvé
58	0	02/12/2008	PL / EJ / LB
59	1	26/01/2009	PL / LI / LB
60	2		
61	3		

Tableau comparatif

	calcul	Echangeur
DTLM °C	14,094	15
Surface d'échange (m ²)	192,03	191,5
Nombre des tubes	122	121

Tableau III.2**Interprétation des résultats :**

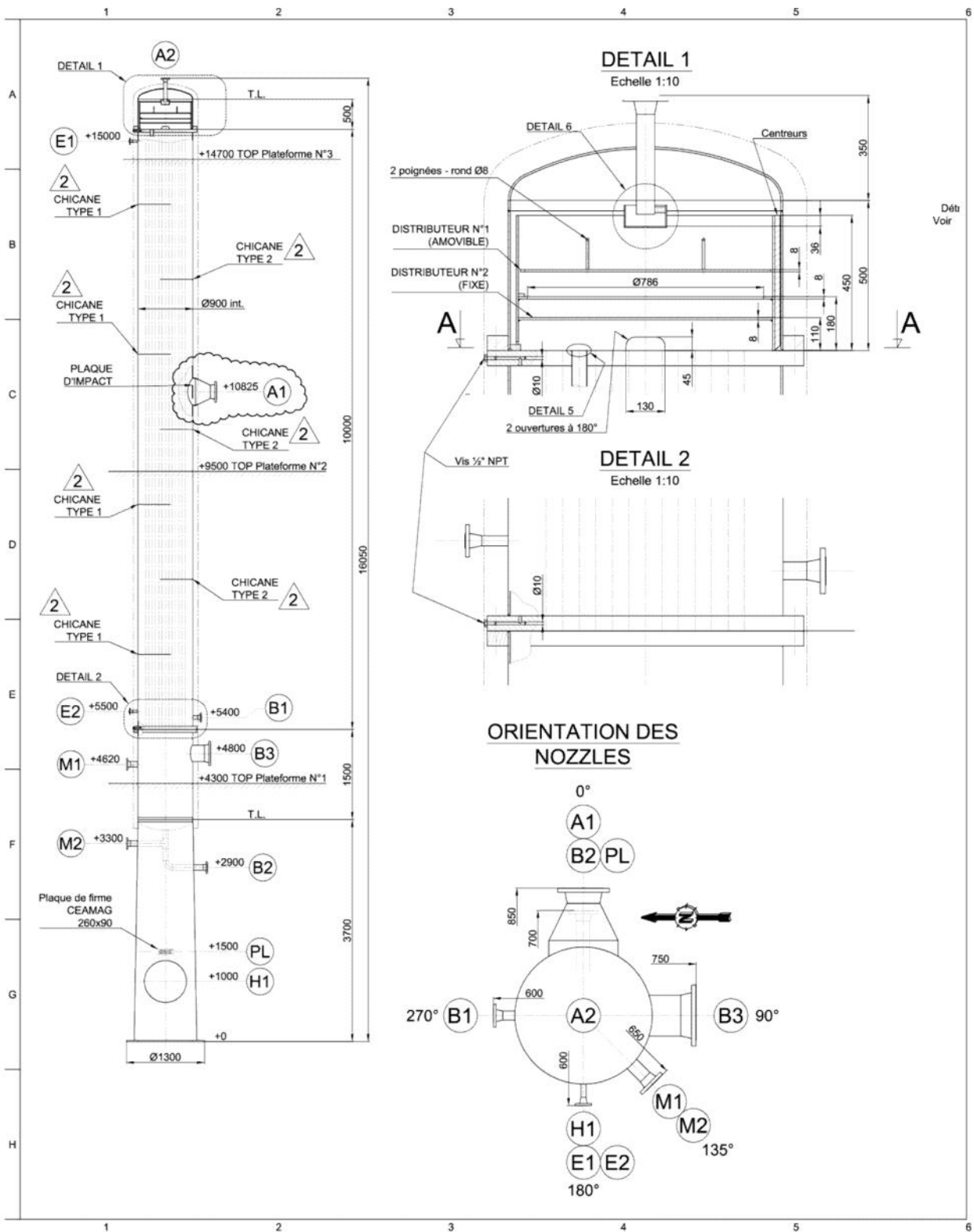
D'après Les résultats obtenus on remarque des valeurs proches entre les deux calculs et avec une erreur acceptable.

Quand t on parle au DTLM c une différence de moins d'1 °C

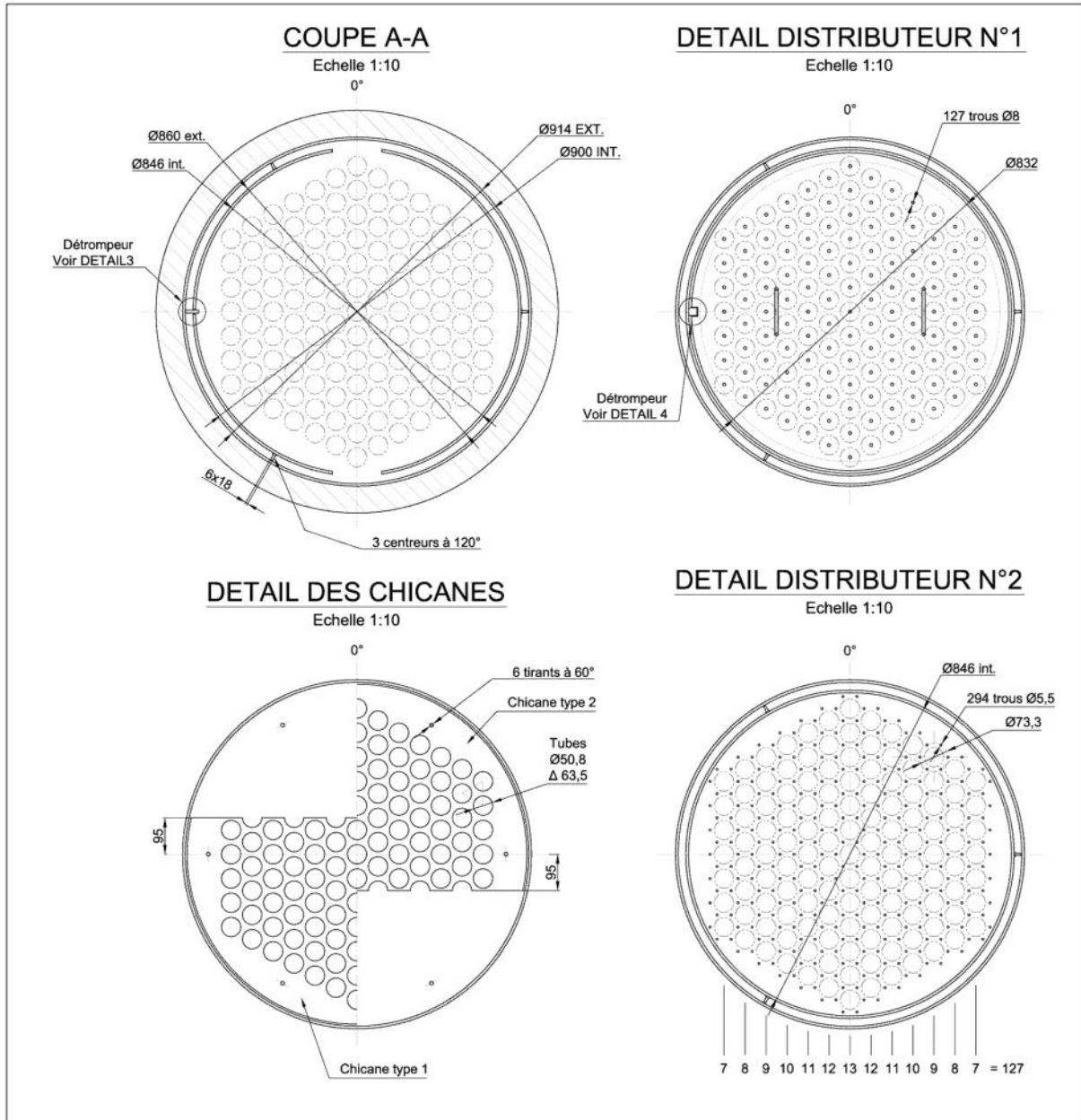
La surface d'échange de l'échangeur à tubes et calandre est très importante

Le nombre des tubes sont acceptables à cause de notre calcul on a obtenu une surface un peu plus grande que de l'échangeur (192,03 et 191)

III.4.8. Plan mécanique :



La disposition optimum obtenue des tubes :



III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons mis en œuvre une simulation numérique avec un calcul de vérification d'un modèle à partir de la bibliothèque propre au logiciel selon la sélection de l'exploitant. Le logiciel retenu pour cette simulation est le HYSYS, il nous a permis de calculer et visualiser les paramètres de marches, d'énergie et des paramètres physiques de l'écoulement des fluides circulant dans l'échangeur.

Ce logiciel renferme un module de géométrie qui permet de faire ressortir les paramètres géométriques, ainsi que la disposition optimum des tubes. Ce qui constitue un atout appréciable pour éventuellement un travail en perspective, donc un approfondissement de ce thème.

Partant d'une difficulté d'exploitation des échangeurs, nous avons été confronté avec les techniciens de l'usine d'envisager la possibilité d'étudier l'échangeur de type tubes et calandre. Pour réaliser cette étude, on doit s'assurer du respect des conditions d'exploitation de l'unité. Pour se faire nous avons utilisé les paramètres de fonctionnement de l'échangeur LH3501 à savoir les températures d'entrées et de sorties des deux fluides ainsi que leurs caractéristiques physiques (C_p , μ ...), et en moyennant la méthode de KERN pour déterminer les valeurs finales permettant de sélectionner l'échangeur à tubes et calandre qui assure le bon fonctionnement de l'unité en conservant le même processus.

Notre travail est une étude approximative, cependant que l'obtention d'un résultat exacte nécessite une étude plus vaste et précise comprenant l'aspect économique, dont plusieurs solutions proposées peuvent être plus optimales.

Conclusion générale

C'est suite au déroulement du stage pratique qui a lieu au complexe FERTIAL, que nous avons pris conscience que les différentes unités sont dépendantes l'une de l'autre ; là où tout dysfonctionnement ou indisponibilité des équipements installés au niveau d'une unité peut provoquer des perturbations qui influent sur la production du complexe.

En outre, vu particulièrement l'importance industrielle et la diversité des types des échangeurs de chaleur qui ont de nombreuses applications, et comme tout équipement industriel, des études préventives de ces équipements se présentent comme évidence pour une industrie.

De ce fait et suite aux problèmes confrontant l'unité de nitrate d'ammonium, nous avons étudié une nouvelle station pour l'objectif de réduire les rejets atmosphériques aussi vers mer jusqu'à les seuils admissibles, cette station s'appelle récupération des condensats pollués basée sur les échangeurs de chaleur.

Dans ce mémoire nous avons mis en œuvre une simulation numérique avec un calcul de vérification d'un modèle à partir de la bibliothèque propre au logiciel selon la sélection de l'exploitant. Le logiciel retenu pour cette simulation est le HYSYS, il nous a permis de calculer et visualiser les paramètres de marches, d'énergie et des paramètres physiques de l'écoulement des fluides circulant dans l'échangeur.

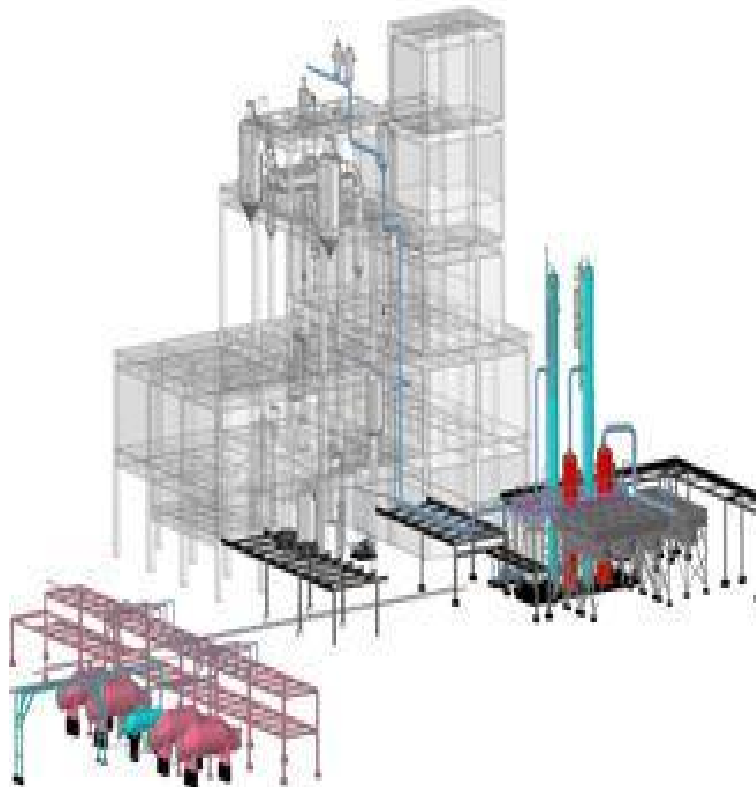
Enfin, L'aboutissement de ce travail consiste à comprendre la technologie des échangeurs de chaleur et les problèmes qui peuvent les subir lors du fonctionnement, notant que l'étude de ces équipements est plus vaste qu'elle apparait, et de nos jours elle se fait en collaboration avec des logiciels de simulation et des essais itératifs afin d'obtenir les meilleurs résultats. En plus, il est indispensable de prendre en compte la notion du développement durable, donc nous nous cherchons toujours la technologie optimum qui doit être économiquement équitable et écologiquement tolérable.

ANNEXES

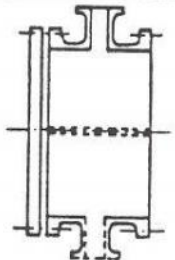
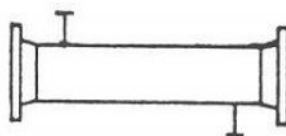
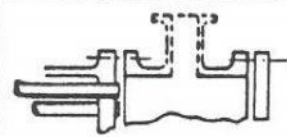
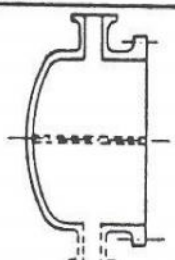
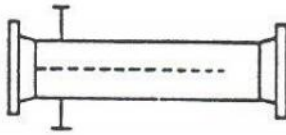
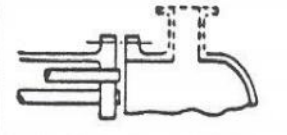
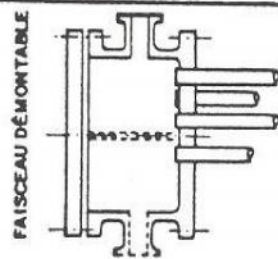
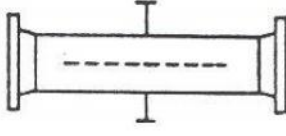
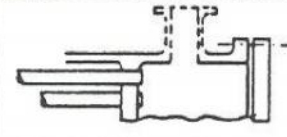
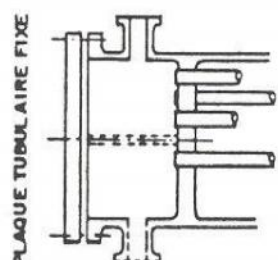
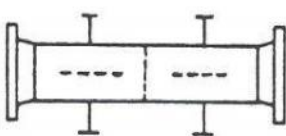
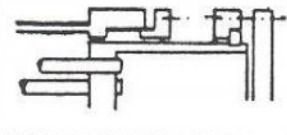
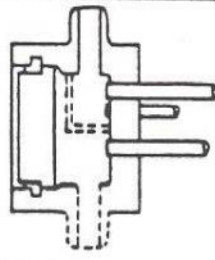
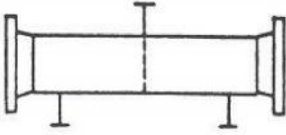
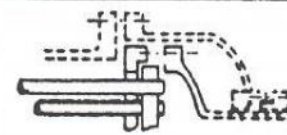
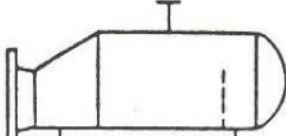
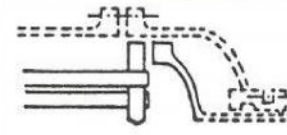
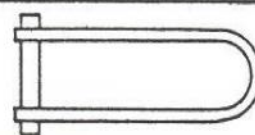
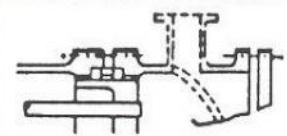
ANNEXE CHAPITRE I



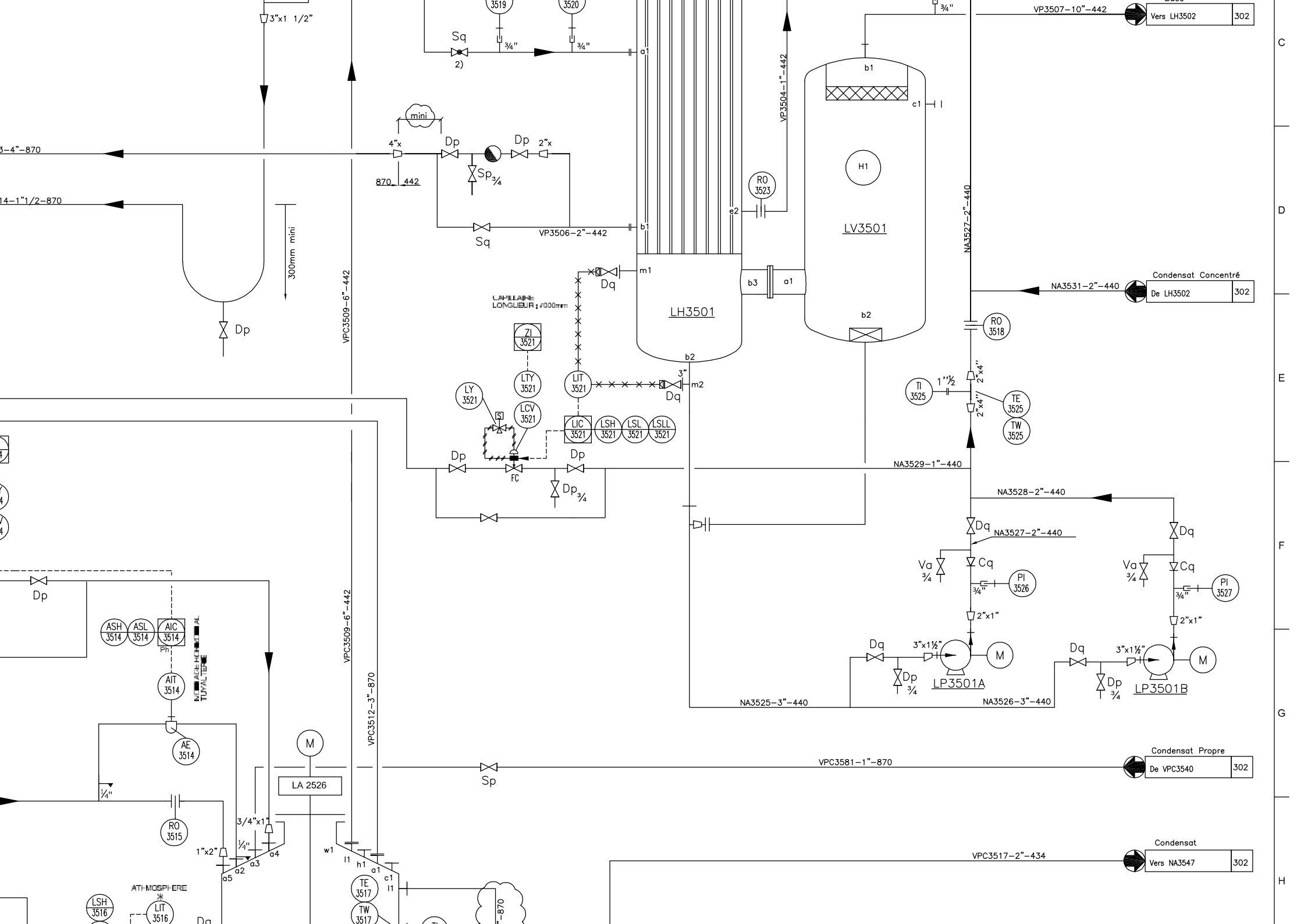
Mise en réalisation de l'unité RDC

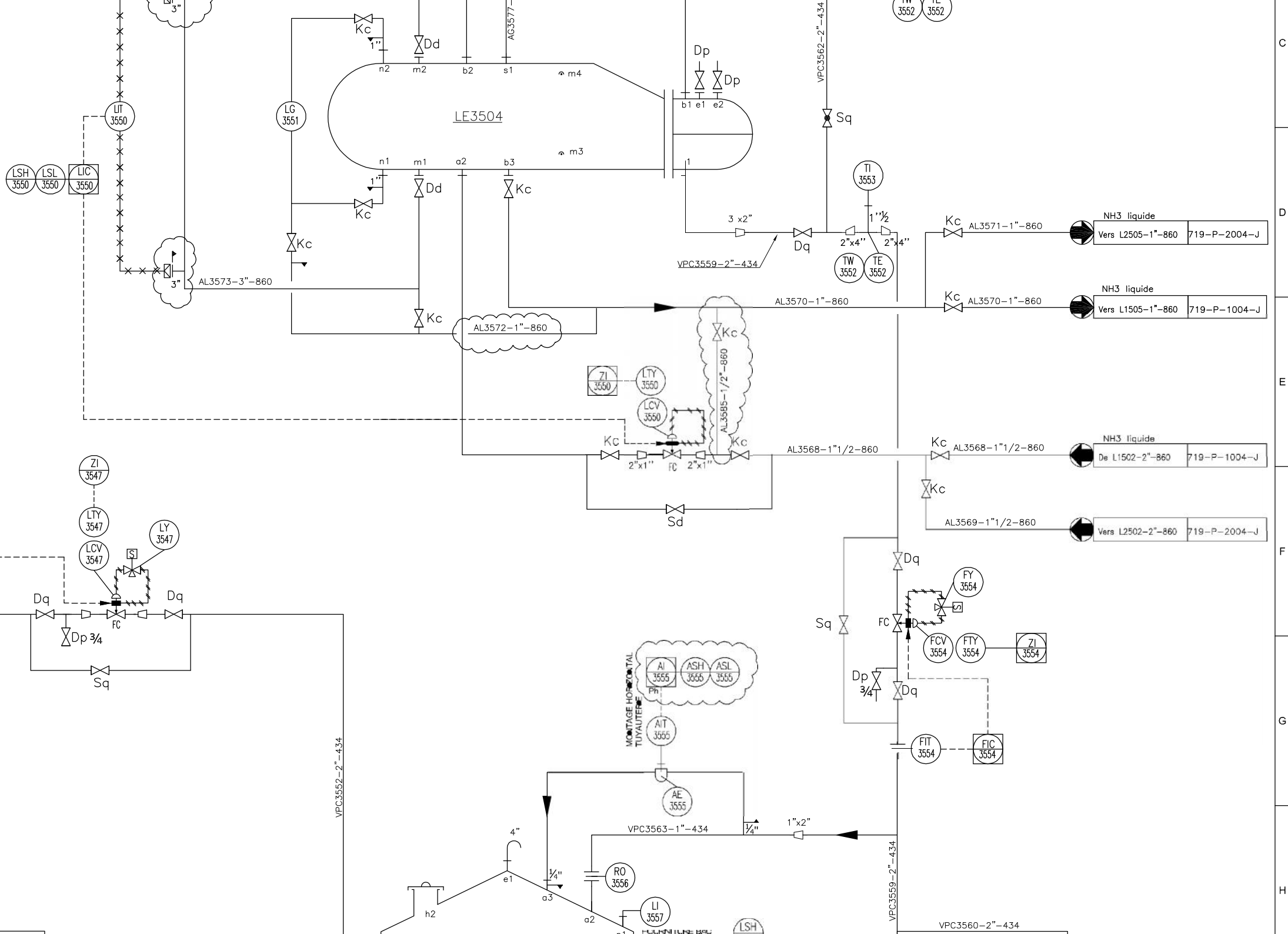


Vue Isométrique d'unité nitrate d'ammonium

	TYPE DE CHAMBRE DE DISTRIBUTION		TYPE DE CALANDRE		TYPE DE TETE FLOTTANTE ET DE FOND DE CALANDRE
A	 CHAMBRE AVEC COUVERCLE DEMONTABLE	E	 UNE PASSE CALANDRE	L	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE IDENTIQUE AU TYPE "A" CHAMBRE
B	 CHAMBRE A FOND ET BRIDE MONOBLOC	F	 DEUX PASSES CALANDRE AVEC CHICANE LONGITUDINALE	M	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE IDENTIQUE AU TYPE "B" CHAMBRE
C	 FAISCEAU DEMONTABLE	G	 FLUX DIVISE	N	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE IDENTIQUE AU TYPE "C" CHAMBRE
	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE	H	 DOUBLE FLUX DIVISE	P	 TETE FLOTTANTE AVEC PRESSE-ETOUPE EXTERIEUR
D	 FERMETURE SPECIALE POUR HP	J	 FLUX DIVISE A 2 SORTIES	S	 TETE FLOTTANTE AVEC COURONNE DE FIXATION EN 2 ELEMENTS
		K	 REBOUILLEUR "TYPE CHAUDIERE"	T	 TETE FLOTTANTE A PASSAGE LIBRE
				U	 FAISCEAU TUBULAIRE AVEC TUBES EN EPINGLES "U"
				W	 TETE FLOTTANTE AVEC JOINT TYPE "LANTERNE"

Annexe 2 : Exemples de combinaison d'échangeurs TEMA





C

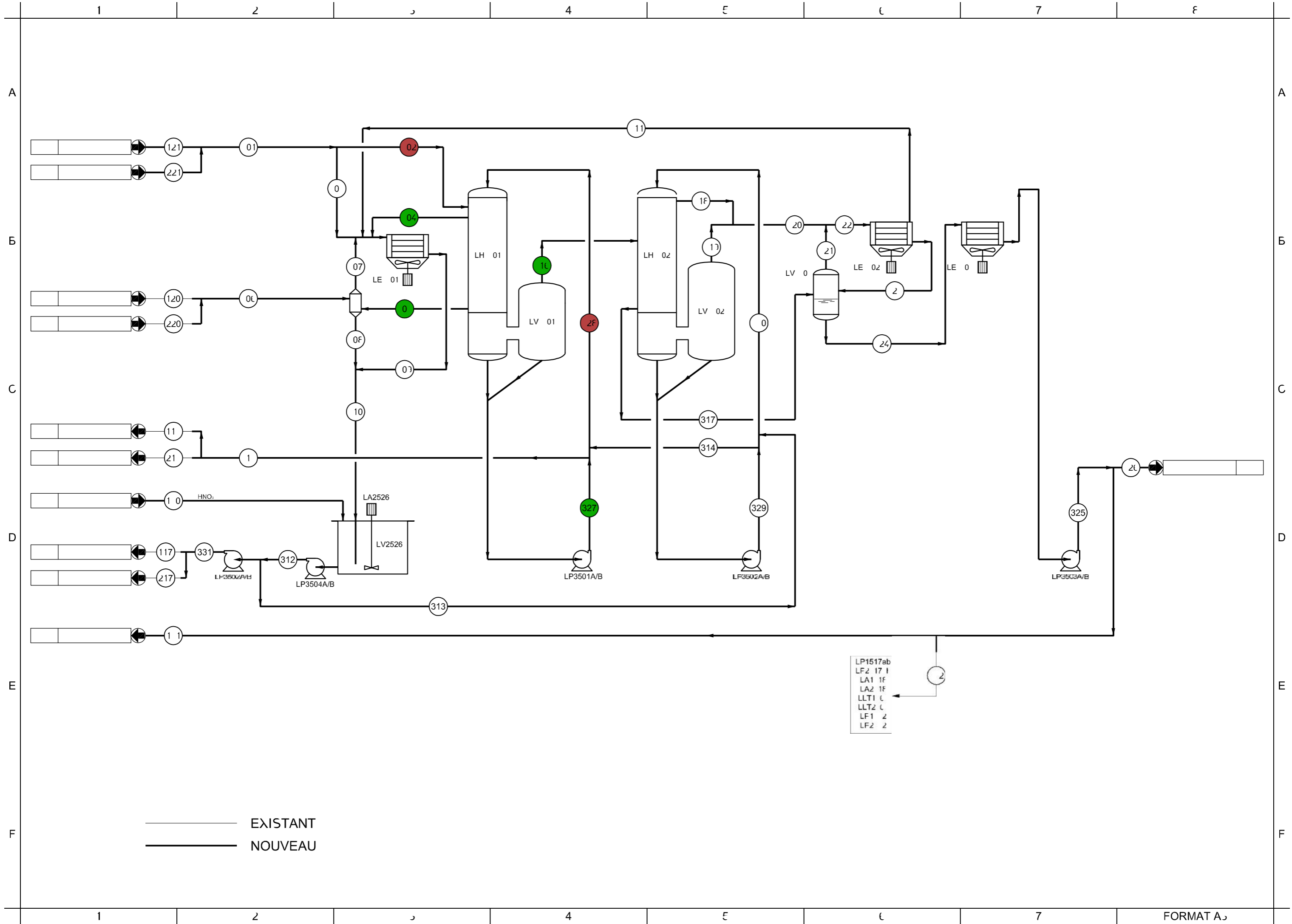
D

E

F

G

H



——— EXISTANT
 ——— NOUVEAU

LP1517ab
 LF2 17 I
 LA1 1F
 LA2 1F
 LLT1 C
 LLT2 C
 LF1 2
 LF2 2

BILAN MASSIQUE

UNITE 15 et 25 en fonctionnement

Note: Débit massique en kg/h, Débit volumiques en en m³/h, Températures en °C, Pression en bar abs, Densité en kg/m³, Concentration en % w/w

	Vapeur vers traiteme.	Vapeur vers 1 ^{er} effet	Vapeur vers conden.	Vapeur purge 1 ^{er} ef.	Condensat de 1 ^{er} effet	Condensat de concentra.	Buée vers conden.	Condensat de flash	Condensat de conden.	Condensat vers bac acid	Buée purge LE3502	Cond. Acide de LV2526	Cond. Acide vers 2em ef.
Courant N°	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313
NH ₄ NO ₃	60,69	53,82	6,87	2,69	51,13	40,78		91,91	9,56	101,47		537,22	517,00
(NH ₄) ₂ SO ₄													
HNO ₃													
H ₂ SO ₄													
NH ₃	55,39	49,11	6,27	2,46	46,66	37,21	83,87	0,00	92,60	92,60			
H ₂ O	9576,90	8492,50	1084,40	424,63	8067,88	6434,09	1274,20	13227,77	2854,41	16082,18	71,18	16341,04	15726,25
Total	9 692,98	8 595,44	1 097,54	429,77	8 165,67	6 512,08	1 358,07	13 319,68	2 956,57	16 276,24	71,18	16 878,26	16 243,26
Densité	2,31	2,31	2,31	0,53	921	921	0,59	959	959	959	0,58	959	959
Débit volumique	4187	3713	474	818	9	7,07	2299	13,88	3,08	16,96	123	17,59	16,9
Concentration													
Pression	4,3	4,3	4,3	1,0			1,0				1,0		
Température	146,3	146,3	146,3	146,3	146,3	146,3	99,7	99,7	99,7	99,7	107,5	99,7	99,7

	Condens. conc. vers 1er effet	AN dilué de 1er effet	Buée vers 2 ^{em} effet	Cond. propre de 2 ^{em} effet	Buée purge 2 ^{em} effet	Buée de 2 ^{em} effet	Buée de 2 ^{em} effet	Buée de LV3503	Buée vers LE3502	Cond. propre de LE33502	Cond. propre de LV3503	Cond. propre de LE3503	Cond. propre vers BL
Courant N°	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326
NH ₄ NO ₃	516,80	516,58	0,22	0,22	0,00	0,20	0,21		0,21	0,21	0,43	0,43	0,19
(NH ₄) ₂ SO ₄													
HNO ₃													
H ₂ SO ₄													
NH ₃													
H ₂ O	8922,31	1549,74	7372,58	7298,85	73,73	6803,94	6877,67	240,71	7118,38	7047,19	14105,33	14105,33	6164,24
Total	9 439,11	2 066,32	7 372,80	7 299,07	73,73	6 804,15	6 877,87	240,71	7 118,58	7 047,40	14 105,76	14 105,76	6 164,43
Densité	977	1038	1,27	941	0,71	0,75	0,75	0,75	0,75	954	954	991	991
Débit volumique	9,7	2,0	5800	7,8	104	9076	9180	321	9500	7,4	14,8	14,2	6,2
Concentration	5,5	25,0											
Pression			2,3		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3				
Température	107,5	128,3	128,3	124,4	128,3	107,5	107,7	107,1	107,7	107,1	107,1	40,0	40,0

BILAN MASSIQUE

UNITE 15 et 25 en fonctionnement

Note: Débit massique en kg/h, Débit volumiques en en m³/h, Températures en °C, Pression en bar abs, Densité en kg/m³, Concentration en % w/w

	AN dilué circu. 1er effet	AN dilué vers 1er effet	Cond. conc. circu. 2 ^{em} effet	Cond. conc. vers 2 ^{em} effet	Cond. Acide vers desurch.	Cond. propre vers existant							
Courant N°	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339
NH ₄ NO ₃	2723,99	2724,21	561,64	561,85	20,21	0,16							
(NH ₄) ₂ SO ₄													
HNO ₃													
H ₂ SO ₄													
NH ₃													
H ₂ O	8171,97	15544,54	9696,47	16500,41	614,79	5160,57							
Total	10 895,95	18 268,75	10 258,11	17 062,26	635,00	5 160,73							
Densité	1038	1005	977	974	959	991							
Débit volumique	10,5	18,2	10,5	17,5	0,66	5,21							
Concentration	25,0	14,9	5,5	3,3									
Pression													
Température	128,3	117,5	107,5	100,0	99,7	40,0							

Références bibliographiques

- [1]-Dr.A.ZIOUCHI- Echangeurs de chaleur- Département maintenance industrielle-2007
- [2]- BERNARD-Echangeurs de chaleur- Chapitre 9 (La deuxième partie)-2014
- [3]- Pr MZAD -Cours de rayonnement et Transfer de chaleur (master 2 énergétique et environnement
- [4]- Site WEB : <http://Process.free.fr/Pages/versionnmobile 0.php/page=4527>
- [5]- PIERRE WUITHIER- V-Etude et calcul du matériel-Appareils tubulaires d'échange de chaleur.1047-1100
- [6]- [http://www.azprocede.fr/Cours_GC/Cours d'échangeur thermique: chicanes côté calandre](http://www.azprocede.fr/Cours_GC/Cours d'echangeur thermique: chicanes côté calandre)
- [7]- ALPEMA-The standards of the brazed aluminum plate-fin heat exchanger manufacturer's association- Third Edition 2010
- [8]- manuel opératoire volume i, section 2-1: Nitrate d'ammonium FERTIAL