



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد ابن باديس - مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculty Of Science and Technology

قسم هندسة الطرائق

Department of Process engineering



N° d'ordre :M2...../GPE/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Thème

SIMULATION D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR A TUBES ET CALANDRE PAR ASPEN HYSYS

Présenté par

1-M^r BOULAARES Abderrahmane

2- M^r BEKHEDA Adel

Soutenu le 12/09/ 2021 devant le jury composé de :

Président:	M ^r MEROUANI Djilali	Grade Pr	Université de Mostaganem
Examinatrice :	M ^{me} MELLOUK Sania	Grade MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	M ^{me} MEZOUAGH Amina	Grade MCB	Université de Mostaganem
Encadrante :	M ^{me} BOUBEGRA Naima	Grade MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2020-2021

Dédicaces

On dédie ce travail surtout à nos parents grâce à eux que nous avons trouvé le chemin de la réussite et que nous avons pu suivre convenablement de longues études. Ainsi de nous avoir supportés, dans les deux sens du terme. Sans leur travail et leur courage, rien n'aurait été possible. On ne leur sera jamais trop reconnaissant, ainsi qu'à tous les membres de notre famille, à nos amis (es) et tous ceux qui nous aiment.

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier DIEU notre créateur, pour nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de manière directe ou indirecte à l'aboutissement de ce travail.

*On tien a exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance envers notre encadrante **D^r. BOUBEGRA Naima**, pour sa patiente, encouragement et surtout les efforts qu'elle a fait pour réussir notre travail.*

*Nous tenons aussi à remercier **M^{me}BENMEKKIFadéla** pour sa disponibilité malgré ses multiples responsabilités.*

*Nous adressons nos **respectueux** remerciements à tous les membres du jury qui nous en fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail.*

*Nous remercions profondément **Pr MEROUANI Djilali** à l'université de Mostaganem, pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Nous exprimons nos profonds remerciements à **M^{me} MELLOUK Senia** Maître de conférences à l'université de Mostaganem, ainsi que **M^{me} MEZOUAGH Amina** Maitre de conférences a l'université de Mostaganem pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant d'examiner ce travail et de participer à ce jury.*

ملخص

في هذا العمل ، نقدم مبادئ المبادل حراري من نوع الأنبوب والصدفة ولتقييم أدائه ؛ قمنا باستخدام برنامج "HYSYS" كأداة عمل لأنه دقيق وفعال للغاية. لقد ساعدنا استخدام هذا البرنامج في فهم العملية بشكل أفضل ، واكتساب نظرة شاملة للخصائص وتركيبات المدخلات والمخرجات لكل وحدة تشغيل. دون أن ننسى إتقانها واكتساب معرفة جيدة بعملها.

الكلمات المفتاحية مبادل حرارة أنبوب صدفة محاكاة.

Résumé :

Dans ce travail, on présente la simulation d'un échangeur de chaleur type tube et calandre et pour évaluer ces performances ; nous préconisons d'utiliser le simulateur « HYSYS » comme outil de travail car il est précis et très efficace. L'utilisation de ce logiciel nous a aidé à mieux comprendre le procédé, et avoir un aperçu sur les propriétés et les compositions d'entrée-sortie de chaque unité opératoire. Sans oublier bien de le maîtriser et avoir une bonne connaissance sur son fonctionnement.

Mots clés : échangeur, chaleur, tube, calandre, simulation.

Abstract :

In this work, we present the simulation of a tube and shell type heat exchanger and to evaluate these performances; we recommend using the "HYSYS" simulator as a work tool because it is precise and very efficient. Using this software has helped us better understand the process, and gain insight into the properties and input-output compositions of each operating unit. Without forgetting to master it and have a good knowledge of its operation.

Keywords: exchanger, heat, tube, shell, simulation.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Modes de transmissions de la chaleur	
1. Définition de la chaleur	2
2. Définition du transfert de chaleur.....	3
3. Modes de transmissions de la chaleur.....	2
3.1 La conduction.....	2
3.2 La convection.....	3
3.3 Le rayonnement.....	4
4. Flux et densité de flux thermique.....	5
5. Flux de chaleur lié à un débit massique	5
6. Flux de chaleur stocké.....	6
7. Flux d'énergie thermique.....	6
Chapitre 2: Généralités sur les échangeurs de chaleur	
1. Définition.....	7
2. Principe de fonctionnement.....	7
3. Critères de classement des échangeurs	7
4. Types des échangeurs de chaleur	11
Chapitre 3: Conception des échangeurs de chaleur à tubes et calandre	
1. Eléments de l'échangeur à tubes et calandre	19
2. Types des échangeurs à tubes et calandre	22
2.1 Echangeur de chaleur à tête flottante.....	23
2.2 Echangeurs à plaque tubulaire fixes.....	23
2.3 Echangeurs avec tubes en U.....	24
Chapitre 4: Simulation par Aspen HYSYS	
1. Introduction.....	25
2. Objectif et rôle de la simulation.....	25
3. Utilisation de la simulation.....	26
4. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS	26
5. Simulation de l'échangeur à tube et calandre avec le simulateur HYSYS V10	29
6. Conclusion.....	37
Conclusion générale	38
Références Bibliographiques	39

Chapitre I

Chapitre 1 : modes de transmission de la chaleur

1. Définition de la chaleur :

La chaleur est une forme d'énergie qui s'écoule sous l'effet d'une différence de températures.

2. Définition du transfert de chaleur:

Un **transfert de chaleur** ou **transfert thermique** ou **transfert par chaleur** est un transit d'énergie sous forme microscopie désordonnée. Deux corps ayant la même température sont dits en " équilibre thermique ". Si leur température est différente, le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid : il y a transfert thermique, ou transfert par chaleur.

3. Modes de transmissions de la chaleur :

On distingue conventionnellement trois modes de transmission de la chaleur:
la conduction ; la convection et le rayonnement.

3.1 La conduction : [1]

Ce mode de transfert de chaleur s'applique aux solides, les liquides ou les gaz. La chaleur se propage par conduction dans tous ces milieux ; d'un point de température élevée vers un point de température plus faible.

Remarque: Il ne peut pas y avoir de conduction dans le vide.

Exemple:

Propagation de la chaleur le long d'une barre de Fer dont une extrémité est soumise à l'action d'une flamme. Le barreau métallique a "conduit" de la chaleur : cette propriété s'appelle la conduction thermique.

Dans ce mode de transfert, la matière se comporte véritablement comme un conducteur de la chaleur.

3.1.1 La Loi de FOURIER

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

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

Nous pouvons donc écrire La Loi de Fourier pour la conduction de chaleur sous forme algébrique :

$$\phi = - \lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)$$

Chapitre 1 : modes de transmission de la chaleur

Ou ϕ : flux de chaleur transmis par conduction (w)

λ : conductivité thermique du milieu (w/m °C)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²)

T : Température (°C)

x : position ou variable d'espace dans la direction du flux (m)

3.2 La convection : [1]

Le transfert de chaleur par convection met en jeu le mouvement des fluides (gaz ou liquides). Ce mouvement permet l'échange de chaleur entre le fluide et une paroi et facilite, la diffusion de la chaleur au sein de l'ensemble du fluide grâce à l'agitation produite. La convection a lieu par exemple lorsque l'on chauffe une casserole d'eau. Dans le transfert de chaleur par convection le fluide se comporte comme un véhicule de la chaleur. La convection est dite naturelle ou libre lorsque le mouvement du fluide est créé par les différences de masse volumique existant au sein de fluide du fait des différences de températures. Lorsque le mouvement est communiqué par une machine (agitateur, pompe, compresseur ou ventilateur) la convection est dite forcée.

Exemple n°1: Convection; cas des liquides

Une expérience peut être réalisée à l'aide d'un glaçon obtenu par congélation d'eau colorée. Lorsque ce glaçon est immergé dans de l'eau tiède, il apparaît un courant de convection descendant, d'eau froide.

Exemple n° 2: convection ; cas de l'air

Une spirale est découpée dans de la cartoline, et suspendue à la base d'un bouchon à l'aide d'une épingle. Elle doit pouvoir tourner librement en rotation autour de cet axe. En maintenant l'ensemble au dessus d'une source de chaleur, telle qu'une petite bougie, la spirale se met à tourner sous l'effet du courant d'air chaud ascendant.

3.2.1 La Loi de NEWTON : [1]

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton, cette dernière donne la puissance échangée entre une surface de valeur S et de température T_s et un fluide de température T_f . Elle s'écrit (en admettant que $T_s > T_f$) :

Chapitre 1 : modes de transmission de la chaleur

$$\phi = h S (T_s - T_f)$$

Ou ϕ : flux de chaleur transmis par convection (W)

h : coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{w/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

T : Température ($^\circ\text{C}$)

Remarque :

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

3.3 Le rayonnement: [1]

Le transfert de chaleur par rayonnement correspond au transfert d'énergie thermique sous forme d'ondes électromagnétiques entre deux surfaces (même dans le vide) qui ne nécessite pas un contact.

3.3.1 La Loi de STEFAN- BOLTZMAN:

La quantité maximale de chaleur radiante est donnée par la loi de Stefan- Boltzman :

$$\phi = \sigma \epsilon_p S (T_p^4 - T_\omega^4)$$

Ou ϕ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ : Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

ϵ_p : Facteur d'émission de la surface

S : Aire de la surface (m^2)

T_p : Température de la surface (K)

T_ω : Température du milieu environnant la surface (K)

Conduction	Convection	rayonnement
-------------------	-------------------	--------------------

Chapitre 1 : modes de transmission de la chaleur

Ce terme est utilisé pour exprimer le transfert de chaleur d'un corps à un autre par contact direct : l'agitation moléculaire du plus chaud se transmet au plus froid ; cet échange est plus grand Si le corps froid est un bon conducteur thermique (métal)	C'est la transmission de la chaleur dans les liquides et les gaz. En chauffant les liquides et les gaz se dilatent et leur masse volumique diminue. il s'ensuit qu'ils vont monter car ils sont devenus plus léger que le reste du milieu ambiant. il ya donc un brassage de l'air ou du liquide. On dit souvent la chaleur monte	Comme son nom l'indique, ce type de chauffage fonctionne par rayonnement. Le rayonnement choisit pour faire du chauffage est l'infrarouge ; les corps directement exposés au rayonnement IR voient leur température augmenter
--	---	--

4. Flux et densité de flux thermique : [2]

Quelque soit le mode de transmission, l'étude des transferts est basée sur la notion de débit de chaleur. le débit de chaleur est la quantité de chaleur transmise par unité de temps. On appelle flux de chaleur (Φ) la quantité de chaleur (dQ) transmise par unité de temps (dt) :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \text{ (J/ s ou Watt)}$$

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur (dQ) transmise par unité de temps (dt) et par unité d'aire (S) de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur (ϕ) :

$$\phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \text{ (Watt / m}^2\text{)}$$

5. Flux de chaleur lié à un débit massique : [2]

Lorsqu'un débit massique m de matière entre dans le système à la température T_1 et en ressort à la température T_2 , on doit considérer dans le bilan un flux de chaleur entrant correspondant :

$$\phi_e = M C_p (T_1 - T_2)$$

Ou ϕ_e : Flux de chaleur entrant dans le système (W)

M : Débit massique (kg.s^{-1})

Chapitre 1 : modes de transmission de la chaleur

C_p : Chaleur spécifique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)

T_1, T_2 : Températures d'entrée et de sortie (K)

6. Flux de chaleur stocké: [3]

Le stockage d'énergie dans un corps correspond à une augmentation de son énergie interne au cours du temps d'où (à pression constante et en l'absence de changement d'état) :

$$\phi_{st} = \rho VC \frac{dT}{dt}$$

Ou ϕ_{st} : Flux de chaleur stocké (W)

ρ : Masse volumique ($kg\ m^{-3}$)

V : Volume (m^3)

C : Chaleur spécifique ($J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$)

T : Température ($^\circ C$)

t : Temps (s)

Le produit PVC est appelé la capacitance thermique du corps.

7. Flux d'énergie thermique :

Une génération d'énergie intervient lorsqu'une autre forme d'énergie (chimique, électrique, mécanique, nucléaire) est convertie en énergie thermique. On peut l'écrire sous la forme :

$$\phi_g = \varphi V$$

Ou ϕ_g : Flux d'énergie thermique générée (W)

φ : Densité volumique d'énergie générée ($W\ m^{-3}$)

V : Volume (m^3)

Chapitre II

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

Introduction :

Les échangeurs de chaleurs sont des dispositifs très utilisés dans l'industrie pour cela l'objectif de ce chapitre est de donné quelques généralités sur ces équipements.

1. Définition :

Un échangeur de chaleur est un système qui permet d'échanger la chaleur entre deux fluides ou plus. Dans un échangeur thermique, le fluide chaud et le fluide froid sont séparés par une paroi bien adaptée et par principe la transmission de la chaleur se fait du fluide chaud vers le fluide froid.

2.Principe de fonctionnement:

Dans un échangeur, la chaleur est transmise d'un fluide à un autre. Le même fluide peut être conservé son état physique ou se présenter successivement sous les deux phases.

3. Critères de classement des échangeurs : [4]

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

3.1 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.

3.2 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 .les températures des fluides sont donc variables, tout le long de l'échangeur.

- Échangeur avec changement de phase:

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

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.

3.3 Classement suivant la disposition des écoulements : [4]

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 vitesses sont perpendiculaire l'un à l'autre ; il s'agit cette fois de «courant croisés »

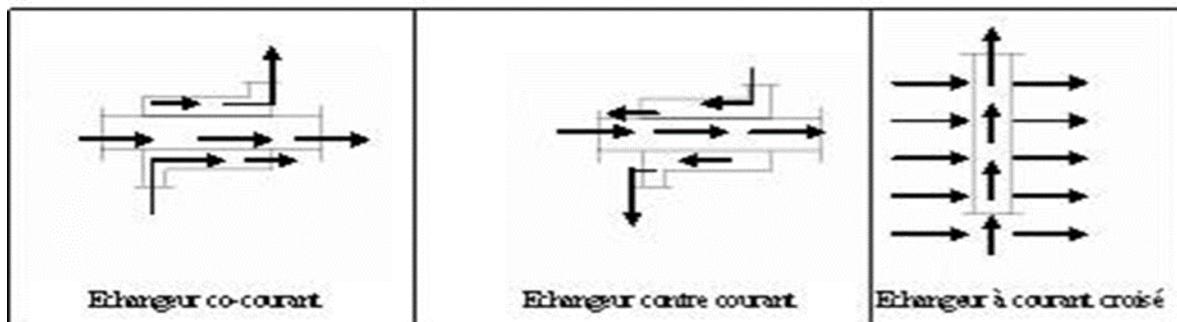


Figure 1 : différent modes de circulation [1]

3.4 Classement fonctionnel :

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase ; suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants :

- les deux fluides ont un écoulement monophasique ;

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

- un seul fluide a un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou des condenseurs ;

3.5 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 m²/m³ ; cette valeur est susceptible de varier de 500 à 800 m²/m³.

3.6 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.

3.7 Classement technologique :

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants :

- ✓ à tubes : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires ;
- ✓ à plaques : à surface primaire ou à surface secondaire ;
- ✓ autres types : contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé.

3.7.1 Échangeurs tubulaires :

- Différentes catégories existantes :

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 :

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

- **échangeur monotube** (figure 2a), dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpentín ;
- **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. L'échangeur peut être soit rectiligne, soit enroulé,
 - 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 .

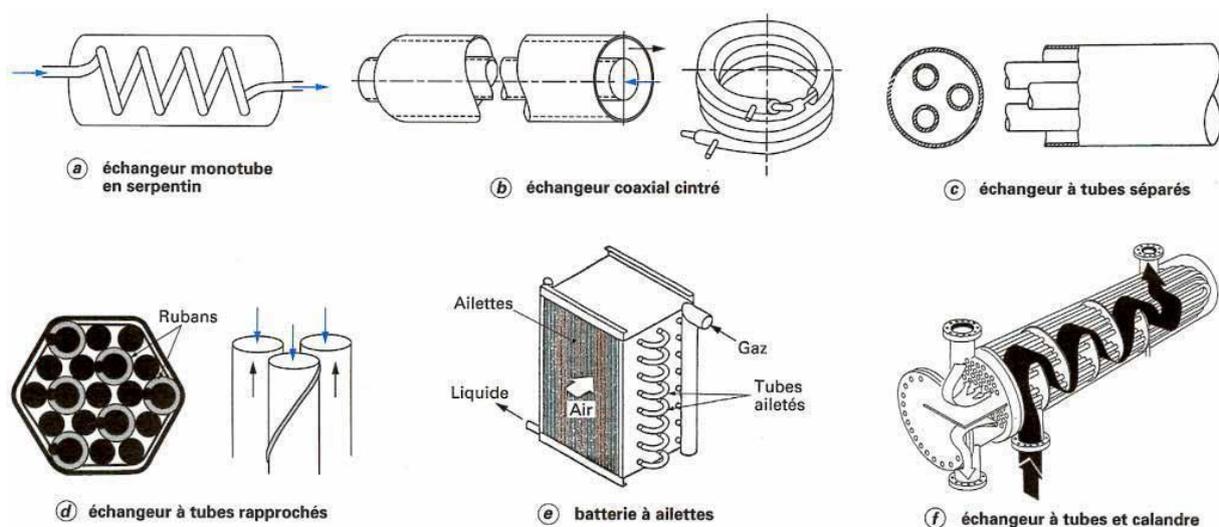


Figure 2 : Différents types d'échangeurs tubulaires [4]

3.7.2 Échangeurs à plaques :[5]

Ces échangeurs ont été étudiés à l'origine pour répondre aux besoins de l'industrie laitière. On distingue suivant la géométrie de canal utilisée les échangeurs à surface primaire et les échangeurs à surface secondaire.

- Échangeurs à surface primaire

Les échangeurs à surface primaire sont constitués de plaques corruguées, nervurées ou pincotées. Le dessin du profil de plaques peut être assez varié mais il a toujours un double rôle d'intensification du transfert de chaleur et de tenue à la pression.

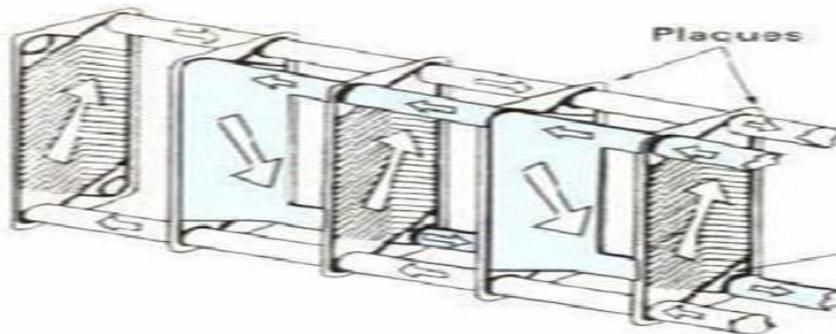


Figure 3 : Échangeur à plaques [5]

- Échangeurs à surface secondaire

Ces échangeurs sont réalisés en aluminium ou en acier inoxydable ; ils sont constitués par un empilage de tôles ondulées formant des ailettes séparées par des tôles planes.

4. Autres types d'échangeurs : [5]

- Échangeurs régénératifs rotatifs et statiques

Ce sont les échangeurs où le fluide chaud cède une partie de son énergie à une matrice ; le passage intermittent, fluide chaud puis fluide froid, sur la matrice permet l'échange de chaleur entre les deux fluides. On classe, dans cette catégorie de régénératifs, les échangeurs à matrice tournante et les échangeurs statiques ou à valves. Ce sont des échangeurs compacts avec une grande surface d'échange du fait de la porosité de la matrice ; ils sont moins coûteux

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

.Par contre, le mouvement mécanique de la matrice ou le jeu de valves peuvent entraîner des pannes et un mélange partiel des fluides chaud et froid.

- Échangeurs régénérateurs rotatifs à matrice tournante

Ils présentent deux types d'écoulement :

- a. un écoulement axial où la matrice est constituée d'un disque dont l'axe de rotation est parallèle à l'écoulement.
- b. un écoulement radial où la matrice est constitué d'un tambour tournant suivant un axe perpendiculaire à l'écoulement.

Parmi les applications de ce type d'échangeur, on peut citer :

- i. la récupération de chaleur sur l'air extrait d'une habitation pour préchauffer l'air neuf.
- la récupération de l'énergie des gaz d'échappement d'une turbine à gaz pour préchauffer l'air d'admission de la chambre de combustion (figure 5)
 - Échangeurs régénérateurs statiques (ou à valves)

Dans lesquels les matrices sont alternativement parcourues par les courants chauds et froid .

Ces régénérateurs sont très répandus en sidérurgie ou dans l'industrie du verre. La récupération de chaleur sur les fumées sortant du four de fusion du verre s'effectue avec des régénérateurs statiques à matrice ordonnée, en pièces céramiques. Chaque échangeur est traversé successivement par les fumées chaudes et l'air comburant à préchauffer. Le chauffage continu du bain de verre est assuré par un groupement des régénérateurs par paire. La permutation des deux gaz est périodique (inversion toutes les trentes minutes environ). Sur site industriel, la durée totale d'une campagne de production est comprise entre 4 et 12 années sans arrêt.

Les matériaux utilisés sont donc résistants à la corrosion à haute température. Les régénérateurs sont conçus pour éviter un bouchage trop rapide des passages de fluide. Le montage des pièces réfractaires de la matrice de stockage est parfaitement ordonné.

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

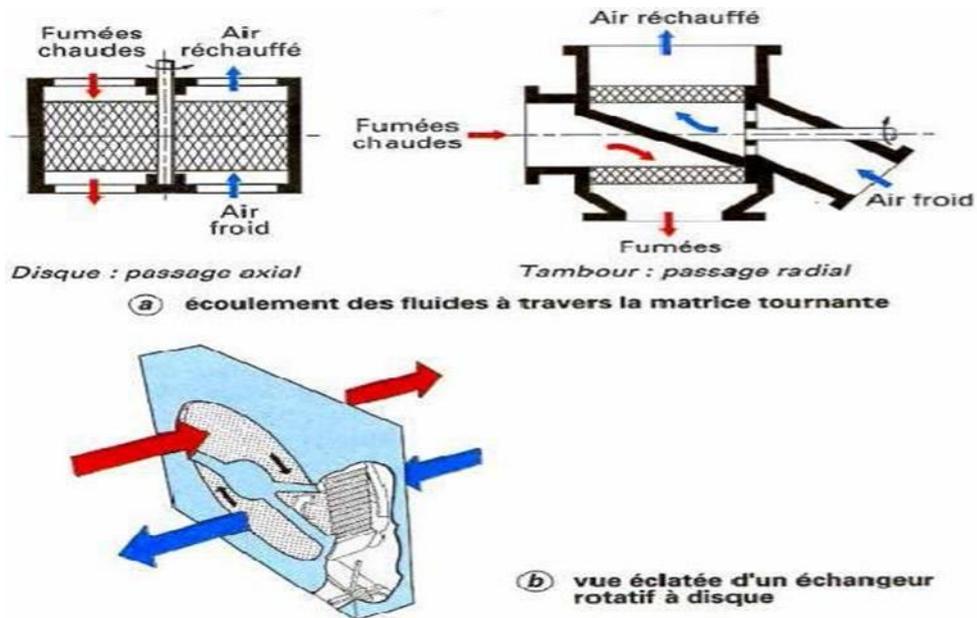


Figure 4 : Échangeur rotatif à matrice tournante 1[5]

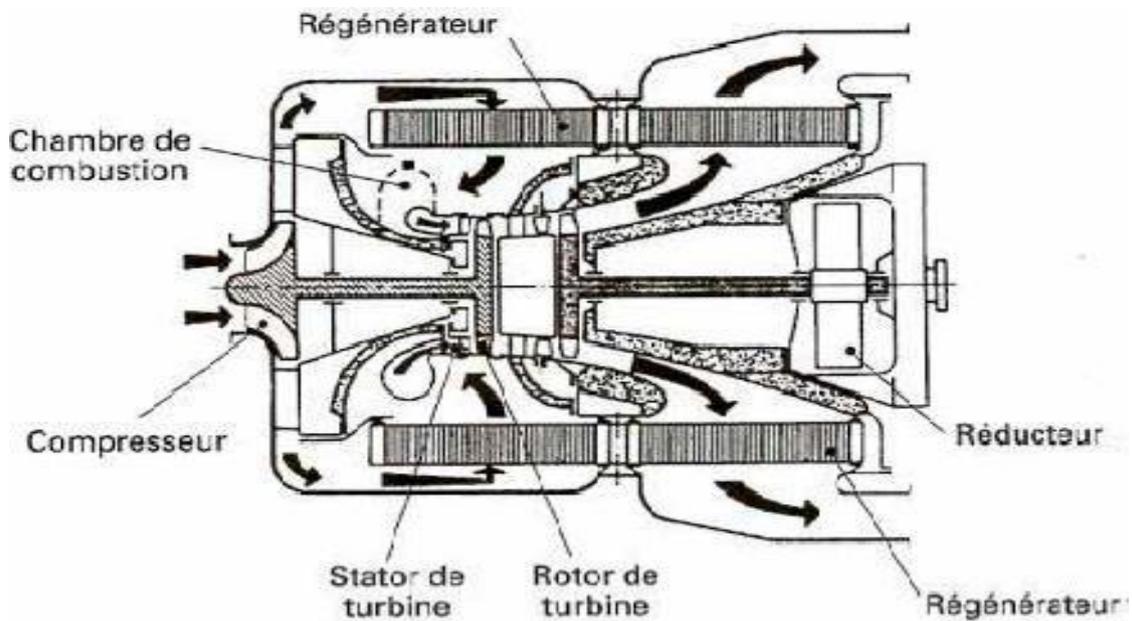


Figure 5 : Récupération d'énergie sur les gaz d'échappement d'une turbine à gaz à l'aide d'un échangeur rotatif [5]

➤ Échangeurs à caloducs longitudinale[6]

Le caloduc est un super conducteur de chaleur fonctionnant en cycle fermé selon le principe évaporation – condensation, avec retour de liquide soit par gravité, soit par

Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

capillarité. Son intérêt provient de la valeur très élevée de la chaleur latente de changement de phase comparée à la chaleur spécifique.

Il est constitué d'une enceinte hermétiquement scellée, contenant un [fluide frigorigène](#). Le choix du fluide caloporteur dépend de la température de travail prévue.

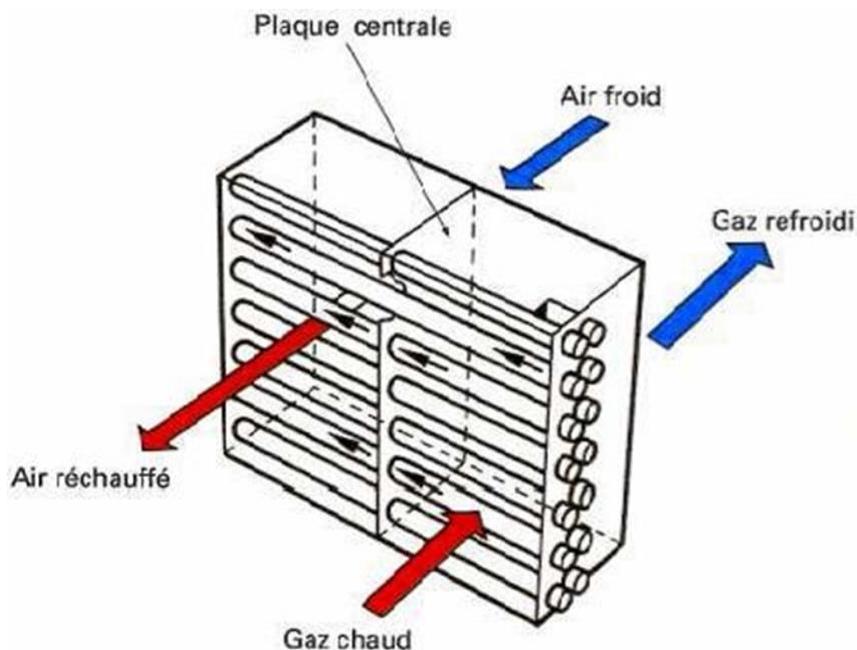
Le flux d'air chaud circulant dans la partie inférieure du tube cède sa chaleur au fluide liquide et le porte à ébullition. La vapeur ainsi formée monte dans la partie haute du tube où elle se trouve en contact avec l'air froid. Le gaz va se condenser sur la paroi interne du tube en cédant sa chaleur de condensation, puis va retomber naturellement par gravité dans la partie inférieure pour un nouveau cycle.

De nombreux caloducs toujours en fonctionnement travaillent avec un fluide frigorigène de la catégorie des chlorofluorocarbures (CFC) actuellement interdits dans les nouveaux matériels.

La disposition verticale est caractéristique du type à gravité. Il existe également des tubes horizontaux où la circulation se fait par capillarité. Ce dernier système est alors réversible et peut donc fonctionner en été.

Ce type de récupérateur se caractérise par sa faible masse, l'absence de pièces en mouvement et un encombrement réduit. Les conduits d'air repris et d'air neuf doivent cependant être proches.

Concernant le fonctionnement, une régulation est à prévoir, de même il faut également prévoir un entretien du récupérateur.



Chapitre 2 : généralités sur les échangeurs de chaleur

Figure 6: Échangeur à caloducs : schéma de principe [6]

➤ Échangeur liquide-liquide : [7]

Les échangeurs liquide-liquide sont utilisés pour transférer les calories entre deux ou plusieurs liquides nous pouvons citer les échangeurs spirale tels que représentés dans la figure 7.

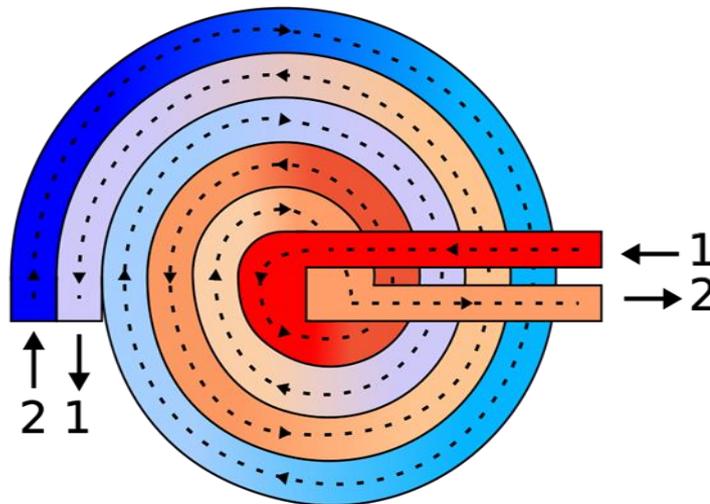


Figure 7 : Échangeur à spirale [7]

➤ Échangeur lamellaire : [8]

C'est une variante de l'échangeur de type tubes et calandre, dans lequel le faisceau est constitué de tubes aplatis ou lamelles. Ces lamelles sont réalisées à l'aide de deux plaques formées et soudées ensemble et constituant un canal dans lequel circule l'un des fluides. Chaque lamelle peut contenir un élément interne (turbulateur) qui permet d'obtenir une meilleure tenue à la pression et un meilleur échange thermique.

Les limites de fonctionnement de cet échangeur sont de 350 °C en température et 25 bar en pression maximale. Cette technologie d'échangeur est actuellement en pleine mutation.



Figure 8 : Échangeur lamellaire [8]

Chapitre III

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

Un échangeur à tubes et calandre est constituée d'un faisceau tubulaire placé dans une enveloppe métallique appelée calandre.

Les tubes sont fixés à leurs extrémités dans des plaques métalliques percées de trous ou plaques tubulaire.

Les fluide passant dans les tubes sont distribués à l'entrée ou recueilli à la sortie par les boites d'échangeurs ou boites de distribution.

Des chicanes et des déflecteurs placés à l'intérieur de la calandre permettent de modifier l'écoulement du fluide circulant à l'extérieur du faisceau tubulaire.

Sur la figure suivante, on retrouve les différents éléments constitutifs d'un échangeur à tubes et calandre.

Ce type d'échangeurs est de loin le plus répandu dans les unités de transformations des industries chimiques et pétrochimiques. Un faisceau de tubes est situé à l'intérieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condenseurs, les rebouilleurs et les fours multitubulaires [9].

L'appareil est constitué par un faisceau de tubes montés sur deux plaques tubulaires et portant un certain nombre de chicanes. A chaque extrémité sont fixées les boites de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en plusieurs passes. Le faisceau est logé dans une calandre munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide qui circule à l'extérieur des tubes suivant le chemin imposé par les chicanes.

Tous les éléments entrant dans la construction de ces échangeurs ont fait l'objet d'une normalisation publiée par la T.E.M.A. (TubularExchangersManufacturer's Association) qui spécifie les caractéristiques mécaniques et thermiques correspondant aux diverses conditions de fonctionnement. Cette normalisation est complétée par d'autres codes tels que ceux de l'A.S.M.E. (American Society of MechanicalEngineers) et de l'A.P.I. (Americanpetroleuminstitute).[10]

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

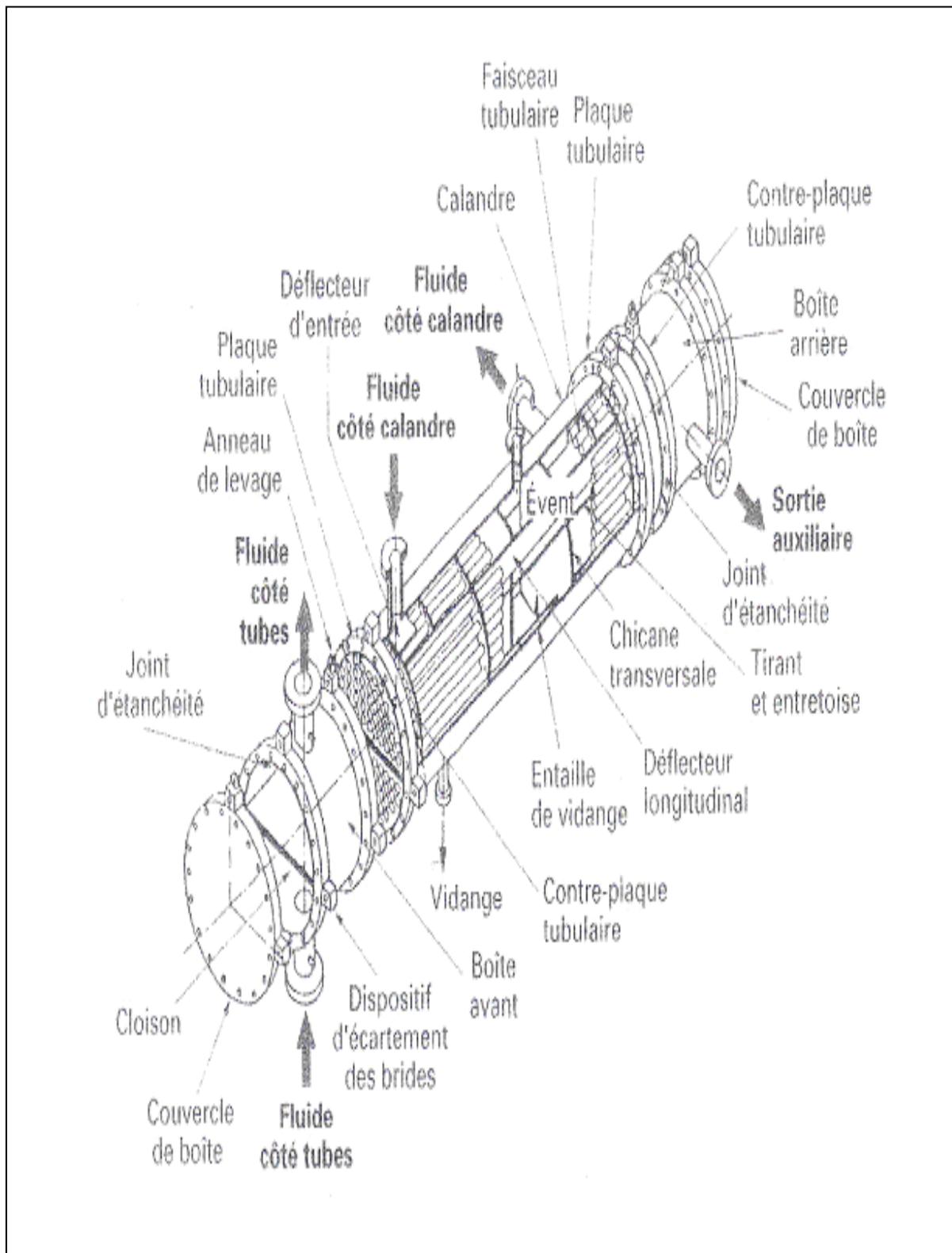


Figure 1 : Divers constituants d'un échangeur à faisceau et calandre[10]

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

1. Les éléments de l'échangeur à tubes et calandre :[10]

1.1 boîte de distribution :

C'est l'organe qui distribue ou recueille le fluide aux extrémités des tubes. Sauf pour le tube en U, il y a une boîte à chaque extrémité de l'échangeur. La disposition des boîtes dépend non seulement du type choisi, mais aussi du nombre de passes. La liaison cloison-plaque tubulaire est en général assurée par un joint. Les boîtes sont le plus souvent réalisées avec un matériau peu différant de celui des tubes.

1.2 La calandre :

C'est l'enveloppe métallique entourant le faisceau tubulaire, et généralement l'acier au carbone est le matériau le plus couramment utilisé pour la construction des calandres. Pour un diamètre nominal inférieur à 24", la calandre est constituée par un tube d'acier, pour des pressions de service inférieures à 20 kg/cm². Au-delà de 24 la calandre est réalisée à partir de plaques d'acier roulées et soudées chaque extrémité sont soudées les brides qui porteront le couvercle et la boîte de distribution. Les tubulures d'entrée et de sortie sont soudées avec plaque de renforcement ou non, selon la pression de service.

Enfin la calandre pourra être équipée d'anneaux pour le levage et portera la plaque d'identité de l'appareil. [6]

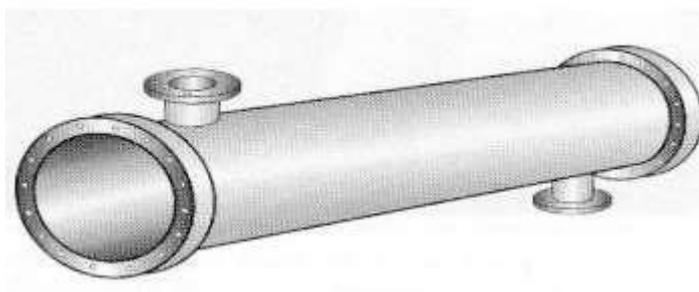


Figure 2: La calandre d'un échangeur faisceau et calandre [10]

1.3 Les Plaques tubulaires:

Ce sont des plaques percées supportant les tubes à leurs extrémités, leur épaisseur (5 à 10cm). Les plaques tubulaires peuvent être en acier ordinaire, en acier spécial massif. Un plaquage, en acier inoxydable par exemple, peut se justifier dans le cas de plaques tubulaire

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

déjà assez épaisses. Les tubes peuvent être fixés à la plaque tubulaire par dudgeonnage ou par soudure, quelquefois aussi par dudgeonnage allié à une soudure qui sert simplement à assurer l'étanchéité.

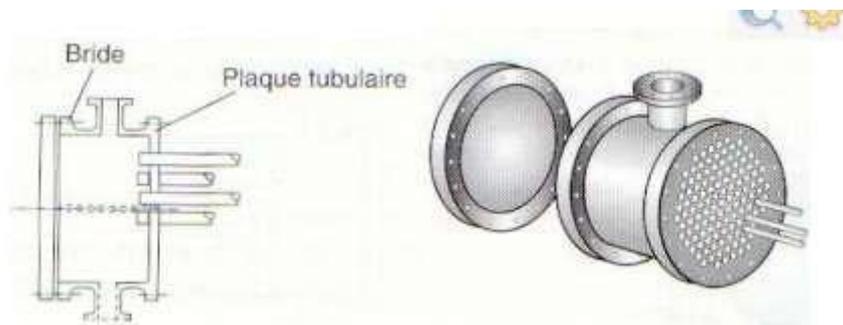


Figure 3: Les Plaques tubulaires [10].

1.4 Le Faisceau :

C'est l'ensemble des tubes constituant le faisceau. Les épaisseurs de tubes sont normalisées selon le calibre BWG (Birmingham wire Gage). La perforation des trous dans les plaques tubulaires est normalisée; elle s'effectue selon une disposition soit au pas carré, soit au pas triangulaire. Le pas est la distance centre à centre de deux tubes voisins.

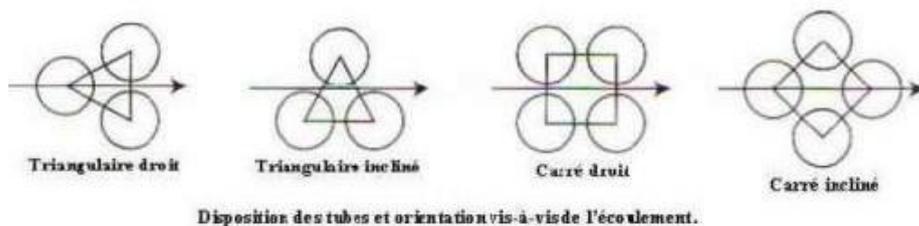


Figure 4: Disposition des tubes [10].

Le pas triangulaire permet de placer environ 10% de tubes de plus que le pas carré sur une plaque tubulaire de diamètre donné, mais en contrepartie, la disposition des tubes rend impossible leur nettoyage extérieur par insertion de grattoirs ou de racloirs à travers le faisceau. Pour ces appareils, il faut avoir recours au nettoyage chimique et réserver leur emploi pour des fluides propres [10].

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

1.5 Les chicanes :

Les chicanes peuvent avoir deux rôles :

- Augmenter la rigidité du faisceau, pour éviter les phénomènes de vibration
- Augmenter la vitesse du fluide Il existe deux types de chicanes

1.5.1 Les Chicanes transversales :

Sont généralement constituées par un disque ayant un diamètre légèrement inférieur à celui de la calandre et comportant un segment libre dont la surface représente 20 à 45% de la section totale. Ces chicanes ont pour but d'allonger le chemin du fluide circulant dans la calandre, et d'améliorer ainsi le transfert à l'extérieur du tube. Dans le cas des échangeurs horizontaux, une échancrure est aménagée à la partie inférieure des chicanes pour faciliter la vidange et le nettoyage et éviter l'encrassement par stagnation à la partie inférieure.

Les chicanes transversales assurent la rigidité du faisceau tubulaire, elles sont solidaires à la plaque tubulaire fixe au moyen de tirants et entretoises qui occupent la place de tubes les standards (TEMA) imposent un nombre de tirants entre 4 à 10.

1.5.2 Les Chicanes longitudinales :

Sont généralement constituées par une simple tôle insérée au milieu du faisceau cette disposition oblige le fluide à effectuer un aller et un retour dans la calandre.



Figure 5: Type de chicane [10].

1.5.2.1 Boîtes de distribution ou chambres de distribution:

La chambre de distribution ou boîtes de distribution permet de distribuer le fluide en vue de

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

réaliser 1, 2, 4,6 ou 8 passes. Le nombre de passe est généralement limité par la perte de charge admissible. Le second facteur limitant est si la différence de température à l'entrée et à la sortie est importante ; pour une différence de 150 °C une seule passe s'impose[10].

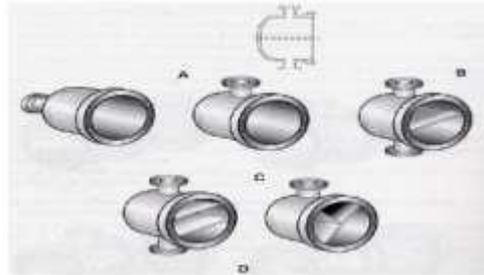


Figure 6 : Type de chambre de distribution [10].

1.6 Déflecteurs ou plaque de protection du faisceau:

Pour éviter ou du moins minimiser l'érosion de tube du faisceau, des déflecteurs de protection peuvent être installés faces aux tubulures d'entrée du fluide côté calandre, l'obligation de leur mise en place est définie dans les standards (TEMA) en fonction de la nature, de l'état du fluide et du produit ρu^2 (ρ : masse volumique, u vitesse du fluide) ces déflecteurs, d'une épaisseur de l'ordre de 1/2in, sont circulaires, carrés ou rectangulaires, soudés sur des tirants ou entretoise [10].

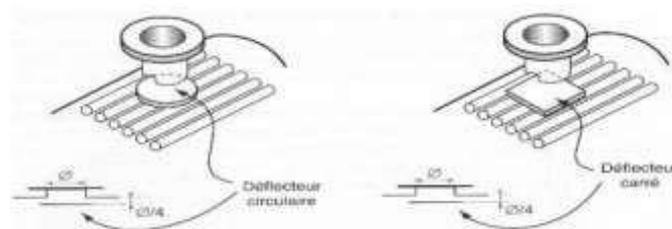


Figure 7 :Plaques de protection du faisceau [10].

1.6 Les passes:

Dans la disposition la plus simple, les fluides côté tubes et côté calandre entrent à une

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

extrémité et sortent à l'autre. On dit alors qu'il n'y a qu'une seule passe (un seul passage) côté tubes et côté calandre. Les fluides peuvent entrer du même côté, (co-courant) ou aux côtés opposés (contre-courant) [10].

2. Les types des échangeurs à tubes et

calandre : [10]

2.1 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 intérieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre.

Ces appareils qui permettent l'expansion thermique du faisceau ainsi que son nettoyage mécanique, constituent la presque totalité des échangeurs utilisés en raffinerie. [12]

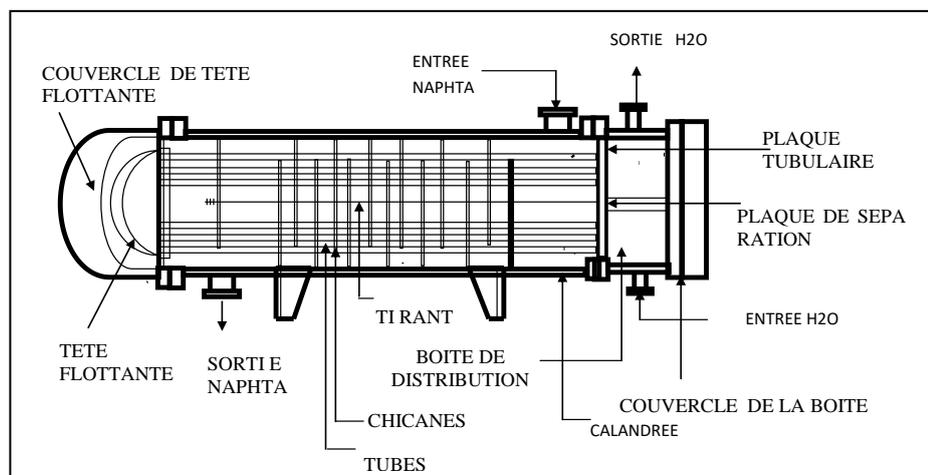


Figure 8 : Divers constituants d'un échangeur de chaleur à tête flottante [12].

2.2 Les échangeurs à plaque tubulaire fixes:[12].

Les plaques tubulaires peuvent être directement soudées sur la calandre. De conception peu onéreuse, ces appareils permettent de loger le maximum de tubes à l'intérieur de calandre.

Chapitre 3 : Conception des échangeurs de chaleur à tube et calandre

Mais ils ne peuvent être utilisés que si les différences de températures entre fluides chaud et froid sont suffisamment faibles pour que la dilatation ou la contraction du faisceau soit acceptable.

En outre, le nettoyage de l'extérieur des tubes ne peut s'effectuer que par voie chimique. Leur emploi en complexe reste donc limité.

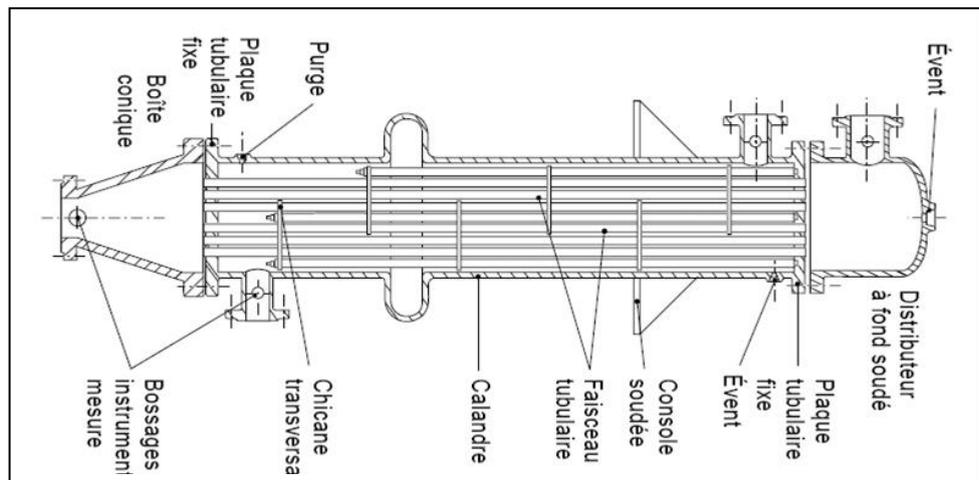


Figure 9 : Divers constituants d'un échangeur de chaleur à plaque tubulaire fixes [12].

2.3 Les échangeurs avec tubes en U:[12].

L'utilisation de tubes coudés, en forme d'épingles à cheveux, supprime une plaque tubulaire, tout en conservant les propriétés d'expansion de tête flottante.

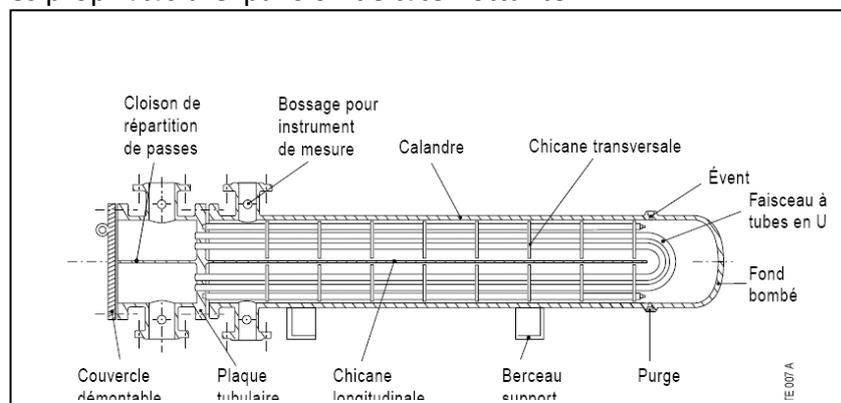


Figure 10 : Divers constituants d'un échangeur de chaleur avec tubes en U [12].

Chapitre V

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

1.Introduction

Dans ce chapitre, on utilise le simulateur Aspen HYSYS V10 et plus précisément Aspen Exchanger Design & Rating pour réaliser la simulation du dimensionnement d'un échangeur de chaleur à tube et calandre .

2.Objectif et rôle de la simulation [13]

2-1 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 de différents scénarios et d'en déduire le comportement du système physique analysé.

2-2 Rôle de la simulation

Le rôle de la simulation est d'améliorer la compréhension du processus pour permettre de prendre les meilleures décisions. Tout simulateur industriel de procédés chimiques est organisé autour des modules suivants :

- 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.
- 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 (Process Flow Diagram).
- Un ensemble de méthodes numériques de résolution des équations des modèles mathématiques.

3. Utilisation de la simulation [14]

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

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

- 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.

4. Concepts et caractéristiques du simulateur HYSYS :[14]

4-1 Concepts de base du simulateur HYSYS :

HYSYS est un simulateur de conception « oriente-objects » c'est-à-dire que tout changement spécifié sur un élément est répercuté dans tout le procédé.

C'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. Deuxièmement, il allie le concept d'opérations modulaires à celui de résolution non-séquentielle. 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 et opérations unitaires) qui constituent tout ou une partie du procédé simulé et qui utilisent la même base de données thermodynamique «Fluid Package ». Ce simulateur possède une Architecture « Multi-Flowsheet » : il n'y a pas de limite par rapport au nombre de Flowsheets. On peut préalablement construire des Flowsheets pour les utiliser dans une autre simulation, ou organiser la description de procédés complexes en le scindant en sous-Flowsheets (ceci permet de hiérarchiser un processus très complexe).

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

- «Fluid Package » : il permet de définir les composants chimiques présents dans le procédé simulé et leurs 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 différentes opérations unitaires représentées par des icônes et connectées par des courants de matière et d'énergie
- «Workbook» : il permet d'avoir accès à l'information sur les courants et les opérations unitaires sous forme tabulaire.

- Les environnements de HYSYS :

Il existe 5 environnements de développement pour manipuler et mettre en forme l'information dans le simulateur :

- **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 environnement particulier permettant de définir la topologie des colonnes (distillation, absorption,...). Il possède ses propres «Flowsheet», «Fluid Package» et «Workbook».

4-2 Caractéristiques principales de HYSYS :

Cette partie décrit brièvement les caractéristiques importantes qui font de HYSYS une plateforme de simulation et de développement très puissante :

- « The Integrated Engineering Environment » : Toutes les applications nécessaires sont utilisées dans un environnement de simulation commun.

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

- Il intègre la possibilité d'une modélisation en régime stable ou stationnaire et en régime dynamique.
- La programmation dans HYSYS : HYSYS contient un « *Internal Macro Engine* » qui supporte la même syntaxe que « *Microsoft Visual Basic* », donc on peut appliquer différentes tâches dans HYSYS sans avoir besoin d'un autre programme.

Voici quelques caractéristiques de HYSYS sur la manière dont sont réalisés les calculs :

- 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.
- Simulation modulaires: Chaque courant ou opération unitaire 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.
- Lorsque l'on effectue des développements dans un *Flowsheet* particulier, seul ce *Flowsheet* et les autres situés au-dessous dans la description hiérarchique, seront modifiés.

5 Simulation de l'échangeur à tube et calandre avec le simulateur HYSYS V10 :

1/ Définition de la géométrie de l'échangeur :

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS



Figure 1 : Définition de la géométrie de l'échangeur

2/ Définitions des paramètres du processus :

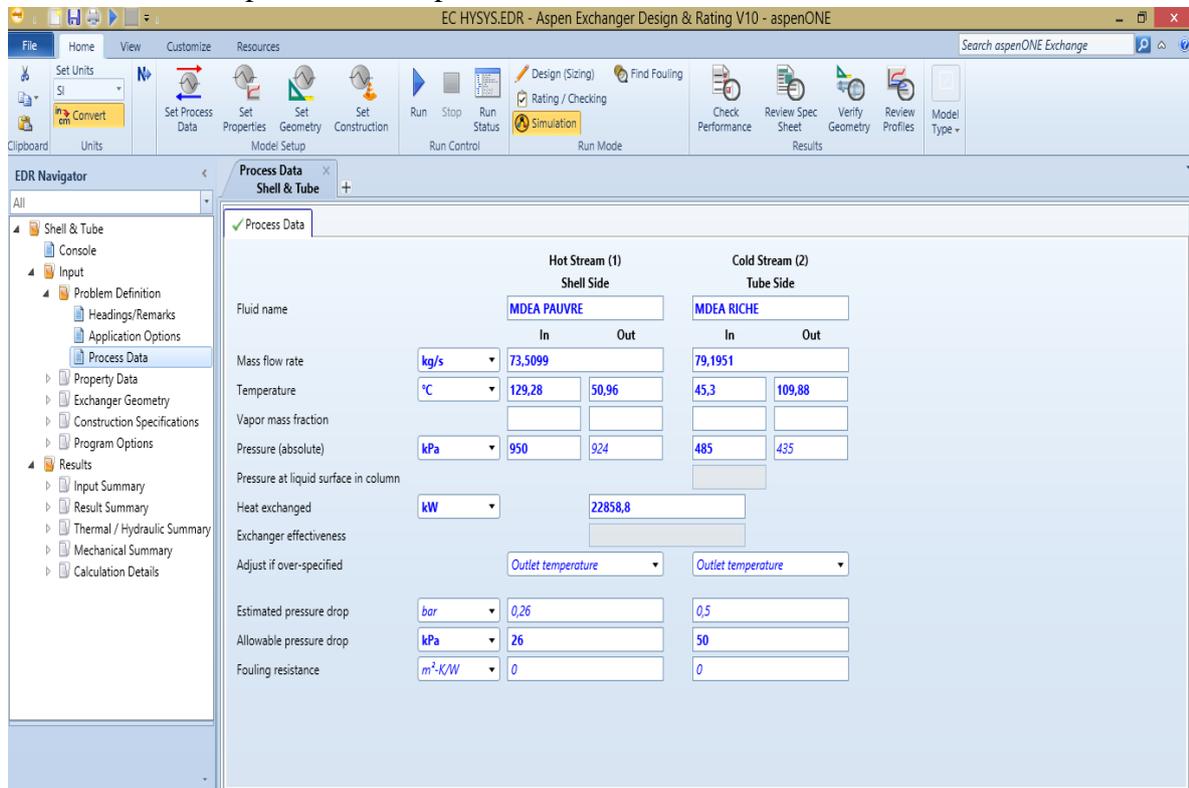


Figure 2: Définition des paramètres du processus

3/ Définition de la composition chimique et les propriétés des fluides :

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

- **Fluide froid (MDEA riche) :**

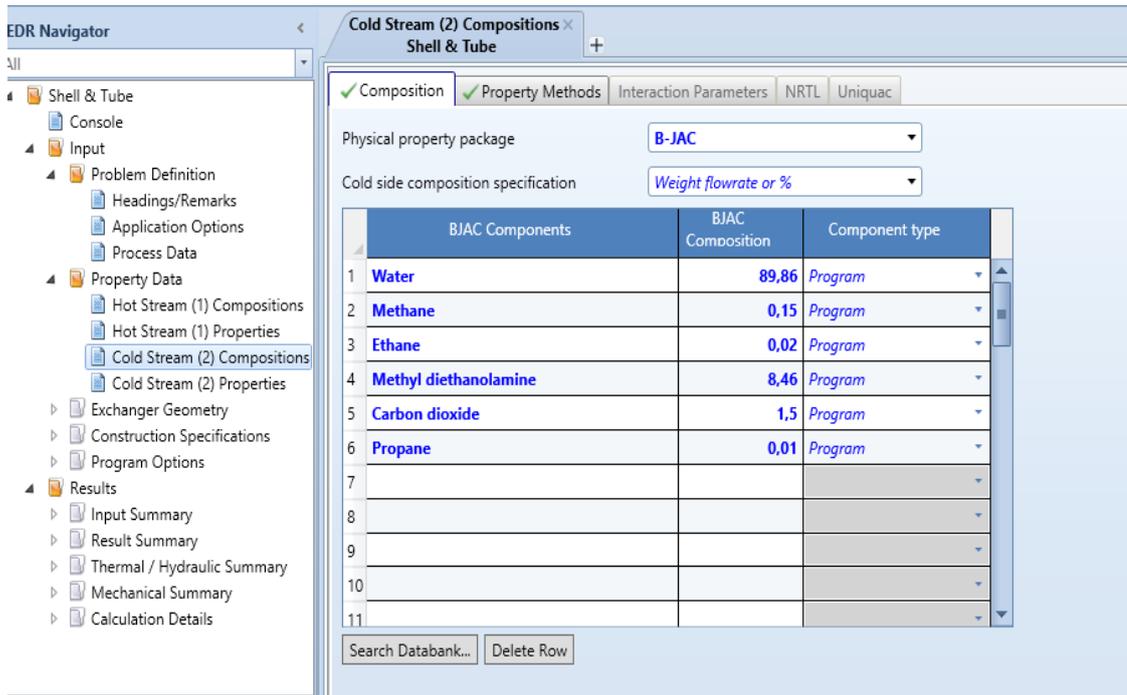


Figure 3: Définition de la composition du fluide froid (MDEA riche)

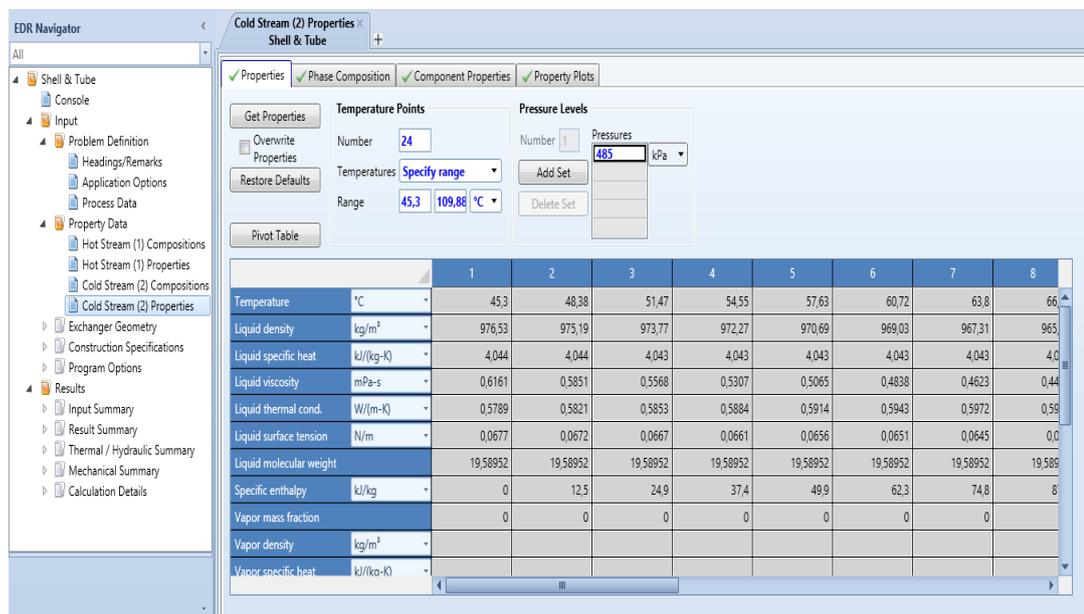


Figure 4: Définition des propriétés du fluide froid (MDEA riche)

Résultats obtenus pour le fluide froid :

Tableau 1 : Résultats obtenus pour les propriétés du fluide froid

Température	Densité	Chaleur spécifique	Conductivité thermique	Viscosité
° C	kg/m ³	kJ/(kg*K)	W/(m*K)	mPa*s

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

45,3	976,53	4,044	0,5789	0,6161
48,38	975,19	4,044	0,5821	0,5851
51,47	973,77	4,043	0,5853	0,5568
54,55	972,27	4,043	0,5884	0,5307
57,63	970,69	4,043	0,5914	0,5065
60,72	969,03	4,043	0,5943	0,4838
63,8	967,31	4,043	0,5972	0,4623
66,88	965,53	4,044	0,5999	0,4419
69,96	963,68	4,045	0,6026	0,4224
73,04	961,78	4,047	0,6052	0,4037
76,12	959,82	4,049	0,6077	0,3858
79,2	957,8	4,051	0,6101	0,3688
82,28	955,75	4,053	0,6124	0,3527
85,35	953,65	4,056	0,6145	0,3376
88,43	951,51	4,058	0,6166	0,3236
91,5	949,33	4,06	0,6186	0,3121
94,57	947,11	4,063	0,6204	0,3036
97,63	944,86	4,066	0,6221	0,2955
100,7	942,57	4,069	0,6238	0,2877
103,76	940,25	4,072	0,6253	0,2802
106,82	937,9	4,075	0,6266	0,273
109,88	935,53	4,078	0,6279	0,2662
114,74	931,69	4,084	0,6297	0,2559
188,38	869,59	3,216	0,183	0,3147

- **Chaleur spécifique :**

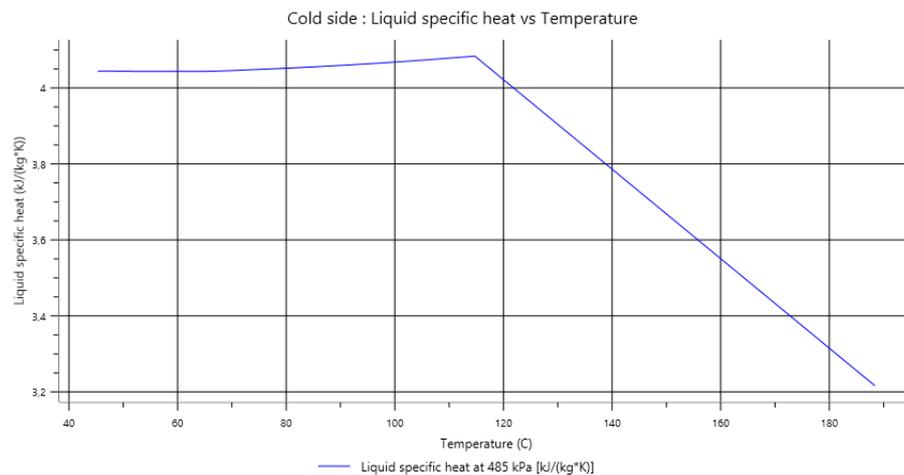


Figure 5: Variation de la chaleur spécifique du fluide froid en fonction de la température

Interprétation :

La chaleur spécifique C_p entre 0°C et 100 °C est constante, au-delà de cette valeur, le C_p est une fonction linéaire en fonction de la température (T° augmente $\rightarrow C_p$ diminue) ; $C_p = at + b$

- **La conductivité thermique :**

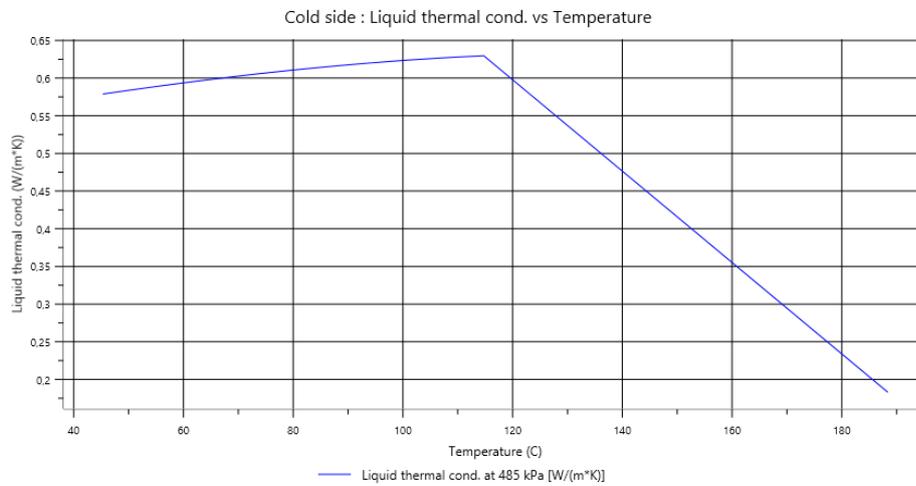


Figure 6: Variation de la conductivité thermique du fluide froid en fonction de la température

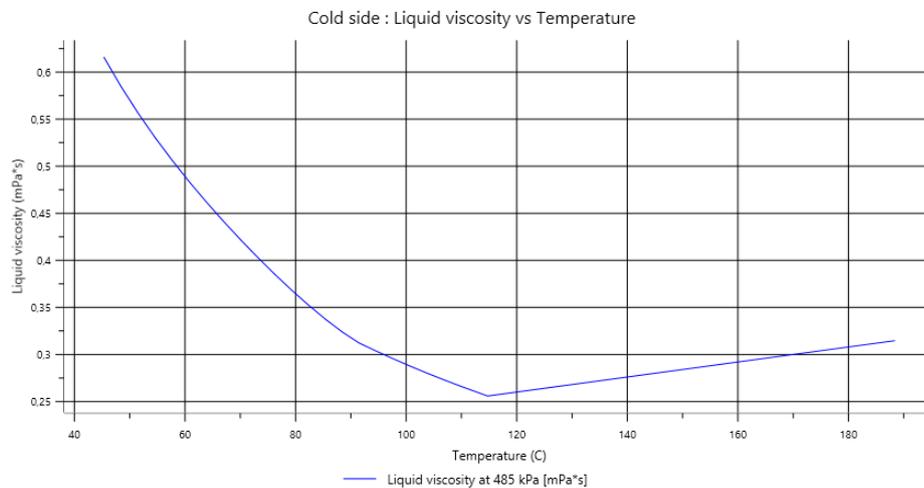
Interprétation :

Même chose pour la viscosité, la conductivité thermique est en fonction de la température

$$\lambda = f(T) \text{ de manière inverse. } \lambda = aT + b$$

Elle est croissante dans l'intervalle de [40°C ; 115 °C] puis elle décroît à partir de 115 °C.

- **La viscosité :**



Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

Figure 7: Variation de la viscosité du fluide froid en fonction de la température

Interprétation :

La viscosité est en fonction de la température $\mu = f(T)$ de forme linéaire : $\mu = aT + b$

Elle est décroissante dans l'intervalle de [40°C ; 115 °C] puis elle croit à partir de 115 °C.

- **Fluide chaud (MDEA pauvre) :**

The screenshot displays the 'Hot Stream (1) Compositions' dialog box in Aspen HYSYS. The 'Physical property package' is set to 'B-JAC' and the 'Hot side composition specification' is set to 'Mole flowrate or %'. The table below shows the composition of the hot stream.

	BJAC Components	BJAC Composition	Component type
1	Water	85,11	Program
2	Methyl diethanolamine	8,46	Program
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Figure 8: Définition de la composition chimique du fluide chaud

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

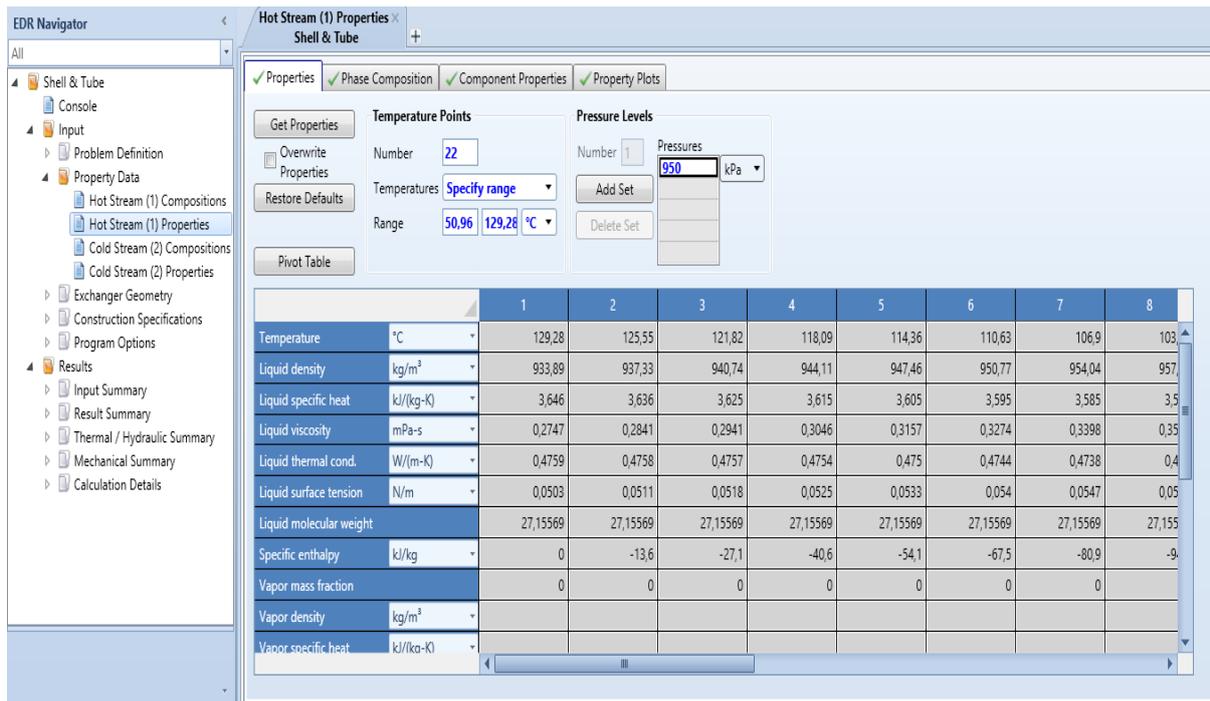


Figure 9: Définition des propriétés du fluide chaud

Résultats obtenus pour le fluide chaud :

Tableau 2 : Résultats obtenus pour les propriétés du fluide chaud

Température	Densité	Chaleur spécifique	Conductivité thermique	Viscosité
° C	kg/m ³	kJ/(kg*K)	W/(m*K)	mPa*s
129,28	933,93	3,665	0,4828	0,2721
125,55	937,36	3,665	0,4828	0,2814
121,82	940,76	3,644	0,4826	0,2911
118,09	944,12	3,634	0,4823	0,3014
114,36	947,12	3,625	0,4818	0,3123
110,63	950,76	3,615	0,4812	0,3238
106,9	954,03	3,605	0,4806	0,3359
103,17	957,26	3,596	0,4797	0,3487
99,44	960,45	3,587	0,4788	0,3624
95,71	963,6	3,578	0,4778	0,3768
91,98	966,7	3,569	0,4766	0,3921
88,26	969,76	3,56	0,4753	0,412
84,53	972,77	3,551	0,4739	0,436
80,8	975,73	3,542	0,4724	0,4624
77,07	978,64	3,534	0,4708	0,4912
73,34	981,48	3,525	0,4691	0,5221
69,61	984,26	3,517	0,4673	0,5549

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

65,88	986,98	3,509	0,4654	0,5899
62,15	989,62	3,509	0,4635	0,627
58,42	992,68	3,509	0,4614	0,667
54,69	994,68	3,509	0,4593	0,7105
50,96	997,08	3,509	0,457	0,7583

- **La chaleur spécifique :**

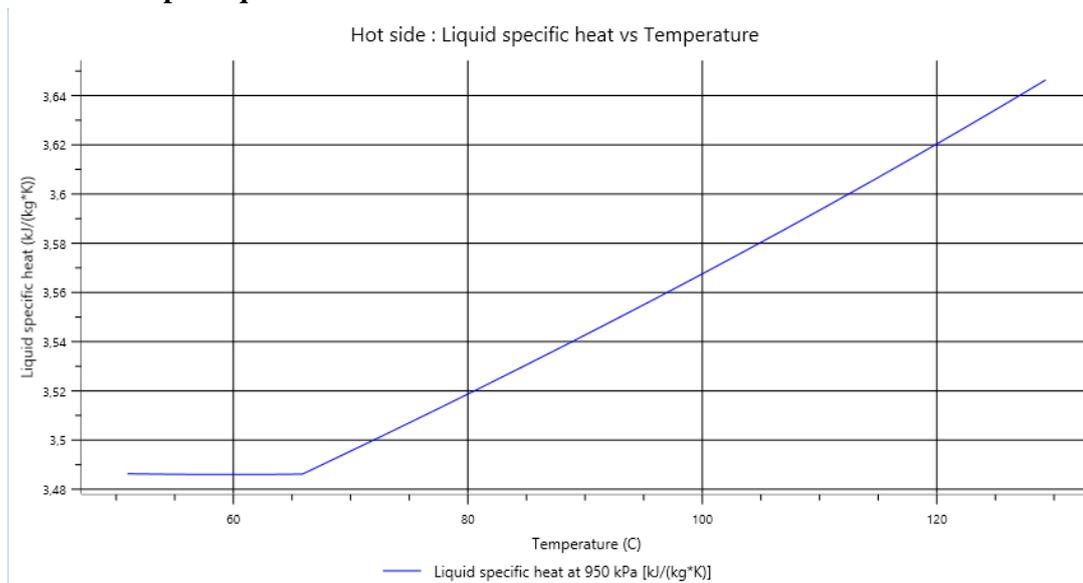


Figure 10: Variation de la chaleur spécifique du fluide chaud en fonction de la température

Interprétation :

Cp est constante dans l'intervalle [0°C ,65°C], puis elle varie linéairement au-delà de 65 °C, et tantque le fluide chaud se refroidit, il devient plus visqueux.

- **La conductivité thermique :**

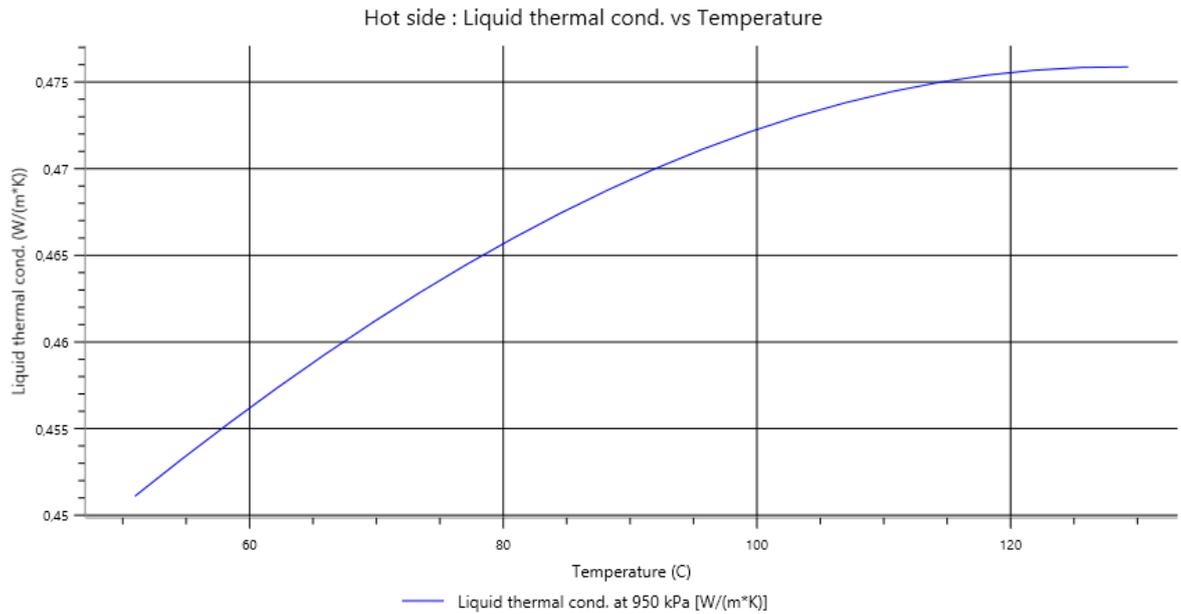


Figure 11: Variation de la conductivité thermique du fluide chaud en fonction de la température

Interprétation :

On constate une évaluation atténuée de la conductivité thermique de fluide de 65 °C à 105 °C, et une stabilisation à 120 °C.

- **La viscosité :**

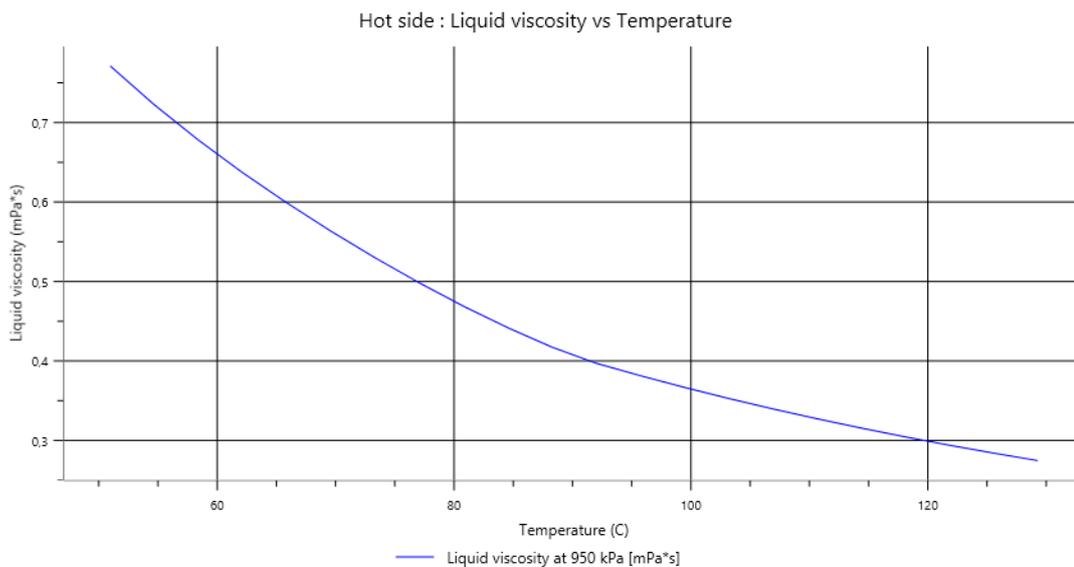


Figure 12: Variation de la viscosité du fluide chaud en fonction de la température

Chapitre 4 : Simulation par Aspen HYSYS

Interprétation :

$\mu = f(T)$: l'allure est décroissante. Donc, plus que lorsque la température augmente le fluide sera moins visqueux.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons utilisé une méthode numérique par logiciel HYSYS pour la simulation d'un échangeur de chaleur de type tube et calandre, en respectant dans notre calcul tous les paramètres utilisés, ce qui nous a permis de calculer et visualiser les flux de matière, d'énergie et des paramètres physiques de l'écoulement des fluides circulant dans l'échangeur. Après analyse des résultats nous constatons que les résultats obtenus sont satisfaisants, ce qui nous confirme la fiabilité de ce logiciel. En conclu que logiciel HYSYS est un outil de simulation pour améliorer la compréhension du process, prendre les meilleures décisions et de construire un modèle interactif avec des résultats immédiats de conception.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

L'étude présentée dans ce mémoire consiste à faire la simulation d'un échangeur de chaleur tube et calandre. Ce qui nous a permis d'approfondir nos connaissances sur ce domaine en particulier : les notions d'échange de chaleur et la description détaillée de l'échangeur tube et calandre, sa classification et ces composantes avec détails. Pour cela nous avons réalisé une simulation numérique avec un calcul de vérification d'un modèle par logiciel Aspen HYSYS.

On a conclu que nous avons les résultats parfaits trouvés par simulation avec le logiciel Aspen HYSYS. ce qui nous confirme la fiabilité de ce logiciel. La maîtrise du logiciel de simulation et de conception des échangeurs de chaleur est l'une des points positifs pour notre étude, ce qui va nous permettre d'appliquer à l'avenir ces connaissances pour le dimensionnement de ce type ou plusieurs types d'échangeur de chaleur et pour plusieurs cas disponibles en industrie.

Aussi durant cette étude, on peut déduire que nous avons pu acquérir une bonne maîtrise du simulateur HYSYS, qui un outil important, efficace et indispensable pour l'étude de n'importe quel procédé industriel.

Enfin, L'aboutissement de ce travail consiste à comprendre la technologie des échangeurs de chaleur et les problèmes qui peuvent les subir lors leur fonctionnement, notant que l'étude de ces équipements est plus vaste qu'elle apparaît, 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.

Références bibliographique

- [1] J.F. Sacadura, Transferts thermiques – Initiation et approfondissement,
Ed. Lavoisier, 2015.
- [2] Introduction aux transferts thermiques, Cours et exercices corrigés ;
J.-L. Battaglia, A. Kusiak, J.-R. Puiggali, 2^{ème} Eds. DUNOD, 2014.
- [3] transferts thermiques, Cours et exercices ; Yves Jannot , 2012.
- [4] R.B Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, Transport phenomena, 2^{ème} Ed.,
Wiley & Sons, 2007.
- A. Giovannini et B. Bédard, Transfert de chaleur, Ed. Cépaduès, 2012.
- [5] Échangeurs de chaleur à plaques et joints. ALFA LAVAL .
- [6] ECHANGEUR À PLAQUES. Société RDM Distribution .
- [7] Échangeurs de chaleur spiralés. ALFA LAVAL .
- [8] Différents types d'échangeurs de chaleurs. Wallonie Énergie .
- [9] Echangeur de chaleur tubulaire: caractéristiques techniques et principe de fonctionnement. Avantages des échangeurs de chaleur à plaques et tube .
- [10] Echangeur à tubes et calandre. Process's Guide Des Techniques Des Industries de Procédé.
- [11] Bontemps, A. Garrigue, C. Goubier, J. Huetz, C. Marvillet, P. Mercier Et R. Vidal
– Échangeur de chaleur – Technique de l'Ingénieur, Traité Génie Énergétique
Edition technip Paris
- [12] W. PIERRE, raffinage et génie chimique Tom I et II «édition 1972 »
- [13] M. Maroua -Dimensionnement d'un échangeur à tube et calandre de l'unité décarbonatation du complexe GL1 Skikda, universités de Annaba (2017)
- [14] D. Nadjemeddine, Simulation d'une conception d'un échangeur à faisceau et calandre, mémoire de master en génie mécanique énergétique et l'environnement, université de Annaba (2017)