Au cours de ce chapitre on présente la simulation des échangeurs de chaleur à savoir ; l'échangeur à plaques et l'échangeur tubes et calandre en utilisant le logiciel de simulation ASPEN HYSYS. Ce chapitre se divise en deux parties, la première présente une présentation du logiciel et la deuxième partie traite les résultats de la simulation et leur discussion.

Partie 1 : Présentation du logiciel ASPEN HYSYS

III.1.1 La simulation

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement. Elle permet de représenter par des modèles mathématiques les différents phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires.

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 complémenter 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 une représentation exacte de la réalité physique, mais il est seulement apte à restituer les caractéristiques les plus importantes du système analysé [12].

La simulation peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin de :

- Établir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- Dimensionner les équipements de ce procédé.

Ou bien dans le suivi des procédés qui sont déjà installés afin de :

- Réajuster les paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de compositions de l'alimentation ou des conditions de fonctionnement de certains équipements.
- Déterminer les performances des équipements [12].

Et pour la réalisation de ces taches, on utilise un simulateur qui 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 diagnostiques [12].

III.1.2 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 [12].

III.1.3 Les simulateurs industriels

Il existe une grande variété des simulateurs industriels tels que ; Aspen Plus, ChemCAD, Hysim, Hysys, Pro-II. Ils sont les plus vendus et deviennent de plus en plus indispensables pour concevoir de nouvelles unités et pour optimiser les procédés industriels qui fonctionnent parfois loin de leur optimum.

Notant que ces simulateurs fonctionnent en phase statique ou dynamique. Par exemple, HYSYS (Hyprotech) peut passer de la simulation d'un régime permanent à un régime transitoire (dynamique) par un seul « click » sur un bouton.

La nouvelle version HYSYS V9 ou ASPEN HYSYS contribue à l'amélioration des performances des installations, elle offre une panoplie de modèles thermodynamiques pour le calcul des propriétés thermodynamiques tels que les constantes d'équilibres liquide vapeur, les enthalpies et les entropies …etc. Et les propriétés physico- chimiques tels que la masse volumique, la masse moléculaire…etc. [13].

Le logiciel ASPEN HYSYS est un outil de modélisation des processus. Il est le leader du marché pour la conception, l'optimisation, la planification d'entreprise, la gestion d'actifs et de suivi des performances de production de pétrole et de gaz, de traitement du gaz, du raffinage du pétrole. Il se présente comme un logiciel de simulation statique et dynamique des procédés (colonne de distillation, échangeur de chaleur, réacteur, colonne d'absorption…). Ce logiciel est très utilisé dans l'industrie pour le dimensionnement, la simulation et l'évaluation économique des procédés. En ce qui concerne son application dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous l'utiliserons

dans le calcul des performances thermiques des échangeurs de chaleur à plaques et à tubes et calandre que nous allons traiter [13].

III.1.4 La simulation de l'échangeur à plaques

Dans notre étude on va utiliser les données du système de refroidissement du moteur Diesel de type 7FDS16, que nous avons récupéré de la société MEI. Ces données sont données au chapitre 2 (II.2.3), elles présentent les températures d'entrée et de sortie des deux fluides (chaud et froid), leurs débits, la nature des fluides utilisés et le type de l'échangeur employé (à plaques ou à tubes et calandre).

La simulation de l'échangeur de chaleur à plaques de type s'effectue suivant les étapes suivantes :

1. Définition du problème:

Après avoir choisie le type de l'échangeur qu'on doit simuler, dans notre premier cas c'est un échangeur de chaleur à plaques de type GXD-042P.MFG, on passe à la définition du problème. Dans ce cas on introduit les données de notre problème (le fluide chaud (l'huile) et le fluide froid (l'eau), les températures d'entré des deux fluides (chaud et froid), les débits massiques des deux fluides et leur pression comme illustré sur la Figure III.1.

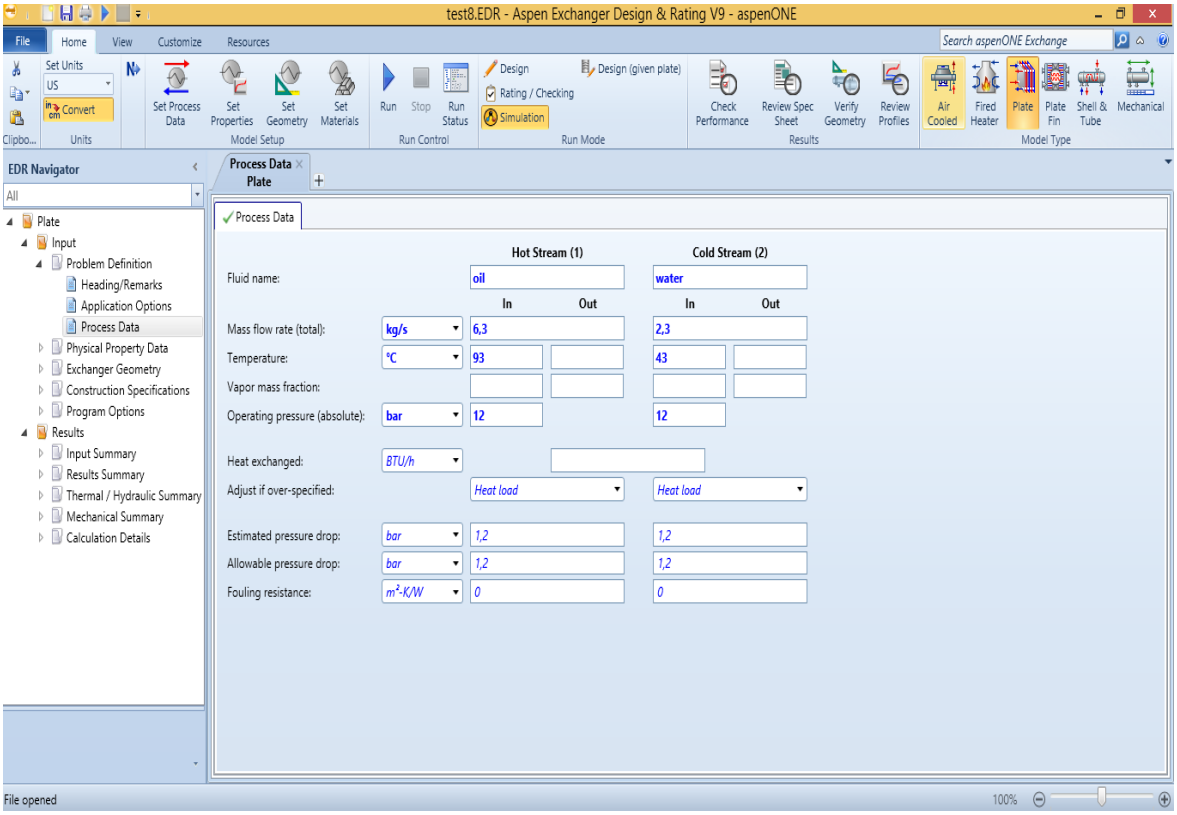


Figure III.1 : Définition du problème.

2. Définition des propriétés des fluides :

On définie le fluide chaud (l'huile) et le fluide froid (l'eau) dans la section de définition des propriétés des deux fluides utilisés dans notre cas, comme noté sur la figure III.2a et 2b. Notant que ces fluides existent dans la base de données du logiciel.

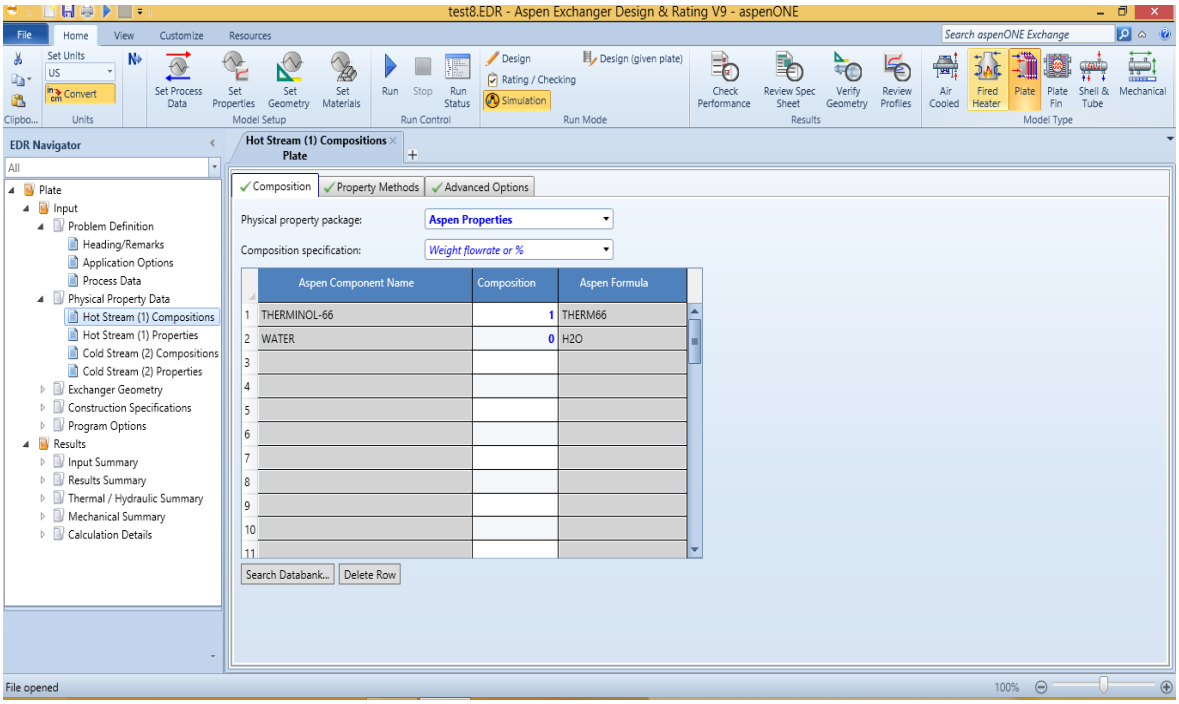


Figure III.2a : Définition du fluide chaud.

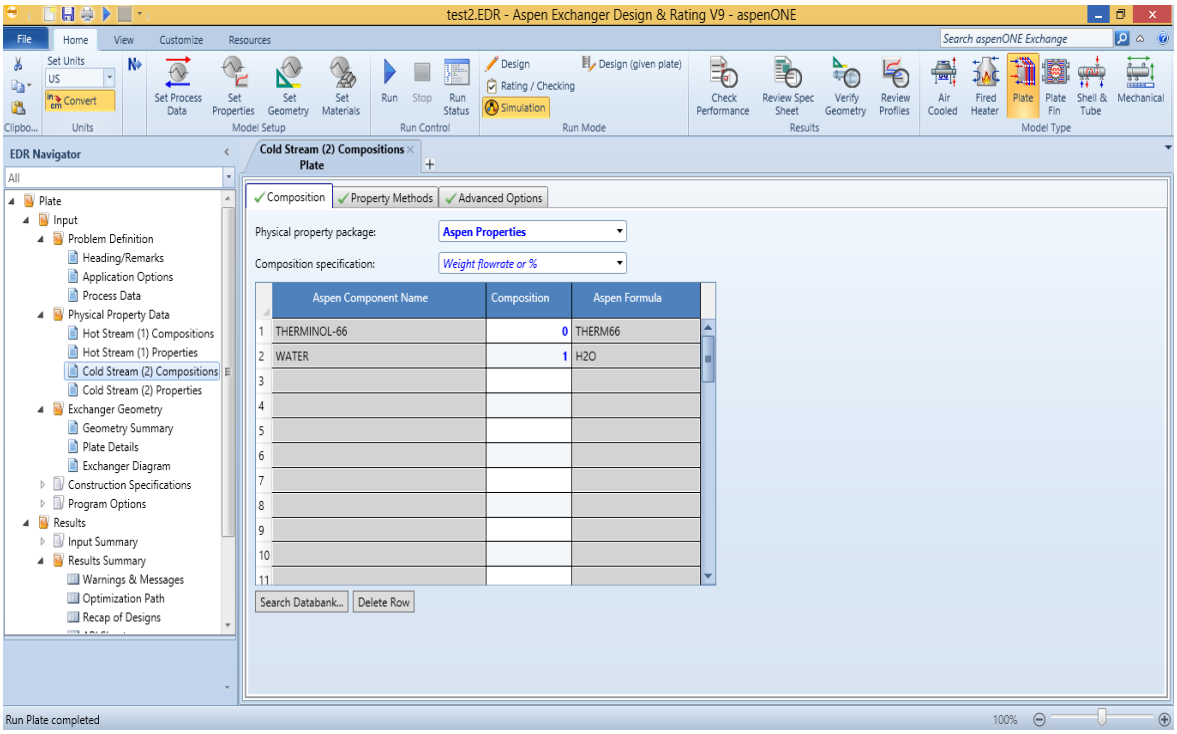


Figure III.2b : Définition du fluide froid.

3. Définition de la géométrie de l'échangeur :

Dans cette étape, on définie la géométrie de l'échangeur à plaques de type GXD-042P.MFG. Notant que cette échangeur existe dans la base de donnée du logiciel donc il suffit d'introduire uniquement son nom et nous aurons toutes ces caractéristique géométriques, comme illustré sur la figure III.3.

Une fois on définie tout les paramètres qui concernent les fluides et l'échangeur lui même, on lance la simulation on cliquant sur « Run ».

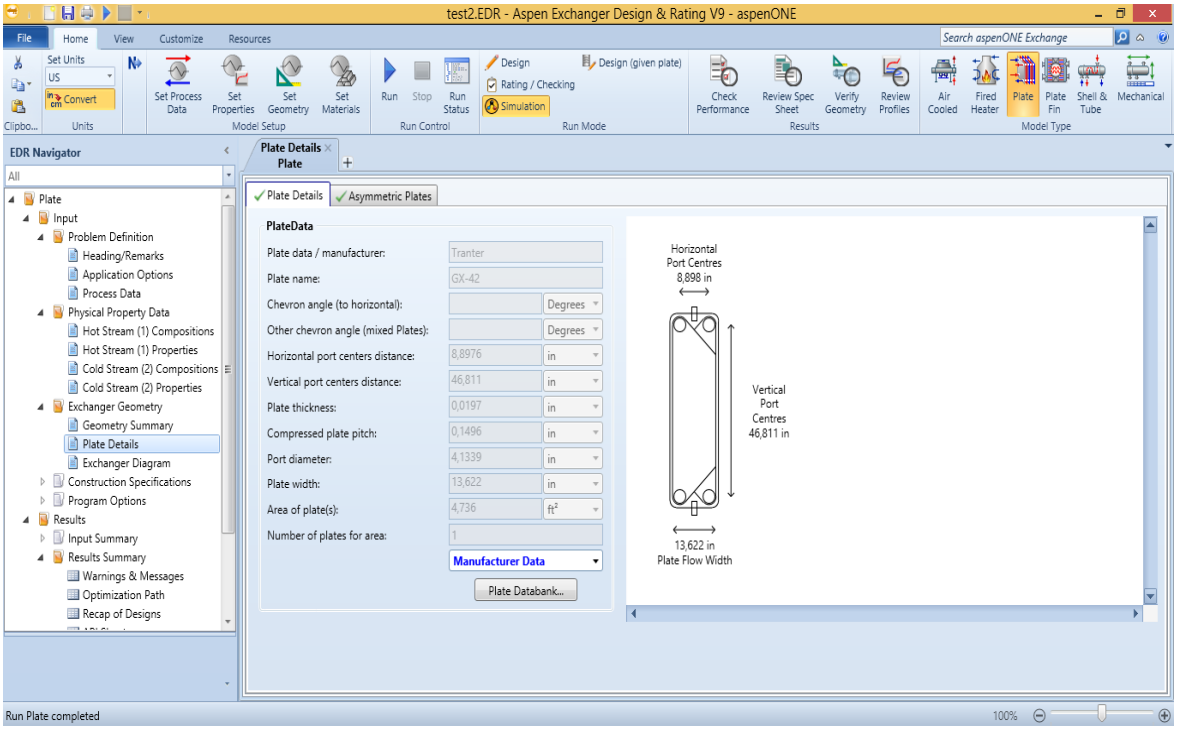


Figure III.3 : Définition de la géométrie de l'échangeur à plaques.

III.1.5 La simulation de l'échangeur à tubes et calandre

Vue le manque de données nécessaires de l'échangeur tubes et calandre de type LOC-30, qui date des années 80. On ne peut pas faire la simulation de cet échangeur de chaleur avec le logiciel ASPEN HYSYS, donc on a opté pour une conception et simulation d'un échangeur de chaleur tubes et calandre d'autre type.

On a choisie un échangeur de chaleur à une seule calandre avec deux passes, de diamètre extérieur de 0.686 m et une longueur de 2.5 m. Le matériau de fabrication de la calandre et des tubes est l'acier au carbone selon les données de base du logiciel ASPEN HYSYS suivant la norme ASTEM.

Notant que dans ce cas l'eau circule dans les tubes et l'huile dans la calandre.

Pour simuler l'échangeur à tubes et calandre, on suit les mêmes étapes citées pour le cas de l'échangeur à plaques. La seule différence réside dans l'étape de la définition de la géométrie de l'échangeur de chaleur tubes et calandre, comme noté sur la Figure III.4.

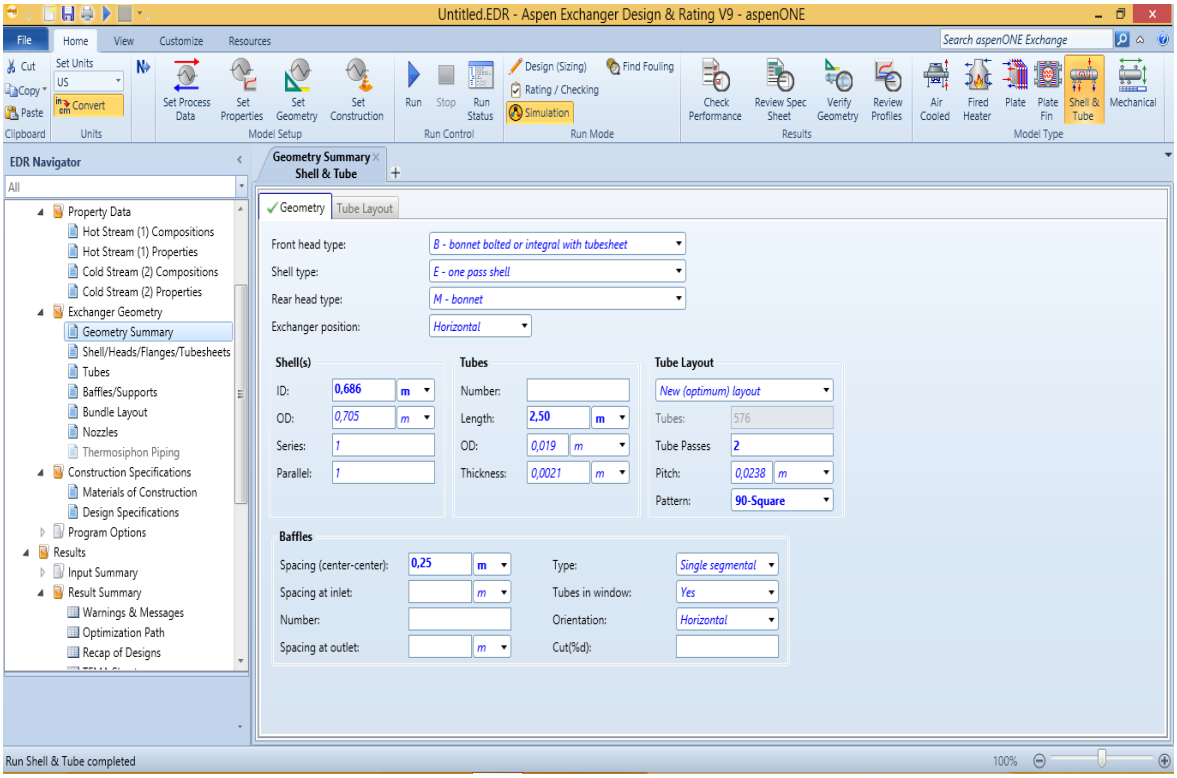


Figure III.4 : Définition de la géométrie de l'échangeur tubes et calandre.

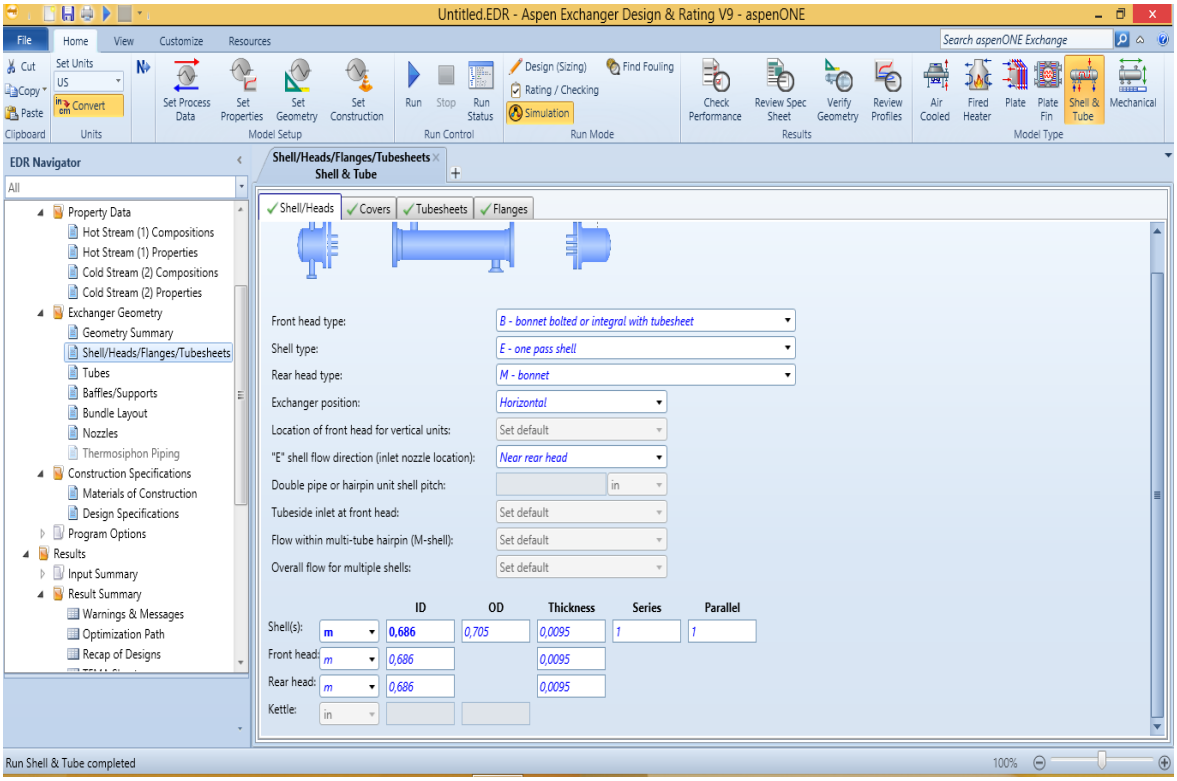


Fig.III.5 : Définition de la construction de l'échangeur tubes et calandre.

Partie 2 : Résultats et discussion

III.2.1 L'échangeurs à plaques :

L'évolution des températures le long de l'échangeur de chaleur est illustrée sur la Figure III.6. Notant cette évolution correspond au contre courant. La température de sortie de l'huile (fluide chaud) est de 68.89°C et celle de l'eau (fluide froid) est de 67.25°C comme illustré sur la Figure III.6 et noté également sur le fichier résultat de la simulation Figure III.7.

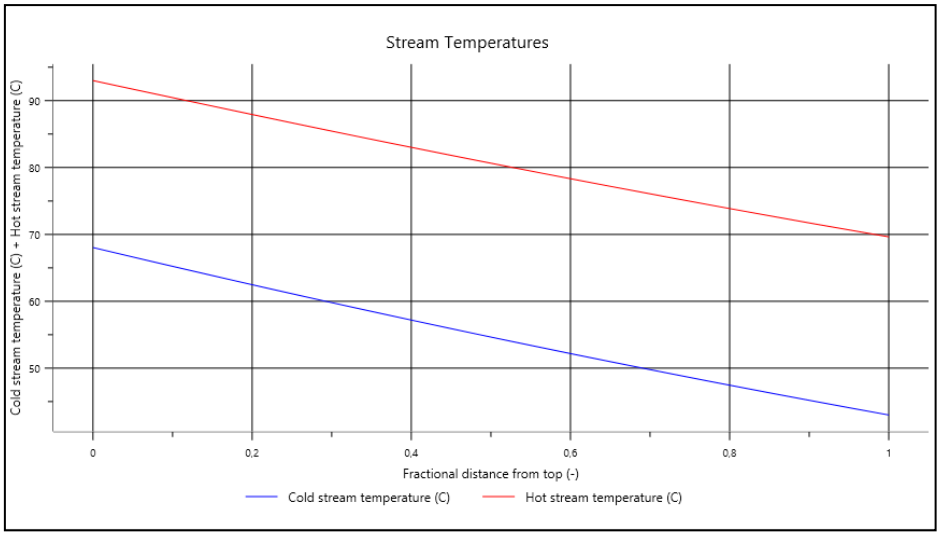


Figure III.6 : Evolution des températures dans l'échangeur de chaleur à plaques.

Plate Heat Exchanger Specification Sheet

1	Company:					
2	Location:					
3	Service of Unit:	Our Reference:				
4	Item No.:	Your Reference:				
5	Date:	Rev No.:	Job No.:			
6	**CASE**		**HOT SIDE**		**COLD SIDE**	
7	Fluid		oil		water	
8	Total flow	kg/s	6,3		2,3	
9	Flow per PHE	kg/s	6,3		2,3	
10	Pressure drop (allow./calc.)	bar	1,2 / 5,88603		1,2 / 0,56541	
11	Velocity between plates	m/s	0,96		0,35	
12	Wall shear stress	N/m²	708,91		71,43	
13	Fouling margin	%				
14	**OPERATING DATA**		**INLET**	**OUTLET**	**INLET**	**OUTLET**
15	Liquid flow	kg/s	6,3	6,3	2,3	2,3
16	Vapor flow	kg/s	0	0	0	0
17	Operating temperature	°C	93	68,89	43	67,25
18	Operating pressure	bar	12	6,11397	12	11,43459
19	**LIQUID PROPERTIES**					
20	Density	kg/m³	957,32	972,39	976,51	952,3
21	Specific heat	kJ/(kg-K)	1,695	1,622	4,523	4,541
22	Viscosity	mPa-s	4,8335	11,1412	0,6343	0,4246
23	Thermal conductivity	W/(m-K)	0,1137	0,1149	0,6295	0,6543
24	Surface tension	N/m	0,0323	0,0344	0,0337	0,0307
25	**VAPOR PROPERTIES**					

26	Density	kg/m³				
27	Specific heat	kJ/(kg-K)				
28	Viscosity	mPa-s				
29	Thermal conductivity	W/(m-K)				
30	Relative molecular mass					
31	Dew point / bubble point	°C	/		/	
32	Latent heat	kJ/kg				
33	Critical pressure	bar	24,3			
34	Critical temperature	°C	569			
35	Total heat exchanged	kW	252,5			
36	Overall coefficient (UA)	W/(m²-K)	Clean condition:	2013	Service:	2013
37	LMTD / Effective MTD	°C	25,82	/	25,92	
38	Heat transfer area	m²	4,8			
39	Stream heat transfer coeff.	W/(m²-K)	2443		17791,9	

40	**CONFIGURATION FOR EXCHANGER AND PLATE DETAILS**					
41	Number of PHE in parallel		1	Heat transfer area/PHE	m²	4,8
42	Number of passes, hot side		1	Heat transfer area/plate	m²	0,44
43	Number of passes, cold side		1	Plate chevron angles(s)	Degrees	
44	Number of plates per PHE		13	Nominal plate thickness	mm	0,5
45				Nominal plate gap	mm	3,3
46	Mass empty / full of water	kg	24,1	/	41,4	
47	Remarks:					

Figure III.7 : Résultats de la simulation dans le cas de l'échangeur de chaleur à plaques.

Une comparaison entre les résultats de la simulation (avec le logiciel ASPEN HYSIS) et les résultats de calcul réel a été effectuée, le Tableau III.1 regroupe cette comparaison.

Tableau III.1 : Comparaison entre les résultats (simulation et cas réel) de l'échangeur à plaques.

	Résultats de simulation	Résultats réels
La température de sortie du fluide chaud (°C)	68,89	67
La température de sortie du fluide froid (°C)	67,25	67
ΔTLM (°C)	25,82	24,99
Le flux de chaleur échangé(KW)	252.5	252.09

D'après les résultats du Tableau III.1, on constate que les résultats sont similaires pour la température de sortie du fluide chaud, celle du fluide froid, la variation de la température logarithmique moyenne et le flux de chaleur. On a une différence entre les résultats de la simulation et les résultats réels de 1,89°C pour la température de sortie du fluide chaud, 0,25°C pour la température de sortie du fluide froid, 0,83°C pour la variation de température logarithmique moyenne ΔTLM et 0,41KW. Donc, on peut dire que la simulation de l'échangeur à plaques est en bon accord avec les résultats réels.

Les résultats du calcul réels sont regroupés en ANNAXE 4 (cas de l'échangeur à plaques).

III.2.2 L'échangeur tubes et calandre

Dans ce cas, l'évolution des températures le long de l'échangeur de chaleur tubes et calandre est illustrée sur la Figure III.8. La température de sortie de l'huile (fluide chaud) est de 68.83°C et celle de l'eau (fluide froid) est de 67.24°C comme illustré sur la Figure III.8 et noté également sur le fichier résultat de la simulation Figure III.9. La ligne rouge illustre l'évolution de la température de l'huile, la ligne bleue représente l'évolution de la température de l'eau. On constate dans ce cas deux lignes, la première (en bas) c'est la première passe et la deuxième c'est la deuxième passe dans la calandre. Ce deuxième passage permet d'augmenter la température de sortie du fluide froid comme noté sur la Figure III.8.

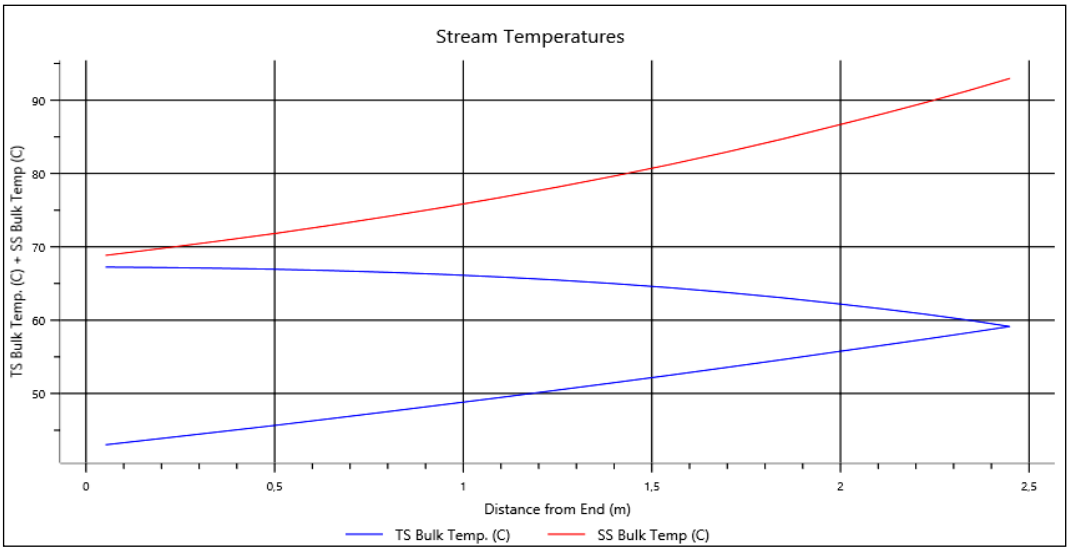


Figure III.8 : Evolution des températures dans l'échangeur de chaleur tubes et calandre.

La comparaison entre les résultats de la simulation (avec le logiciel ASPEN HYSYS) et les résultats de calcul réel a été effectuée comme illustré sur le Tableau III.2.

Les résultats du calcul réels sont regroupés en ANNAXE 4 (cas de l'échangeur tubes et calandre). On remarque que les résultats de calcul et ceux de la simulation sont similaires, les résultats de la simulation des températures de sorties des deux fluides chaud et froid avec une variation de 1.83 °C et 0.24°C respectivement.

TEMA Sheet

Heat Exchanger Specification Sheet

1	Company:							
2	Location:							
3	Service of Unit:		Our Reference:					
4	Item No.:		Your Reference:					
5	Date:	Rev No.:	Job No.:					
6	Size : 0,6858 - 2,5 m	Type: BEM	Horizontal	Connected in: 1 parallel 1 series				
7	Surf/unit(eff.) 82,8 m²	Shells/unit 1	Surf/shell(eff.) 82,8 m²					
8	**PERFORMANCE OF ONE UNIT**							
9	Fluid allocation		Shell Side		Tube Side			
10	Fluid name		oil		water			
11	Fluid quantity, Total	kg/s	6,3		2,3			
12	Vapor (In/Out)	kg/s	0	0	0	0		
13	Liquid	kg/s	6,3	6,3	2,3	2,3		
14	Noncondensable	kg/s	0	0	0	0		
15								
16	Temperature (In/Out)	°C	93	68,83	43	67,24		
17	Dew / Bubble point	°C						
18	Density Vapor/Liquid	kg/m³	/ 957,32	/ 972,43	/ 976,51	/ 952,3		
19	Viscosity	mPa-s	/ 4,8335	/ 11,1693	/ 0,6343	/ 0,4246		
20	Molecular wt, Vap							
21	Molecular wt, NC							
22	Specific heat	kJ/(kg-K)	/ 1,695	/ 1,622	/ 4,523	/ 4,54		
23	Thermal conductivity	W/(m-K)	/ 0,1137	/ 0,1149	/ 0,6295	/ 0,6543		
24	Latent heat	kJ/kg						
25	Pressure (abs)	bar	12	11,9682	12	11,95362		
26	Velocity (Mean/Max)	m/s	0,16 / 0,2		0,05 / 0,05			
27	Pressure drop, allow./calc.	bar	0,25855	0,0318	0,49987	0,04638		
28	Fouling resistance (min)	m²-K/W	0		0	0 Ao based		
29	Heat exchanged 252,6	kW	MTD (corrected) 21,7	°C				
30	Transfer rate, Service 140,6	Dirty 140,7	Clean 140,7	W/(m²-K)				

31	**CONSTRUCTION OF ONE SHELL**						**Sketch**	
32			Shell Side		Tube Side			
33	Design/Vacuum/test pressure	bar	13,78952/ /		13,78952/ /			
34	Design temperature	°C	132,22		132,22			
35	Number passes per shell		1		2			
36	Corrosion allowance	m	0,0032		0,0032			
37	Connections	In m	1 0,0762 / -		1 0,0318 / -			
38	Size/Rating	Out	1 0,0762 / -		1 0,0318 / -			
39	Nominal	Intermediate	/ -		/ -			
40	Tube No. 576 OD 0,019 Tks Average 0,0021 m Length 2,5 m Pitch 0,0238 m							
41	Tube type Plain #/m Material Carbon Steel						Tube pattern 90	
42	Shell Carbon Steel ID 0,686 OD 0,705 m						Shell cover -	
43	Channel or bonnet Carbon Steel						Channel cover -	
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel -						Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover -						Impingement protection None	
46	Baffle-cross Carbon Steel Type Single segmental Cut(%d) 24,66 H Spacing: c/c 0,25 m							
47	Baffle-long - Seal Type						Inlet 0,4508 m	
48	Supports-tube U-bend 0 Type							
49	Bypass seal Tube-tubesheet joint Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')							
50	Expansion joint - Type None							
51	RhoV2-Inlet nozzle 1823 Bundle entrance 33 Bundle exit 32 kg/(m-s²)							
52	Gaskets - Shell side - Tube side Flat Metal Jacket Fibe							
53	Floating head -							
54	Code requirements ASME Code Sec VIII Div 1 TEMA class R - refinery service							
55	Weight/Shell 2442,2 Filled with water 3369 Bundle 1572,2 kg							
56	Remarks							
57								
58								

Figure III.9 : Résultats de la simulation dans le cas de l'échangeur de chaleur tubes et calandre.

Tableau III.2 : Comparaison entre les résultats (simulation et cas réel) de l'échangeur tubes et calandre.

	Résultats de simulation	Résultats réels
La température de sortie du fluide chaud (°C)	68.83	67
La température de sortie du fluide froid (°C)	67.24	67
ΔTLM corrigée (°C)	21.7	21.12
Le flux de chaleur échangé(KW)	252.6	252.09
La surface totale d'échange (m^2)	82.8	84.83
Le nombre de tubes	576	576

Logarithmique moyenne corrigée qui présente une différence de 0.58.

Le flux de chaleur échangé entre les deux fluides présente une différence de 0.51 KW et la surface d'échange totale signale une différence de 2.03 m^2 comme illustré sur le tableau III.2.

Le nombre de tube est similaire entre les calculs et la simulation. Donc, on peut dire qu'il existe une grande concordance entre la simulation et le calcul la simulation dans l'échangeur à plaques est en bon accord avec les résultats réels.

III.2.3 Comparaison entre l'échangeur à plaque et l'échangeur tubes et calandre

Les températures de sortie par simulation et par calcul des deux fluides chaud et froid dans les deux cas ; échangeur à plaques et tubes et calandre sont similaires (68.89 °C - 68.83°C et 67.25 °C – 67.24°C). Par contre on enregistre une grande différence entre ces deux types d'échangeur dans la surface d'échange, elle présente une valeur de 4.84 m^2 pour l'échangeur à plaques et 84.83 m^2 pour l'échangeur tubes et calandre, ce qui correspond à une différence de 79.07 m^2. Donc l'échangeur tubes et calandre occupe plus d'espace que l'échangeur à plaques pour avoir les températures et le flux de chaleur demandés.

Conclusion

L'étude faite durant ce chapitre nous permet de retenir les points suivants :

- Le logiciel de simulation Aspen HYSYS est un logiciel de simulation très puissant dans la simulation des échangeurs de chaleurs,
- Les résultats de simulation de l'échangeur à plaques de type GXD-042P.MFG avec le logiciel Aspen HYSYS sont similaires aux résultats réels,
- Les résultats de simulation de l'échangeur tubes et calandre avec le logiciel Aspen HYSYS sont similaires aux résultats réels (les températures de sorties des deux fluides, le flux de chaleur échangé), mais il présente une grande surface d'échange donc il occupe plus d'espace que l'échangeur à plaques.