



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem**

**Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES**



**N° d'ordre : M2..../GC/2019**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE**

**Filière : Génie des procédés**

**Option: Génie Chimique**

### **Thème**

**ÉTUDE DE L'OPPORTUNITE DU REMPLACEMENT DU  
REFROIDISSEUR DE LA GAZOLINE E758/GL1Z PAR UN  
ECHANGEUR FAISCEAU/CALANDRE**

Présenté par

- 1- GHARBI Malika
- 2- FEGHOUL Dehiba

Soutenu le 08/07/ 2019 devant le jury composé de :

Président :	ZITOUNI Ali	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	MAHREZ Nouria	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	CHERID Samira	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019



# Remerciements

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

**Nous adressons nos vifs remerciements à nos encadreur Mr Khaldi Mostapha et Bouamra, pour leurs compréhensions, leurs patiences, leurs remarques qui ont été précieuses et leurs soutiens dans des moments très difficiles.**

**Nos plus sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de production qui nous ont aidé, conseillé et guidé afin de finaliser se présent mémoire dans de bonnes conditions.**

**Sans oublier de remercier l'ensemble du personnels de complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/Z de BETHIOUA pour leurs encouragements.**

**Ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidés de prés ou de loin.**

**Nous remercions également les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.**

## ***SOMMAIRE***

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE.....</b>	<b>2</b>
<b>PROBLÉMATIQUE.....</b>	<b>3</b>

### **CHAPITRE I**

#### **PRÉSENTATION DU COMPLEXE GL1/Z ET GÉNÉRALITÉS SUR LE GAZ NATUREL**

I.1. Introduction.....	5
I.2. Présentation du complexe GL1/Z.....	5
I.3. Organisation du complexe GL1/Z.....	7
I.4. Description du complexe GL1/Z.....	9
I.5. Généralité sur le gaz naturel.....	13
I.6. Description du procédé.....	16
I.7. Section de traitement de gaz.....	17
I.8. Section de séparation.....	19
I.9. Section liquéfaction.....	20
I.10. Section fractionnement.....	23
I.11. Section compression.....	24

### **CHAPITRE II**

#### **NOTIONS D'ÉCHANGEURS ET DESCRIPTION GÉNÉRALE**

II.1. Introduction.....	32
II.2. Définition.....	32
II.3. Critères de classement des échangeurs.....	33

II.4. Echangeurs à tubes.....	35
II.5. Configuration d'écoulement dans les échangeurs.....	38
II.6. Echangeurs tubulaires à faisceau et calandre.....	40
II.7. Echangeur à tête flottante (types AES).....	41

### **CHAPITRE III**

#### **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

III.1. Introduction.....	42
III.2. Bilan thermique.....	43
III.3. Calcul de la température de sortie du fluide froid.....	43
III.4. Calcul de l'écart logarithmique de température.....	43
III.5. Calcul du nombre de passes côté calandre.....	44
III.6. Interprétation des résultats.....	49

<b>CONCLUSION.....</b>	<b>51</b>
------------------------	-----------

<b>RECOMMANDATION.....</b>	<b>52</b>
----------------------------	-----------

#### **ANNEXES**

#### **BIBLIOGRAPHIE**

## Liste des tableaux

**Tableau I.1** : Composition chimique du gaz naturel.

**Tableau I.2** : Composition molaire du MCR.

**Tableau I.3** : Composition du GNL.

**Tableau I.4** : Conditions de stockage du GNL.

**Tableau II.1** : Caractéristiques physiques des deux fluides circulant dans l'échangeur.

## Liste des figures

- Figure I-1** : Organisation du complexe GL1/Z .
- Figure I.2** : Schéma bloc générale du complexe GL1/Z.
- Figure I.3** : Répartition de l'utilisation du gaz naturel.
- Figure I.4** : Schéma de section dècarbonatation.
- Figure I.5** : Schéma de la section dèshydratation.
- Figure I.6** : Schéma de la section de la sèparation.
- Figure I.7** : Schéma de la section de liquèfaction.
- Figure I.8** : Schéma de la section de fractionnement.
- Figure I.9** : Schéma de la boucle propane.
- Figure I.10** : Schéma du circuit MCR.
- Figure I.11** : Gènèral du procédè de liquèfaction du gaz.
- Figure II.1** : Comparaison un èchangeur compact et un èchangeur non-compact.
- Figure II.2** : Echangeur à faiceau-calandre.
- Figure II.3** : Echangeur à tubes ailetès.
- Figure II.4** : Echangeur à faiceau-calandre.
- Figure II.5** : Ecoulement à co-courant et à contre-courant.
- Figure II.6** : Ecoulement à courant croisé.
- Figure II.7** : Comportement de la vapeur et liquide dans un èchangeur.
- Figure II.8** : Echangeur faisceau-calandre 1-2 [19].

## Liste des annexes

**Annexe 1** : Caractéristique du (E.758).

**Annexe 2** : Composition chimique de la gazoline transférée a la sphère du stockage.

**Annexe 3** : Fiche technique GL1/Z.

**Annexe 4** : Coefficient de transfert et de friction en fonction du nombre de Re à l'extérieur des tubes.

**Annexe 5** : Facteur de correction F pour un appereil (1-2).

**Annexe 6** : Coefficients de transfert sale Us.

**Annexe 7** : Caractéristique des tubes d'échangeurs.

**Annexe 8** : Caractéristique géométriques des tubes d'échangeur.

**Annexe 9** : Valeurs de la résistance d'encrassement.

**Annexe 10** : Vue générale du complexe GL1Z et l'emplacement de l'échangeur.

# Liste des abréviations

<b>Paramètre</b>	<b>Identification</b>	<b>Unité</b>
T1	Température d'entrée du fluide chaud	°C
T2	Température de sortie du fluide chaud	°C
t 1	Température d'entrée du fluide froid	°C
t 2	Température de sortie du fluide froid	°C
M	Débit massique du fluide chaud	Kg/h
m	Débit massique du fluide froid	Kg/h
DTLM	Différence des températures moyennes logarithmiques	°C
$\lambda$	Conductivité thermique	W/m °C
$\mu$	Viscosité	Kg/m h
$\rho$	Masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
Cp	Chaleur spécifique	KJ/kg°C
BWG	Epaisseur	mm
L	Longueur des tubes	mm
do	Diamètre extérieur des tubes	mm
di	Diamètre intérieur des tubes	mm
P	Pas entre chicanes	mm
nc	Nombre de passes coté calandre	/
nt	Nombre de passes coté tube	/
De	Diamètre équivalent	mm
Dc	Diamètre de la calandre	mm
Nt	Nombre total des tubes (calculé)	/
Nt'	Nombre total des tubes (vérifié)	/
B	Espacement entre chicanes	mm
Nc	Nombre de chicanes	mm
Us	Coefficient de transfert sale	W/m <sup>2</sup> °C

A'	Surface d'échange	m <sup>2</sup>
Tc	Température calorique coté calandre	°C
tc	Température calorique coté tube	°C
Tt	Température du tube	°C
at	Section de passage coté tube	m <sup>2</sup>
Gt	Vitesse massique coté tube	Kg/m <sup>2</sup> s
Ret	Nombre de Reynolds coté tube	/
Jh	Facteur de Colburn	/
φt	Facteur correctif des viscosités coté tube	/
φc	Facteur correctif des viscosités coté calandre	/
hi	Coefficient de transfert de chaleur coté tube	W/m <sup>2</sup> °C
hio	Coefficient de transfert de chaleur coté tube	W/m <sup>2</sup> °C
act	Section de passage coté calandre	m <sup>2</sup>
Gct	Vitesse massique coté calandre	Kg/m <sup>2</sup> s
Rect	Nombre de Reynolds coté calandre	/
ho	Coefficient de transfert de chaleur coté calandre	W/m <sup>2</sup> °C
Up	Coefficient de transfert global propre	W/m <sup>2</sup> °C
Rs	Résistance d'encrassement	m <sup>2</sup> °C/W
ft	Facteur de friction	/
Δpt	Pertes de charges coté tube	bar
Δpc	Pertes de charges coté calandre	bar
MCR	Multi Composant Réfrigérant	
MEA	Mono-éthanol-amine	

# Résumé

Le présent mémoire est préparé à l'occasion de notre stage MSP au sein du complexe GL1Z. Malgré les travaux de rénovation en 1995 on rencontre encore quelques problèmes dans les échangeurs de chaleur, comme ceux qui sont enregistrés au niveau des refroidisseurs E758 (échangeur serpentin à double tubes concentriques). Il existe dans chacun des 6 trains un refroidisseur des produits de fond de la colonne débutaniseur appelé Gazoline C5+. Ces derniers ont pour rôle de refroidir la C5+ venu du fond de E751 à la température de voisinage 103°C, et elle est envoyée par la suite vers la sphère de stockage à la température de 32°C.

La corrosion causée par l'agressivité de l'eau de mer et le vieillissement des refroidisseurs E758 sont à l'origine du problème de la perforation répétitif des manchettes. Par conséquent, le cout des maintenances revient très cher. Il est impératif de remédier à ses endommagements. Notre étude vise à proposer une solution afin de minimiser la fréquence des arrêts et le coût d'entretien et de maintenance. En outre, de protéger l'environnement marin par la résolution du problème de contamination des rejets d'eau par la gazoline. Nous avons choisi d'étudier l'opportunité de substituer l'échangeur E758 par un échangeur faisceau/ calandre. L'autre intérêt de notre travail est d'apporter un perfectionnement des connaissances relatives au choix, à la technologie et à l'exploitation des échangeurs de chaleur en soulignant une application pratique.

Un programme de calcul thermique a été élaboré sur «Excel» rapporté à la méthode de KERN. Nos résultats ont été validé vis-à-vis la littérature précédente. Ce travail nous a permet de conclure qu'ils sont raisonnablement justes, et confirme la faisabilité du projet. À l'issue de ce travail, on note que le choix d'un échangeur de chaleur, dépend de nombreux paramètres. Un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien exploité nous permet un gain d'efficacité énergétique et économique.

## Les mots clés :

Échangeur, La corrosion, la colonne débutaniseur, calcul thermique, efficacité énergétique.



*INTRODUCTION GENERALE  
& PROBLEMATIQUE*



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'énergie occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. La science et les progrès techniques ont permis à l'homme de découvrir de nouvelles ressources d'énergie, à savoir tous les produits à vocation énergétique tels que, le pétrole et le gaz naturel, qui sont les seuls capables de répondre à l'accroissement des besoins énergétiques. Face au pétrole, le gaz est apparu comme une forme d'énergie difficile à mettre en oeuvre, tout particulièrement en raison du poids des investissements et des coûts de transport jusqu'au consommateur. L'intérêt croissant pour le gaz naturel vient du fait que celui-ci est choisi pour sa souplesse d'utilisation, sa propreté et son abondance. L'Algérie est un pays exportateur de gaz naturel, notamment, par le biais de la GNL de la SONATRACH d'Arzew. Cette dernière joue un rôle important dans l'économie Algérienne. Le transfert de chaleur est une science de base qui traite les phénomènes de l'échange thermo-énergétique par trois modes distincts : convection, conduction, et rayonnement.

Dans la pratique, la compréhension des mécanismes du transfert thermique joue un rôle décisif dans le design des appareils industriels d'échange de chaleur.

L'échangeur de chaleur est un élément déterminant dans tout système de maîtrise de l'énergie. En effet, une grande part de l'énergie utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur. On rencontre les échangeurs dans plusieurs secteurs de l'industrie ainsi que dans le secteur résidentiel et le secteur du transport. L'apparition sur le marché de nouveaux matériels de transmission de l'énergie, les contraintes imposées par les normes de qualité et le respect de l'environnement amènent les décideurs à considérer l'échangeur de chaleur comme une

technologie à part entière et à en confier son exploitation à des spécialistes capables de gérer l'ensemble de ces paramètres. Les dépenses thermo-énergétiques au niveau d'une unité industrielle sont énormes et il est indispensable de récupérer cette énergie pour l'utiliser au mieux dans la chaîne de fabrication. En outre, les défis de l'économie et la révolution de miniaturisation qui s'étaient imposée durant les années 70, existent toujours; en fait, ils font un retour fort. Par conséquence, les acteurs de ce domaine sont appelés à apporter de nouvelles idées. Plusieurs méthodes de design des appareils d'échange de chaleur ont été développées. Pour chaque application particulière, il faut choisir la méthode appropriée qui tient compte de tous les paramètres (surface d'échange, poids de l'appareil, économie, etc.). Malgré le développement technologique, L'exploitation des échangeurs se heurte à des contraintes d'exploitation majeures

et l'optimisation de l'architecture d'un échangeur pour le faire adapter dans un volume fini sous leurs conditions de service reste la force directrice de plusieurs travaux.

## **PROBLEMATIQUE**

Le présent mémoire est préparé à l'occasion de notre stage MSP au sein du complexe GL1Z.

Le procédé de liquéfaction du gaz naturel exige plusieurs refroidisseurs qui véhiculent des fluides réfrigérants. Malgré les travaux de rénovation en 1995 on rencontre aujourd'hui encore quelques problèmes dans ces équipements, comme, par exemple, ceux qui sont enregistrés au niveau des refroidisseurs E758 (un échangeur serpentin à double tubes concentriques. voir Annexe 1).

Il existe dans chacun des six trains de procédé, un refroidisseur des produits de fond de la colonne du débutaniseur au niveau de la section de fractionnement appelé Gazoline (C5+). Ces derniers ont pour rôle de refroidir la gazoline venue du fond du débutaniseur F751 à une température au voisinage de 103°C, et elle est envoyée par la suite via un réseau de collecte entre les six trains vers la sphère de stockage à la température au voisinage de 32°C. La corrosion causée par l'agressivité de l'eau de mer et le vieillissement des refroidisseurs E758 sont à l'origine du problème de la perforation répétitive des manchettes [1]. Vu l'importance du rôle de ces refroidisseurs, il est impératif, pour notre cas, d'étudier et remédier à ces endommagements fréquents. Il est utile de rappeler que le problème n'est pas encore résolu par les ingénieurs de GL1Z et à ce jour toutes les interventions enregistrées sont d'ordre palliatif seulement. Par conséquent, le coût de la maintenance et du remplacement des pièces corrodées revient très cher. Notre travail consiste à étudier l'opportunité de remplacer le refroidisseur E758 actuel par un nouveau de type faisceau-calandre.

## **OBJECTIF**

Suite à l'identification des différentes causes de dysfonctionnement de l'échangeur E758 qui sont autant d'ordre conceptuel que dues à son exploitation (non-respect des modes opératoires ou un manque de maintenance), et en prenant en compte, les recommandations citées dans le travail de Mrs Boucif et Krim [1], notre étude justement vise à proposer une solution adéquate afin de :

- Minimiser la fréquence des arrêts, ainsi que le coût d'entretien et de maintenance.

- Respecter les conditions de stockage de la gazoline qui peuvent engendrer des problèmes sur la sphère de stockage en cas d'augmentation de température.
- Protéger l'environnement marin par la résolution du problème de contamination des rejets d'eau par la gazoline.

Dans cet ordre d'idées, nous avons choisi, dans le présent travail d'étudier l'opportunité de substituer l'échangeur de la gazoline par l'eau de mer (E758) par un échangeur faisceau/ calandre. L'autre intérêt de notre étude est d'apporter un perfectionnement des connaissances relatives au choix, à la technologie et à l'exploitation des échangeurs de chaleur en soulignant une application pratique.



# *CHAPITRE I*

*PRESENTATION DU COMPLEXE  $GL_1/Z$*

*ET*

*GÉNÉRALITÉS SUR LE GAZNATUREL*





## *CHAPITRE II*

*NOTIONS D'ÉCHANGEURS ET  
DESCRIPTION GÉNÉRALE*



*CHAPITRE III*

*RESULTATS ET DISCUSSION*



*CONCLUSION*

# conclusion

Ce modeste travail nous a permis de comprendre le fonctionnement des échangeurs dans les différentes phases d'exploitation, et être en mesure de définir les éléments indispensables au dimensionnement et au choix.

Avant de présenter les résultats de cette étude, il a été jugé nécessaire d'effectuer une étude bibliographique, à travers laquelle on pouvait dans un premier temps définir et cerner les caractéristiques essentielles des différentes configurations d'un échangeur de chaleur notamment les échangeurs tubulaires.

Comme toute conception industrielle, l'échangeur de chaleur rencontre des problèmes de fonctionnement. Du fait d'un encrassement important et de perforation, les performances des réfrigérants E758 de type monotube s'en trouvent régulièrement fortement affectées. Le contenu de ce travail consiste à proposer l'étude de l'opportunité de substituer les six échangeurs de chaleur E758 actuels par un seul échangeur de chaleur de type tube / calandre.

L'objectif principal du présent travail est donc éliminer ces problèmes rencontrés qu'on vient de citer. Pour réaliser la présente étude, un programme de calcul thermique rapporté à la méthode de KERN. Ce programme permet de dimensionner et de vérifier les performances de l'appareil commutant.

Il doit être soulignée que nos résultats ont été validés vis-à-vis la littérature précédente. Ce nous a permis de conclure que nos résultats sont raisonnablement justes, et confirme la faisabilité du projet. Il est utile de rappeler que notre étude traite tous les points qui lui sont liés comme le volet économique, l'espace d'emplacement et le choix de l'appareil. D'abord, nous avons essayé en premier lieu de définir les différents éléments de calcul thermique de l'échangeur. La méthode de calcul exposée précédemment montre que l'on doit se fixer a priori les caractéristiques géométriques d'un appareil offrant une surface compatible avec le transfert envisagé. Et fixer en outre, l'emplacement des fluides, (intérieur / extérieur des tubes) , ce dernier doit prendre en considération la nature des produits et la possibilité de nettoyage, en plaçant à l'intérieur des tubes le fluide le plus corrosif et le plus sale.

À l'issue de ce travail, on note que le choix d'un échangeur de chaleur, dépend de nombreux paramètres tels que la température, la pression de service, propriétés physiques, agressivité des fluides, maintenance et les considérations économiques. Un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien exploité nous permet un gain d'efficacité énergétique et économique.

# *RECOMMANDATION*

Afin de compléter la présente étude, on propose quelques recommandations. Ce travail s'est concentré sur le dimensionnement thermique, Or il peut être prolongé au dimensionnement mécanique.

On a assumé que les propriétés thermo-physiques sont indépendantes de température, Cette prétention mène à simplifier l'application des équations, mais en même temps elles limitent l'exactitude des résultats. Par conséquent il est préférable d'élaborer le calcul thermique pour une dépendance entière des paramètres. Le travail actuel est limité aux quelques cas, il est souhaitable de voir l'influence d'autres paramètres tels que la longueur des tubes et le nombre de passe, etc. On pouvait aussi perturber les données de l'entrée et de la sortie de l'échangeur afin de pouvoir répondre au changement du process.

Une étude comparative technico-économique détaillée entre l'échangeur actuel, l'échangeur commutant du présent travail et un aéro-réfrigérant approprié est nécessaire pour une meilleure vision afin d'évaluer la rentabilité du projet. Aussi une étude économique détaillée est manquante dans notre travail à cause de la limitation de temps et de données.

## Facteurs de conversion

<b>Longueurs</b>	<b>Cm</b>	<b>m</b>	<b>inch</b>	<b>ft</b>
1 centimètre	1	0.01	0.3937	0.03281
1 mètre	100	1	39.37	3.2808
1 inch	2.54	0.0254	1	0.08333
1 foot (pied)	30.48	0.3048	12	1

<b>Pression</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Bar</b>	<b>Atm</b>	<b>Psi</b>	<b>Psf</b>
1 Kg/cm <sup>2</sup>	1	0.981	0.9678	14.22	2048
1 Bar	1.0197	1	0.987	14.50	2088
1 atmosphère	1.033	1.013	1	14.70	2116

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Manuel opératoire du procédé de liquéfaction du complexe GL1/Z.
- [2] Formation IAP 2014.
- [3] P ,Wuithier , raffinage et génie chimique ,tome II ,1972.
- [4] [www.techno-science.net](http://www.techno-science.net).
- [5] Manuel de formation de base département formation ,complexe GL1/Z.
- [7] Formation d'ingénieur ,bloc 11 , module 03 , fractionnement GL1/Z 8/12/1992.
- [8] Gaz naturel production traitement –transport <<**Alexandre ROJEY Editios Technique 1994**>>.
- [9] Echangeur de chaleur, INGM. Boumerdès 2007.

## ANNEXES

### Annexe 1

Caractéristique du (E.758)

	Tube	Calandre
Fluide	Eau de mer	Essence
Nature du métal (tube ailette)	Aluminium-bronze	Cuivre
Longueur	/	/
Epaisseur (Inch)	0.109	0.024
Diamètre (Inch)	2.37	4.5
Débit (kg/m <sup>3</sup> )	30840	5065
Pression (Psi)	75	100
Température (°F)	100	300
Perte de charge admissible (psi)	10.2	10.2

### Annexe 2

Composition chimique de la gazoline transférée à la sphère du stockage

Composition	Design		Gazoline transférée
	charge lourde % mol.	charge légère % mol.	% mol.
iC4	0,19	0,06	0.12
nC4	2,00	0,85	1.57
iC5	28,37	47,34	27.44
nC5	31,80	51,75	31.80
C6+	37,64	0,00	39.07
% Eau	< 0,10 ppm		<0.10 ppm
TVR (psi)	14 psi		11.8 psi
Densité	Kg/m <sup>3</sup>		0.660/15°C

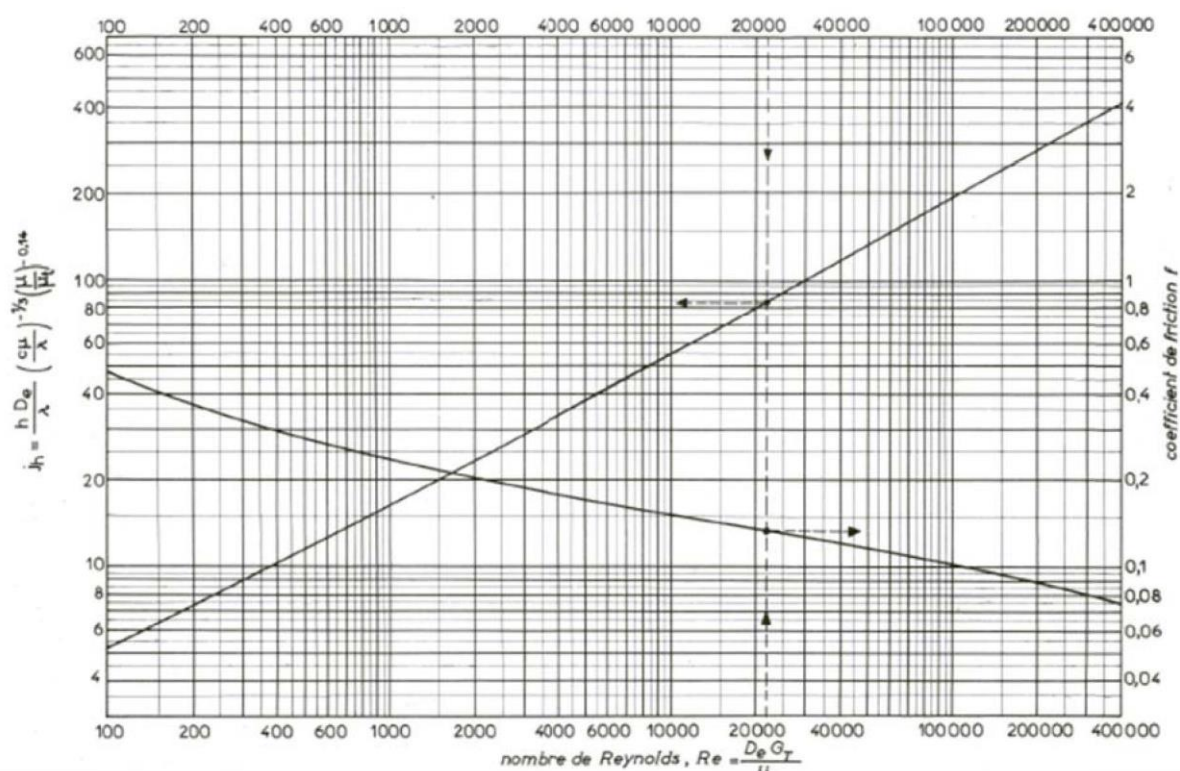
## Annexe 3

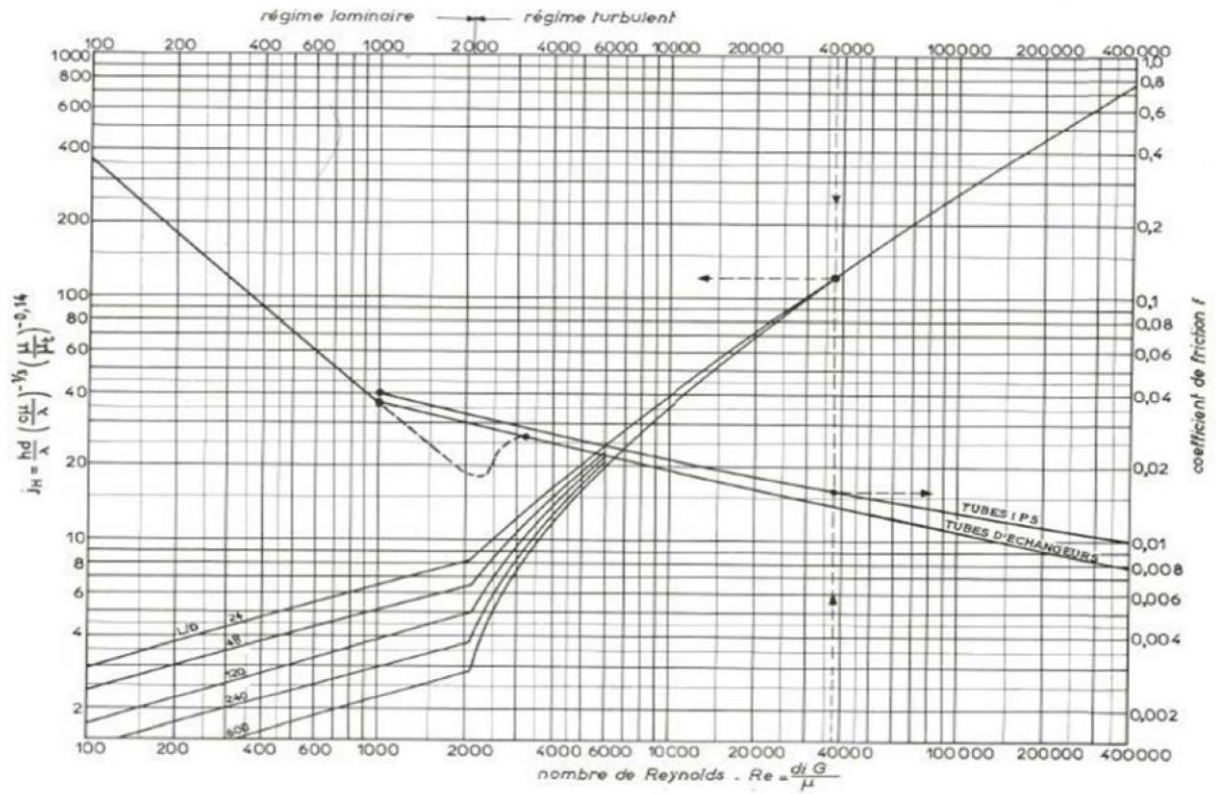
Fiche technique GL1Z:

- Début de construction : le 16 juin 1976.
- Superficie : 72 hectares.
- Construction par : Chemical construction incorporation et Bechtel Int.
- Date de démarrage, février 1978.
- Procédé : APCI (unités de liquéfactions indépendantes dont le Procédé APCI est de la firme Américaine Air Production and Chemicals Inc).
- Alimentation en gaz naturel : à partir de HASSI-R'MEL.
- Une zone de fabrication comprend six (6) trains.
- Capacité contractuelle installée : 17.6millions de mètres-cube de GNL par an.
- Trois (3) réservoirs de stockage de GNL d'une capacité total de 300.000m<sup>3</sup>.
- Débit de chargement 10.000m<sup>3</sup>/h du GNL.
- Température de stockage du produit GNL : -162°C.
- Aussi le complexe de liquéfactionGL1/Z comprend :
- Une zone de production d'énergie électrique.
- Quatre (4) unités de dessalement d'eau de mer.
- Des installations de production de vapeur.
- Deux (2) quais de chargement de GNL (gaz naturel liquéfié) pour des méthaniers de capacité de 125.000m<sup>3</sup> dont la durée de chargement est de dix (10) heures

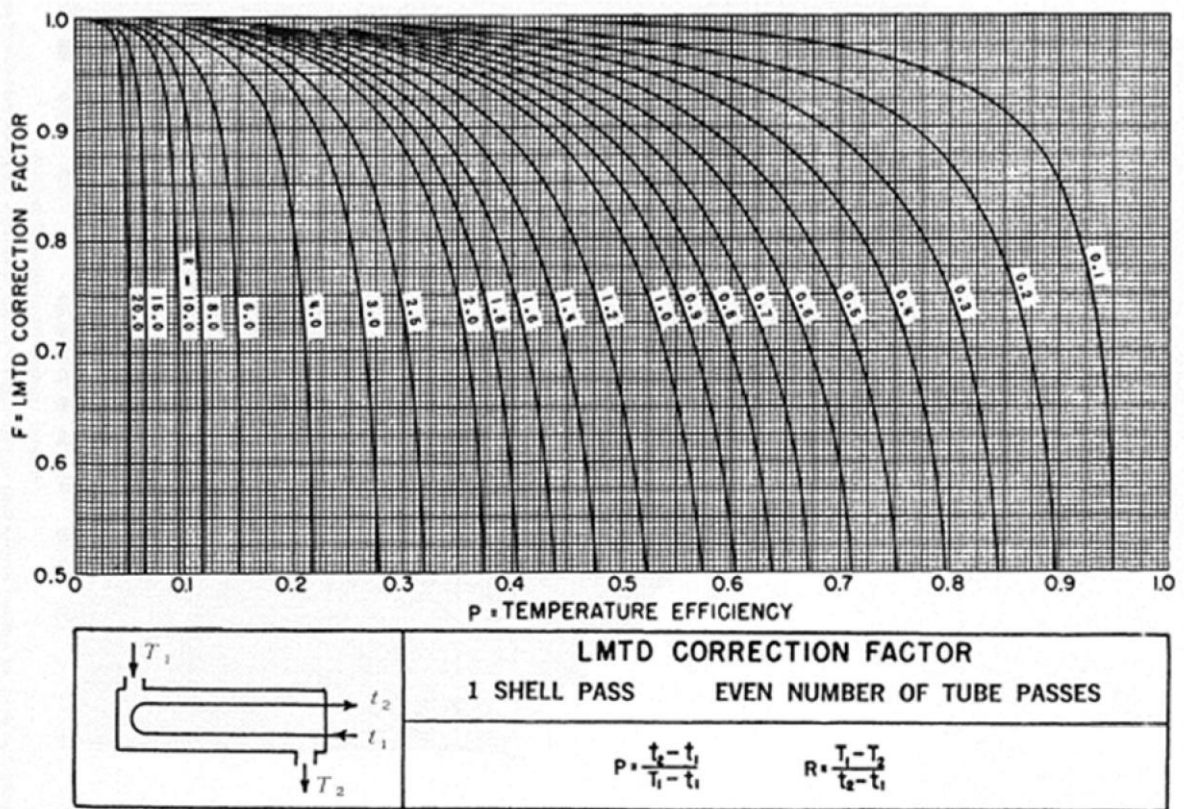
## Annexe 4

Coefficient de transfert et de friction en fonction du nombre de Re à l'extérieur des tubes.





Facteur de correction F pour un appareil (1-2)



Annexe 6

Coefficients de transfert sale Us

COEFFICIENTS DE TRANSFERT SALE Us'

ECHANGEURS		Us	
FLUIDE CHAUD	FLUIDE FROID	Kcal/hm <sup>2</sup> °C	BTU/hr.m <sup>2</sup> °F
Eau	Eau	1250 – 2500	250 – 500
Solutions aqueuses	Solutions aqueuses	1250 – 2500	250 – 500
Hydrocarbures légers <sup>(2)</sup>	Hydrocarbures légers	200 – 370	40 – 75
Hydrocarbures moyens <sup>(2)</sup>	Hydrocarbures moyens	100 – 300	20 – 60
Hydrocarbures lourds <sup>(2)</sup>	Hydrocarbures lourds	50 – 200	10 – 40
Hydrocarbures lourds	Hydrocarbures lourds	150 – 300	30 – 60
Hydrocarbures légers	Hydrocarbures légers	50 – 200	10 – 40
<b>REFRIGERANTS</b>			
Eau méthanol, ammoniacque et solutions queue	Eau	1 250 – 2500	250 – 500
Hydrocarbures légers	Eau	370 – 730	75 – 150
Hydrocarbures moyens	Eau	250 – 610	50 – 125
Hydrocarbures lourds	Eau	25 – 730	5 – 75
Gaz	Eau	10 – 250	2 – 50
Eau	Saumure	500 – 1000	100 – 200
Hydrocarbures légers	Saumure	200 – 500	40 – 100
<b>RECHAUFFEURS</b>			
Vapeur d'eau	Eau, méthanol, ammoniacque	1 000 – 3400	200 – 700
Vapeur d'eau	Solutions aqueuses : $\mu < 2\text{cpo}$	1 000 – 3400	200 – 700
	$\mu > 2\text{cpo}$	500 – 2500	100 – 500
Vapeur d'eau	Hydrocarbures légers	500 – 1 000	100 – 200
Vapeur d'eau	Hydrocarbures moyens	250 – 500	50 – 100
Vapeur d'eau	Hydrocarbures lourds	30 – 300	6 – 60
Vapeur d'eau	Gaz	25 – 250	5 – 50
Dowtherm	Gaz	20 – 200	4 – 40
Dowtherm	Hydrocarbures lourds	30 – 300	6 – 60

\* Remarques :

Ces valeurs de Us comprennent une résistance globale d'encrassement

$$R_s = 0,0006 \text{ h. m}^2 \cdot \text{°C} / \text{kcal} \text{ et correspondent à : } 0,35 \text{ kg/cm}^2 < \Delta P < 0,7 \text{ kg/cm}^2$$

- (2) Hydrocarbure légers  $\mu < 0,5 \text{ cpo}$  (ex. benzène, toluène, acétone, éthanol, MEK)
- (2) Hydrocarbure moyens  $0,5 \text{ cpo} < \mu < 1 \text{ cpo}$  (ex. kérosène, gasoil chaud, brut léger)
- (2) Hydrocarbure lourds  $\mu > 1 \text{ cpo}$  (ex. gasoil froid, huile, brut réduit, asphalte)

## Caractéristiques des tubes d'échangeurs

## Annexe 8

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES D'ÉCHANGEURS							
DIAMÈTRE EXTÉRIEUR (in et mm)	BWG	ÉPAISSEUR (mm)	DIAMÈTRE INTÉRIEUR (cm)	SECTION (cm <sup>2</sup> )	SURFACE (m <sup>2</sup> /m)		POIDS (kg/m)
					extérieure	intérieure	
1/2 in (12,7 mm)	14	2,10	0,848	0,565	0,0399	0,0266	0,600
	16	1,65	0,940	0,694			
	18	1,24	1,021	0,819			
3/4 in (19,05 mm)	10	3,40	1,224	1,177	0,0598	0,0384	1,436
	12	2,77	1,351	1,434			
	14	2,10	1,483	1,727			
	16	1,65	1,575	1,948			
	18	1,24	1,656	2,154			
1 in (25,4 mm)	10	3,40	1,859	2,714	0,0798	0,0584	2,024
	12	2,77	1,986	3,098			
	14	2,10	2,118	3,523			
	16	1,65	2,210	3,836			
	18	1,24	2,291	4,122			
1 1/4 in (31,75 mm)	10	3,40	2,494	4,885	0,0997	0,0783	2,604
	12	2,77	2,616	5,375			
	14	2,10	2,743	5,909			
	16	1,65	2,845	6,357			
	18	1,24	2,921	6,701			
1 1/2 in (38,1 mm)	10	3,40	3,124	7,665	0,1197	0,0981	3,185
	12	2,77	3,251	8,300			
	14	2,10	3,378	8,962			
	16	1,65	3,480	9,512			
	18	1,24	3,556	9,931			

Caractéristiques géométriques des tubes d'échangeur

## Caractéristiques géométriques des tubes d'échangeur

DISPOSITION DES TUBES EN TRIANGLE													
D <sub>c</sub> calandre		Tubes : 3/4" P = 15/16"				Tubes : 3/4" P = 1"				Tubes : 1" P = 1 1/4"			
		nombre de passes : n <sub>t</sub>				nombre de passes : n <sub>t</sub>				nombre de passes : n <sub>t</sub>			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	32	26	24	18	30	24	24		16	16	14	
10	25,4	56	47	42	36	52	40	36		32	26	24	
12	30,5	98	86	82	78	82	76	74	70	52	48	46	44
13 1/4	33,7	114	96	90	86	106	86	82	74	66	58	54	50
15 1/4	38,7	160	140	136	128	138	122	118	110	86	80	74	72
17 1/4	43,9	224	194	188	178	196	178	172	166	118	106	104	94
19 1/4	48,9	282	252	244	234	250	226	216	210	152	140	136	128
21 1/4	54,0	342	314	306	290	302	278	272	260	188	170	164	160
23 1/4	59,1	420	386	378	364	376	352	342	328	232	212	212	202
25	63,5	506	468	446	434	452	422	394	382	282	256	252	242
27	68,6	602	560	536	524	534	488	474	464	334	302	296	286
29	73,7	692	640	620	594	604	556	538	508	376	338	334	316
31	78,8	822	766	722	720	728	678	666	640	454	430	424	400
33	83,8	938	878	852	826	830	774	760	732	522	486	470	454
35	88,9	1068	1004	988	958	938	882	864	848	592	562	546	532
37	94,0	1200	1144	1104	1072	1044	1012	988	870	664	632	614	598
39	99,0	1330	1258	1248	1212	1176	1128	1100	1078	736	700	688	672

Nombre de tubes dans un échangeur faisceau – calandre

## Valeurs de la résistance d'encrassement

DISPOSITION DES TUBES EN CARRE

D <sub>c</sub> calandre		Tubes : 3/4" P = 1"				Tubes : 1" P = 1 1/4"				Tubes : 1 1/4" P = 1 9/16"			
		nombre de passes : n <sub>1</sub>				nombre de passes : n <sub>2</sub>				nombre de passes : n <sub>3</sub>			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	26	20	20		16	14						
10	25,4	52	40	36		32	26	24		12	10		
12	30,5	76	68	68	60	45	40	38	36	24	22	16	16
13 1/4	33,7	90	82	76	70	56	52	48	44	30	30	22	22
15 1/4	38,7	124	116	108	108	76	68	68	64	40	37	35	31
17 1/4	43,9	166	158	150	142	112	98	90	82	53	51	48	44
19 1/4	48,9	220	204	192	188	132	128	122	116	73	71	64	56
21 1/4	54,0	270	246	240	234	166	158	152	148	90	86	82	78
23 1/4	59,1	324	308	302	292	208	192	184	184	112	106	102	96
25	63,5	394	370	356	346	252	238	226	222	135	127	123	115
27	68,6	460	432	420	408	288	278	268	260	160	151	146	140
29	73,7	526	480	468	456	326	300	294	286	188	178	174	166
31	78,8	640	600	580	560	398	380	368	358	220	209	202	193
33	83,8	718	688	676	648	460	432	420	414	252	244	238	226
35	88,9	824	780	766	748	518	488	484	472	287	275	268	258
37	94,0	914	886	866	838	574	562	544	532	322	311	304	293
39	99,0	1024	982	968	948	644	624	612	600	362	348	342	336

EAUX				
Température du fluide chaud	Intérieur à 120 °C		120 – 200 °C	
Température de l'eau	Intérieur à 50 °C		Supérieur à 50 °C	
Vitesse de l'eau	< 1 m/s	> 1 m/s	< 1 m/s	> 1 m/s
Eau de mer	1	1	2	2
Eau douce de ville ou de puits	2	2	4	4
Eaux de rivière propre	4	2	6	4
Eaux de rivière très sale	15	10	20	15
Eaux traitée pour chaudière	2	1	2	2

PRODUITS PETROLIERS			
DISTILLATIONS ATMOSPHERIQUES ET SOUS VIDE		TRAITEMENT DES HUILES	
Essences et kérosène	2	Huile + Solvant	4
Gasol léger	4	Raffinat	2
Gasol lourd	6	Extrait	5
Résidu atmosphérique	6-8	Solvants (Furfurol , MEK , Propane)	2
Résidu sous vide	10	Huile raffinée	2
Asphalte	20		

Vue générale du complexe GL1Z et l'emplacement de l'échangeur [18]

