



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
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

Etude et vérification des vapeurs de propane dans les bacs de  
stockage à basse température

Présenté par

- 1- HAMMADI Omar
- 2- HAMMOU Benadda

Soutenu le 18 /07/ 2019 devant le jury composé de :

Président :	H. DELLALI	MAA	UMAB- Mostaganem
Examineur :	M. BENZEKRI	MCB	UMAB- Mostaganem
Rapporteur :	N. MOUSSA	MAB	UMAB- Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019



# Sommaire

Liste des Figures .....	I
Liste des tableaux .....	II
Remerciements .....	III
Les Symboles et Les Abréviations.....	IV
Introduction .....	1

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR GPL

I.1. Introduction.....	3
I.2. Notations générales sur les GPL .....	3
I.3. L'origine des GPL .....	3
I.4. Les caractéristiques du GPL .....	4
I.5. L'utilisation des GPL .....	4
I.6. Les risques des GPL .....	5

## CHAPITRE II : TRANSFERT DE CHALEUR

II.1. Introduction.....	7
II.2. Les trois modes de transfert de chaleur .....	7
II.2.1. Transfert de chaleur par conduction .....	7
II.2.2. Transfert de chaleur par convection.....	7
II.2.3. Transfert de chaleur par rayonnement .....	8
II.3. Etude de cas : Transfert de chaleur par conduction en régime permanent .....	9
II.3.1. Transfert unidirectionnel .....	9

## CHAPITRE III : LA PRESENTATION DU COMPLEXE GP1/Z

III.1. Situation géographique .....	13
III.2. Objet .....	13
III.3. Historique .....	13
III.4. Principales installations .....	14
III.5. Capacité .....	15
III.6. Alimentation de l'usine .....	15
III.6.1. Les sources d'alimentation principales.....	15
III.6.2. Les utilités .....	16
III.7. Description du procédé de production.....	16
III.7.1. Zone de stockage d'alimentation .....	16

III.7.2.	Section déshydratation.....	17
III.7.3.	Section séparation .....	17
III.7.4.	Section de réfrigération .....	18
III.7.5.	Section l'huile chaude.....	18
III.7.6.	Zone de stockage des produits .....	18
III.7.7.	Section BOG .....	19
III.7.8.	Section de torche HP et BP .....	20
III.7.9.	Zone de chargement des produits finaux.....	20
<b>CHAPITRE IV : DESCRIPTION DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT</b>		
IV.1.	Introduction .....	22
IV.2.	Paramètres de fonctionnement des bacs de stockage .....	22
IV.2.1.	Pression.....	23
IV.2.2.	Température.....	24
IV.2.3.	Niveau.....	24
IV.3.	Structure des bacs de stockage.....	24
IV.3.1.	Structure des anciens : BAC T0005.....	25
IV.3.2.	Structure des anciens : BAC T0001.....	26
<b>CHAPITRE V : DETERMINATION DES PERTES D'EVAPORATION</b>		
V.1.	Introduction.....	29
V.2.	Estimation des pertes par évaporation.....	29
V.3.	Calcul du taux d'évaporation du BAC T0005 .....	30
V.3.1.	1 <sup>er</sup> Cas : Bac en réception .....	30
V.3.2.	2 <sup>e</sup> Cas : Bac au repos .....	32
V.3.3.	3 <sup>e</sup> Cas : Bac en expédition .....	39
V.4.	Calcul le taux d'évaporation du BAC T0001 .....	41
V.4.1.	1 <sup>er</sup> Cas : Bac en réception .....	41
V.4.2.	2 <sup>e</sup> Cas : Bac au repos .....	43
V.4.3.	3 <sup>e</sup> Cas : Bac en expédition .....	50
V.5.	Etude comparative du niveau de performance de chaque bac .....	52
	Conclusion .....	53
	Bibliographie .....	55
	Annexes .....	57

# Liste des Figures

Figure I.1 : Structure de propane (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ).....	3
Figure I.2 : Structure de butane (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> ) .....	3
Figure II.1 : Schéma du transfert de chaleur conductif.....	7
Figure II.2 : Schéma du transfert de chaleur convectif.....	8
Figure II.3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif .....	8
Figure II.4 : Bilan thermique élémentaire sur un mur simple .....	9
Figure II.5 : Schéma de flux et température dans un mur multicouche .....	10
Figure II.6 : Schéma du transfert de chaleur dans un cylindre creux .....	10
Figure II.7 : Schéma du transfert de chaleur dans un cylindre creux multicouche.....	11
Figure III.1 : Plan du complexe.....	13
Figure III.2 : Organisation du complexe.....	14
Figure III.3 : Les sources des GPL .....	15
Figure III.4 : Déshydrateur .....	17
Figure III.5 : Section de séparation.....	18
Figure III.6 : Les sphères de stockage .....	19
Figure III.7 : Les bacs de stockage .....	19
Figure III.8 : Navire de chargement.....	20
Figure III.9 : Station de chargement des Camions.....	20
Figure IV.1 : Les Bacs .....	22
Figure IV.2 : Schéma du bac T0005.....	25
Figure IV.3 : Schéma de bac T0001 .....	26
Figure V.1 : Diagramme de fonctionnement de bac T0005 en réception.....	30
Figure V.2 : Schéma de la surface A du fond de bac T0005.....	33
Figure V.3 : Schéma de la surface B du fond de bac T0005 .....	34
Figure V.4 : Schéma de la surface C du fond de bac T0005 .....	35
Figure V.5 : Schéma de la surface du latérale de bac T0005 .....	36
Figure V.6 : Schéma de la surface du toit de bac T0005.....	37
Figure V.7 : Diagramme de fonctionnement de bac T0005 en expédition.....	39
Figure V.8 : Diagramme de fonctionnement de bac T0001 en réception.....	41
Figure V.9 : Schéma de la surface A du fond de bac T0001 .....	44
Figure V.10 : Schéma de la surface B du fond de bac T0001 .....	44
Figure V.11 : Schéma de la surface C du fond de bac T0001 .....	45
Figure V.12 : Schéma de la surface A de latérale de bac T0001 .....	45
Figure V.13 : Schéma de la surface B de latérale de bac T0001 .....	46
Figure V.14 : Schéma de la surface C de latérale de bac T0001 .....	47
Figure V.15 : Diagramme de fonctionnement de bac T0001 en expédition .....	50

# Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les caractéristiques du GPL.....	4
Tableau IV.1 : La différence de conception entre bac phase I et bac phase III .....	23
Tableau IV.2 : La pression de service des bacs.....	23
Tableau IV.3 : Les débits et températures entre dans les bacs .....	24
Tableau IV.4 : Les débits et températures sort au les bacs.....	24
Tableau IV.5 : La conductivité thermique des matériaux de bac T0005.....	25
Tableau IV.6 : La conductivité thermique des matériaux de bac T0001.....	26
Tableau V.1 : Les paramètres de bac T0005 en réception (volume par niveau).....	31
Tableau V.2 : La situation et le débit sortie des Trains.....	31
Tableau V.3 : Les paramètres de bac T0005 en réception (volume par débit).....	32
Tableau V.4 : Quantités de chaleur de la surface de bac T0005 .....	39
Tableau V.5 : Les paramètres de bac T0005 en expédition .....	40
Tableau V.6 : Les volumes de bac T0001 en expédition.....	40
Tableau V.7 : Les paramètres de bac T0001 en réception (volume par niveau).....	42
Tableau V.8 : La situation et le débit des Trains.....	42
Tableau V.9 : Les paramètres de bac T0005 en réception (volume par débit).....	43
Tableau V.10 : Quantités de chaleur de la surface de bac T0001 .....	50
Tableau V.11 : Les paramètres de BAC T0001 en expédition.....	51
Tableau V.12 : Les volumes de bac T0001 en expédition.....	51
Tableau V.13 : La différence de taux évaporation entre bac T0005 et bac T0001 .....	52

## REMERCIEMENTS

En premier lieu, à remercier Dieu et nos parents le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience durant toute ces années.

Nous tenons à exprimer notre profonde et vive reconnaissance à tous le personnel de la section BOG en particulier à *M<sup>me</sup>* MAHI Karima, M<sup>r</sup> HAMDALOUCHE Djamel et M<sup>r</sup> SAIM Kada.

Nous remercions aussi toute l'équipe de département production et le département technique.

Nous remercions notre encadreur *M<sup>me</sup>* MOUSSA Nawel pour son aide précieuse et ses conseils qui ont été bénéfiques dans la réalisation de ce mémoire et tous les enseignants du département génie procédé de l'UV Mostaganem FST.

Nos sincères remerciements vont également aux membres des jurés : Mme. DELLALI Halima présidente des jurés et M<sup>r</sup>. BENZEKRI BEN ALLOU Mostafa examinatrice pour avoir accepté jugé notre modeste travail.

Et en fin nous remercions tous ceux et celles qui ont de près ou de loin contribuer à la réalisation de ce modeste travail.

## Les Symboles

$Q_t$  : La quantité de chaleur totale transmise au propane à travers la surface de bac (kcal) (W.hr)

$V$  : La capacité de stockage ou volume de liquide ( $m^3$ )

$L$  : chaleur latente de propane (kcal/kg) (W.hr/kg)

$\rho$  : la masse volumique de propane ( $kg/m^3$ )

$U$  : coefficient de transfert de chaleur ( $kcal/m^2.h.^{\circ}C$ )

$e$  : l'épaisseur du matériau (m)

$\lambda$  : conductivité thermique du matériau ( $kcal/m.h.^{\circ}C$ ) ( $W/m.^{\circ}C$ )

$A, B, C, S$  : surface d'échange ( $m^2$ )

$T_0$  : température ambiante ( $^{\circ}C$ )

$T_1$  : température moyenne du liquide de la surface du fond du bac ( $^{\circ}C$ )

$H$  : hauteur de la surface d'échange (m)

$U$  : coefficient de transfert de chaleur ( $kcal/m^2.h.^{\circ}C$ )

$T_{so}$  : température moyenne de la surface du béton sur virole ( $^{\circ}C$ )  
( $T_{so} = T_{ss1}$  ou  $T_{ss2}$ )

$T_{si}$  : température moyenne du liquide de la surface de virole ( $^{\circ}C$ )

$D$  : diamètre intérieur et extérieur de chaque isolant (m)

$\phi$  : Flux de transfert chaleur (kcal/h)

$\phi_{01}$  : flux de transfert de chaleur à travers le toit (le métal) par conduction thermique (kcal/h)

$\Phi$  : Densité de flux de chaleur ( $kcal/h.m^2$ ), ( $W/m^2$ )

$h_i$  : Coefficient de convection ( $W/m^2.^{\circ}C^{-1}$ )

$H$  : Hauteur de la surface d'échange (m)

$T_0$  : température d'équilibre de la surface du toit en métal  $T_{sr1}$  ou  $T_{sr2}$  ( $^{\circ}C$ )

$T_1$  : température d'équilibre de la surface du toit ( $^{\circ}C$ )

$\Phi_{12}$  : flux de chaleur entre l'intérieur du toit et la surface supérieure de l'isolation du toit (kcal/h)

$T_3$  : température du propane ( $^{\circ}C$ )

## Les Abréviations

GPL Gaz de Pétrole Liquéfié

GP1/Z Complexe de Gaz de Pétrole

1 d'Arzew

GNL/Z Les Complexes de Gaz

Naturel Liquéfié d'Arzew

C1 Méthane

C2 Ethane

C3 Propane

C4 Butane

C5 Pentane

GN Gaz Naturel

Bu-Pro Butane et Propane

TC Transfert de Chaleur

MCR Salle de Contrôle des Trains

LCR Salle de Contrôle de Stockage

CCR Salle de Contrôle de

Chargement Camion

JCR Salle de Contrôle de

Chargement Bateau

SCR Salle de Contrôle de Sécurité

HP Haute Pression

MP Moyenne Pression

BP Basse Pression

BT Basse Température

TA Température Ambiante

BOG section de reliquéfaction des vapeurs

$\Phi_{23}$  : flux de chaleur à travers de l'isolation (laine de verre) du toit suspendu par conduction thermique (kcal/h.m<sup>2</sup>),

$T_3$ : température de propane (°C)

$\epsilon_1$  : Facteur d'émission de la surface, radiation du toit bombé

$\epsilon_2$  : Facteur d'émission de la surface, radiation de la surface supérieure de l'isolation du toit suspendu.

$T_{bo}$  : température du dessous du radier (°C)

$T_{bi}$  : température moyenne du liquide de la surface du fond intérieur (°C)

S : Surface de base de bac (m<sup>2</sup>)

d : Diamètre de base de bac (m)

h : Hauteur du niveau de liquide (m)

t : Temps (j)

$\tau$  : Taux d'évaporation (% vol/jour)

---

# Introduction

Le propane et le butane sont naturellement gazeux à pression atmosphérique (1 bar) et à température ambiante (15°C). Ils peuvent toutefois facilement être liquéfiés et sont alors qualifiés de GPL. Cet état liquide permet de les manipuler, de les transporter et de les stocker dans de faibles volumes.

La maîtrise du processus de stockage du GPL revêt une importance particulière car il cause des problèmes liés aux pertes sensibles de quantité et de qualité et par conséquent, une incidence certaine sur la sécurité industrielle. Ces problèmes sont dus principalement aux phénomènes d'évaporation du gaz dans les bacs de stockage et qui sont étroitement attachés aux infiltrations thermiques à travers les parois des réservoirs ; Celle-ci varie au cours du temps sous l'effet de divers facteurs: la température atmosphérique, la pression de stockage, le niveau du liquide (le bac n'est jamais rempli) et l'ensoleillement du bac...

La plus part des études conduites dans le domaine port sur l'influence de la structure des réservoirs et les conditions de stockage. Un aspect important du problème consiste à modéliser les échanges de chaleur à travers les parois des réservoirs.

Au niveau du complexe GPI/Z de la société de SONATRACH, différents types de bacs sont installés permettant le stockage et la réservation du GPL traité et liquéfié à son niveau ; cette différenciation en structures de ces aires de stockage et en effet en types des isolateurs résulte aussi bien des niveaux différents en pertes d'évaporation.

A cet effet, nous avons mené une étude sur les effets des isolants sur les pertes et les taux d'évaporation de sorte que nous avons fait en :

Evaluer le taux d'évaporation du bac T0005 et du bac T0001 durant les régimes de réception, de repos et d'expédition ; Dont Les valeurs obtenues nous ont permis de statuer sur une conclusion finale fondée sur la comparaison entre les deux designs dans le but d'adopter la structure la plus fiable.

Le présent manuscrit est divisé en deux parties principales. Une partie théorique dans laquelle des rappelles et des notions théoriques sont cités, puis une deuxième partie expérimentale basée sur le suivi des paramètres de fonctionnement des deux types de réservoirs de stockage en premier lieu et le calcul des pertes d'évaporation pour les différents régime en deuxième lieu.

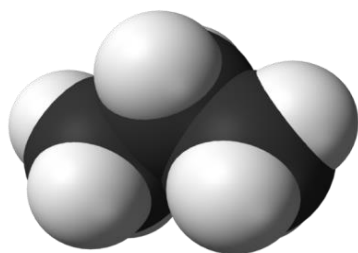
# **CHAPITRE I :**

# **GÉNÉRALITÉ SUR GPL**

## I.1. Introduction

Le gaz de pétrole liquéfié GPL est considéré comme étant un mélange de gaz liquéfiés. Il est constitué essentiellement de propane et de butane en des proportions différentes selon la nature des gisements du pétrole traité.

La composition moyenne en général des GPL algériens se situe autour de 60% de propane contre 40% de butane (dépendant de la provenance des GPL) avec des traces d'eau.



**Figure I.1 :** Structure de propane (C<sub>3</sub> H<sub>8</sub>)



**Figure I.2 :** Structure de butane (C<sub>4</sub> H<sub>10</sub>)

## I.2. Notations générales sur les GPL

Le terme GPL ou gaz de pétrole liquéfié désigne un mélange d'hydrocarbures, qui sont gazeux aux conditions normales de température et de pression et qui ont la propriété de passer de l'état liquide par un abaissement de température ou de pression ou des deux à la fois. Il s'agit essentiellement de butane et de propane.

Cette propriété permet de stocker le GPL dans un volume réduit (1m<sup>3</sup> de GPL liquide occupe un volume de 225 m<sup>3</sup> à l'état gazeux).

Les GPL appartiennent à la famille des paraffines et sont composés essentiellement du C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> avec de faibles proportions de CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, et C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>.

## I.3. L'origine des GPL

Les gaz de pétrole liquéfiés sont obtenus principalement :

- Dans les raffineries de pétrole, en cours de la distillation du pétrole brut.
- Au cours des opérations de dégazolinage du gaz naturel sur les champs de production, pour obtenir les produits condensables (butane et propane).
- Une grande partie des GPL proviennent des champs pétroliers et pendant la liquéfaction du gaz naturel

## I.4. Les caractéristiques du GPL

**Tableau I.1** : Les caractéristiques du GPL

Caractéristiques	BUTANE	PROPANE
Masse volumique (kg/l) à 15°C	Egale ou supérieure à 0,559	Egale ou supérieure à 0,502
Poids moléculaire (g/mol)	58,123	44,096
Point d'ébullition (1,013 bar) °C	- 0,5	- 42,1
Température critique (°C)	152	96,6
Pression critique (bar)	37,96	42,5
Facteur de compressibilité (z) à 1,013 bar et 15 °C	0,9625	1,0193
Chaleur spécifique à pression constante (Cp) à 1 bar et 25 °C (kJ/mole.K)	0,096	0,075
Point de fusion (°C)	-138	-187,7
Température d'auto-inflammation (°C)	365	470
Chaleur latente de vaporisation	80,165	94,98
Odeur	Inodore	inodore
Tension de vapeur à 20°C	8 bars	2 bars

## I.5. L'utilisation des GPL

- Application domestique : Le GPL est utilisé comme source de chauffage et pour la climatisation.
- GPL dans la pétrochimie et le raffinage : Le GPL peut être utilisé comme matière première pour naphtho-craqués, base de la chaîne conduisant aux matières plastiques. En raffinage le GPL est utilisé soit en tant qu'oxydant qui permet d'augmenter l'indice d'octane GPL des essences.
- GPL-carburant : De nombreux facteurs ont fait le succès des GPL carburant :
  1. Faibles niveaux des taxes sur les GPL qui assure sa compétitivité par rapport aux carburants classiques.
  2. Soutien de la part des compagnies pétrolières et du gaz. La qualité des produits sur le plan écologique favorise son utilisation dans les transports urbains (Le GPL carburant ne contient ni soufre, ni plomb, ni benzène).

## **I.6. Les risques des GPL**

On cite quelques risques qui ont été signalés dans l'industrie gazière :

- Les GPL sont fréquemment stockés à l'état liquide sous pression, la fuite du liquide peut, par évaporation rapide, donner un grand volume de gaz inflammable.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz approximativement à 2% du volume du gaz dans l'air. Une petite portion de gaz dans l'air peut donner un mélange inflammable qui peut être enflammé par un élément chaud ou une étincelle à distance d'un point de fuite.
- Les GPL liquides par évaporation peuvent causer des brûlures sévères, des vêtements de protection doivent être portés (gants, lunettes).

**CHAPITRE II :**  
**TRANSFERT DE CHALEUR**

## II.1. Introduction

Le Transfert d'énergie a lieu chaque fois qu'un gradient de température existe à l'intérieur d'un système, ou lorsque deux systèmes à températures différentes sont mis en contact. Le processus par lequel la transmission de l'énergie s'effectue est désigné par le terme transfert de chaleur.

## II.2. Les trois modes de transfert de chaleur

### II.2.1. Transfert de chaleur par conduction

Phénomène au moyen duquel la chaleur s'écoule dans un milieu (solide, liquide ou gaz) d'une région à haute température vers une autre à basse température, ou entre différents milieux mis en contact (contigus) sans qu'il y ait mouvement de ce milieu (milieu macroscopiquement au repos). Elle résulte de la vibration des réseaux cristallins dans les solides (atomes et molécules) et de l'agitation moléculaire pour les liquides et les gaz.

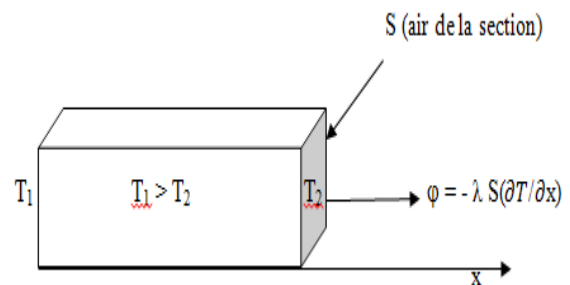
#### - Expression des flux d'énergie

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

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

Ou sous forme algébrique :

$$\varphi = -\lambda S (\partial T / \partial x)$$



**Figure II.1** : Schéma du transfert de chaleur conductif

### II.2.2. Transfert de chaleur par convection

La convection est un mode de transfert de chaleur qui met en jeu, en plus de la conduction, le mouvement macroscopique de la matière. Ce phénomène se produit au sein des milieux fluides en écoulement ou entre une paroi solide et un fluide en mouvement.

On distingue deux types de convection:

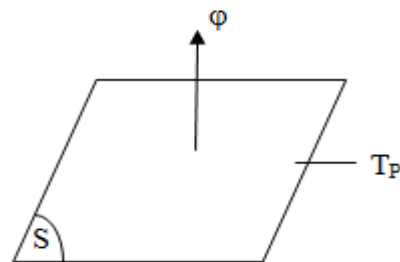
**a. Convection naturelle:** les mouvements sont dus aux variations de masse volumique dans un fluide soumis au champ de pesanteur. Les variations de masse volumique peuvent être générées par des gradients de température (l'air chaud est plus léger que l'air froid) et/ou par des gradients de composition.

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

### - Expression des flux d'énergie

Fluide à  $T_\infty$

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



**Figure II.2 :** Schéma du transfert de chaleur convectif

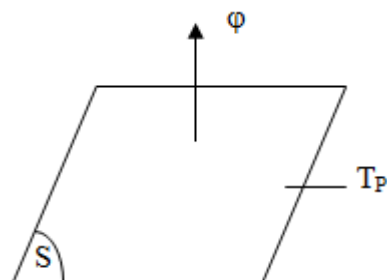
### II.2.3. Transfert de chaleur par rayonnement

C'est le mécanisme par lequel la chaleur se transmet par rayonnement électromagnétique d'un corps à haute température vers un autre à basse température.

### - Expression des flux d'énergie

Milieu environnant à  $T_\infty$

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



**Figure II.3 :** Schéma du transfert de chaleur radiatif

### II.3. Etude de cas : Transfert de chaleur par conduction en régime permanent

#### II.3.1. Transfert unidirectionnel

##### a. Mure simple

en effectuant un bilan thermique sur le système (S) constitué par la tranche de mur comprise entre les abscisses  $x$  et  $x + dx$ , il vient :

$$\varphi_x = \varphi_{x+dx} \Rightarrow -\lambda S \left( \frac{dT}{dx} \right)_{x=0} = -\lambda S \left( \frac{dT}{dx} \right)_{x+dx} \dots (1)$$

D'où

$$\frac{dT}{dx} = A \text{ et } T(x) = A x + B$$

Avec les conditions aux limites :

$$T(x=0) = T_1 \text{ et } T(x=e) = T_2$$

D'où :

$$T = T_1 - \frac{x}{e} (T_1 - T_2)$$

Le profil de température est donc linéaire.

La densité de flux de chaleur traversant le

mur s'en déduit par la relation :

$$\Phi = -\lambda \frac{dT}{dx}, \text{ D'où :}$$

$$\Phi = \frac{\lambda(T_1 - T_2)}{e}$$

La relation (1) peut également se mettre

$$\text{sous la forme : } \varphi = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e}{\lambda S}}$$

##### b. Mur multicouches

En régime permanent, le flux de chaleur se conserve lors de la traversée du mur et s'écrit :

$$\varphi = h_1 S(T_{f1} - T_1) = \frac{\lambda_A S(T_1 - T_2)}{e_A} = \frac{\lambda_B S(T_2 - T_3)}{e_B} = \frac{\lambda_C S(T_3 - T_4)}{e_C} = h_1 S(T_4 - T_{f2})$$

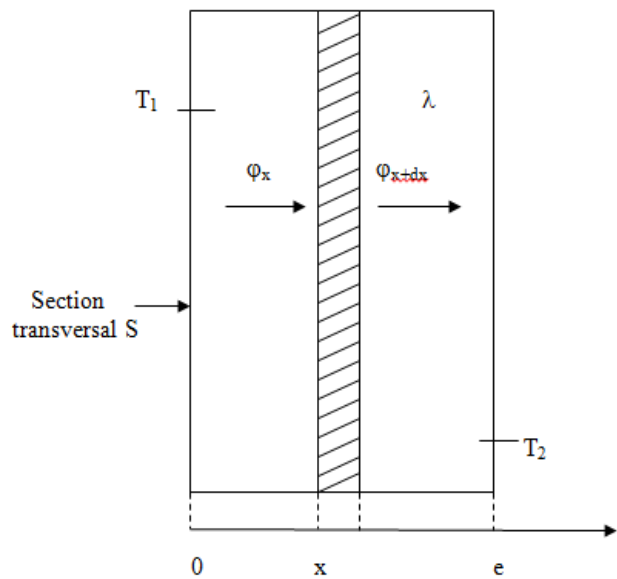


Figure II.4 : Bilan thermique élémentaire sur un mur simple

D'où :

$$\Phi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 S} + \frac{e_A}{\lambda_A S} + \frac{e_B}{\lambda_B S} + \frac{e_C}{\lambda_C S} + \frac{1}{h_2 S}}$$

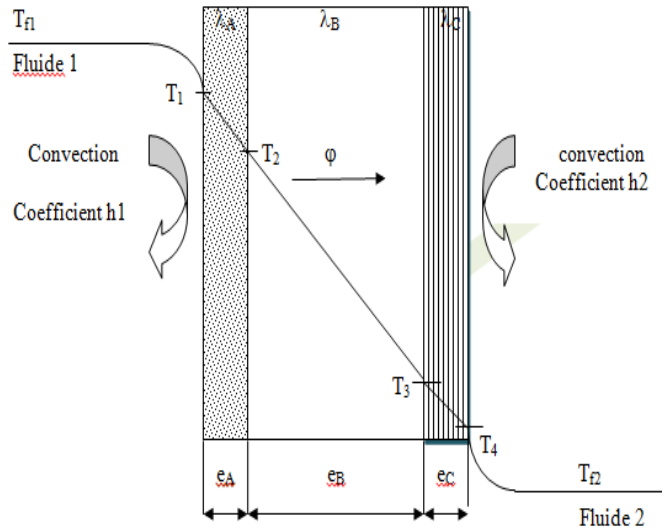


Figure II.5 : Schéma de flux et température dans un mur multicouche

c. *Cylindre creux long (tube)*

Effectuons le bilan thermique du système constitué par la partie de cylindre comprise entre les rayons  $r$  et  $r + dr$  :

$\varphi_r = \varphi_{r+dr}$ , avec :  $\varphi = -\lambda 2\pi r L \left(\frac{dT}{dr}\right)_r$

et  $\varphi_{r+dr} = -\lambda 2\pi (r+dr) L \left(\frac{dT}{dr}\right)_{r+dr}$  ; Soit :

$-\lambda 2\pi r L \left(\frac{dT}{dr}\right)_r = -\lambda 2\pi (r+dr) L \left(\frac{dT}{dr}\right)_{r+dr}$

d'où  $r \left(\frac{dT}{dr}\right) = c$

Avec les conditions aux limites :  $T(r_1) = T_1$  et

$T(r_2) = T_2$

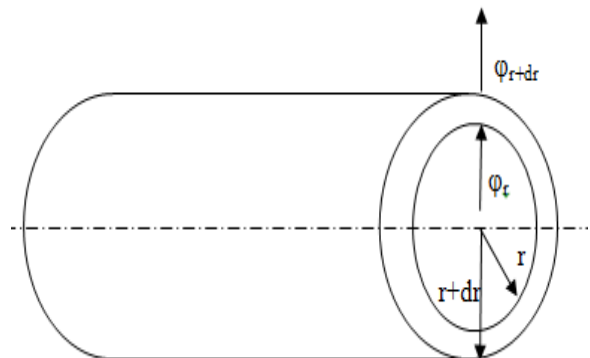


Figure II.6 : Schéma du transfert de chaleur dans un cylindre creux

D'où :

$$\frac{T(r) - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{\ln\left(\frac{r}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Et par application de la relation

$\varphi = -\lambda 2\pi r L \left(\frac{dT}{dr}\right)$ , on obtien :

$$\varphi = \frac{2\pi\lambda L(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

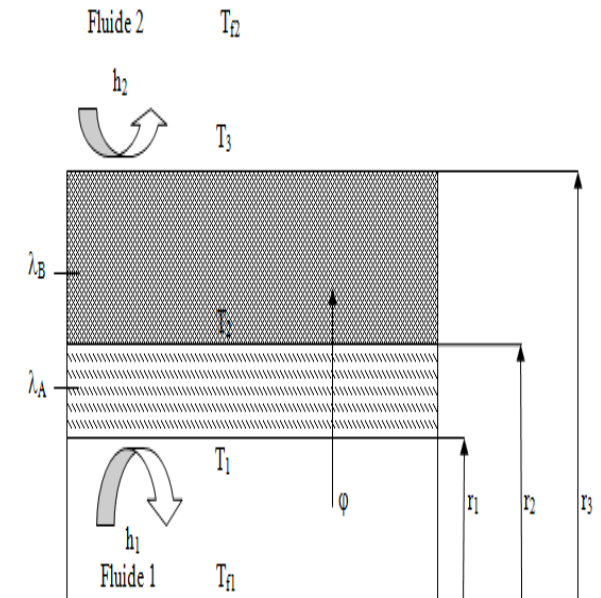
**d. Cylindre creux multicouche**

En régime permanent, le flux de chaleur  $\phi$  se conserve lors de la traversée des différentes couches et s'écrit :

$$\phi = h_1 2\pi r_1 L (T_{f1} - T_1) = \frac{2\pi\lambda_A L (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = \frac{2\pi\lambda_B L (T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} = h_2 2\pi r_3 L (T_3 - T_{f2})$$

D'où :

$$\phi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi\lambda_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi\lambda_B L} + \frac{1}{h_2 2\pi r_3 L}}$$



**Figure II.7 :** Schéma du transfert de chaleur dans un cylindre creux multicouche

**CHAPITRE III :**  
**LA PRÉSENTATION DU**  
**COMPLEXE GP1/Z**



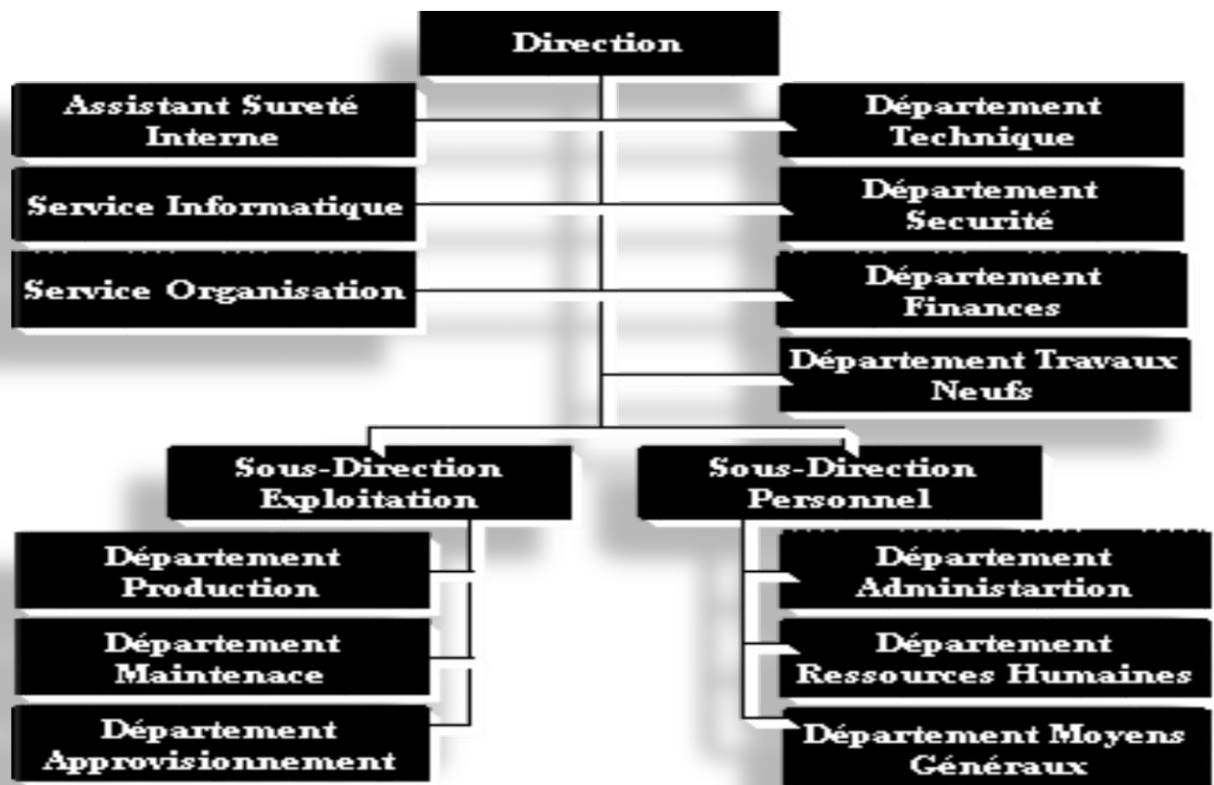


Figure III.2 : Organisation du complexe

### III.4. Principales installations

Les principales installations du complexe sont comme suit :

- Section "Demercurisation"
- 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m<sup>3</sup> chacune.
- 09 Trains de traitement du GPL.
- 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70000 m<sup>3</sup> chacun.
- 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70000 m<sup>3</sup> chacun.
- 04 unités de re-liquéfaction des boil-off-Gas
- 04 Sphères de stockage de produits à température ambiante (propane et Butane) de 500 m<sup>3</sup> chacune.
- 01 Sphère de stockage gazoline (pentane).
- 02 Salles de contrôles : MCR&LCR
- Deux Mini salle de contrôles : CCR /Chargement Camion  
: JCR /Chargement Bateau
- 01 Salle de contrôle sécurité (SCR).

- 01 Sous-station électrique alimentée par la SONEGAS. (deux lignes L1&L2) (60 kw)
- 06 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe en cas de coupure de courant. (01 diesel+turbine à Gaz dans chaque phase)
- 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variée entre 4000 et 10000 tonnes.
- Une rampe de chargement par camions.
- Une station de pompage d'eau de mer pour le réseau d'incendie.
- Un système de télésurveillance.

### III.5. Capacité

A partir d'un traitement du GPL brut Algérien en provenance des champs gaziers et pétroliers du sud, la production (120%) du complexe est de 10.800.000 tonne/an de GPL : propane, butane commerciaux.

### III.6. Alimentation de l'usine

#### III.6.1. Les sources d'alimentation principales

L'usine reçoit son alimentation de GPL des sources suivantes : Hassi Messaoud, Hassi R'mel, Alrar, In amenas, Tinfouye Taban Kort (TFT), Rhourde Nouss, Gassi Touil.

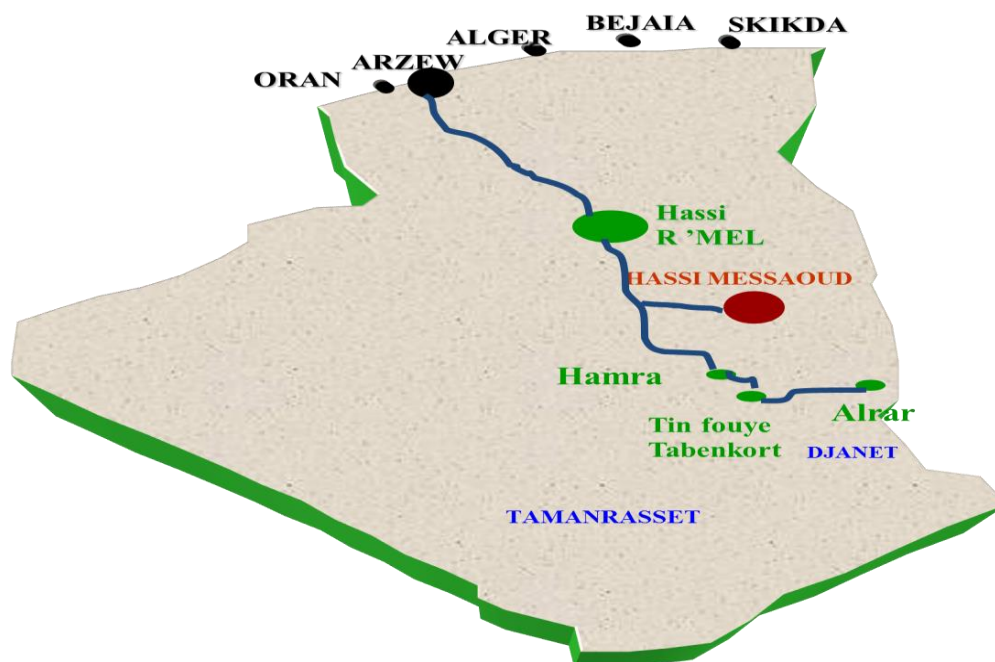


Figure III.3 : Les sources des GPL

### III.6.2. Les utilités

Elle alimente les divers zones de production en :

- Fuel (gaz naturel) : utilisé comme combustible.
- Air : elle est divisée en deux :
  - ✓ Air instrument : C'est de l'air séché après enlèvement de l'humidité, cet air aide pour ouvrir les vannes et la manipulation des boucles de régulation (vanne pneumatique).
  - ✓ Air service : C'est de l'air qui sert pour le nettoyage et l'entretien.
- Vapeur : On utilise le dessaleur pour avoir l'eau distillée et à partir de la chaudière on produit de la vapeur.
- Une ligne directe récemment installée kahrama''Eau Distillée''.
- Eaux :
  - ✓ L'eau distillée ;
  - ✓ L'eau de refroidissement ;
  - ✓ L'eau potable.
- Méthanol : Il est utilisé pour le dégivrage.
- Gasoil : Il est utilisé pour les générateurs de secours.
- Azote : Ballon d'azote, il y'a deux circuits (hélios GI2Z/N2 local)
  - ✓ Circuit Gazeux (HELIOS) ;
  - ✓ Circuit d0'azote liquide (COGIZ) : On le transforme en vapeur pour l'inertage des équipements.
- Six générateurs électriques de secours d'une capacité de 25.617 kw.  
(Moteurs Diesel+Turbine à Gaz\* les trois Phases)

### III.7. Description du procédé de production

#### III.7.1. Zone de stockage d'alimentation

Le GPL venant de l'extérieur est stocké dans 22 réservoirs sphériques dans la section de stockage de la charge

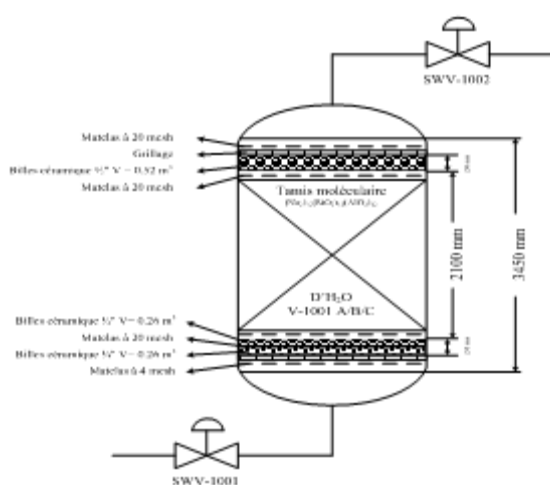
Le procédé de production comporte 4 étapes principales qui sont : le filtrage, l'écouillage, la démercurisation, le dégazage.

Chaque train est conçu de manière à produire 1.000.000 de tonnes/an et comprend les sections suivantes :

### III.7.2. Section déshydratation

Cette section comprend une unité de déshydratation de la charge et une unité de déshydratation de garde. La section se compose de 3 sections appelées « déshydrateur ».

Le but de cette section est de réduire la teneur en eau de 100 ppm à 5 ppm dans le déshydrateur de charge et de 5 ppm à environ 1 ppm dans le déshydrateur de garde (dans la section réfrigération) dans le but d'éviter la formation du givre dans les équipements en aval.



**Figure III.4 : Déshydrateur**

### III.7.3. Section séparation

Le GPL déshydraté entre dans la section de séparation, comme alimentation du fractionnateur. La charge est préalablement chauffée jusqu'à une température de 71°C par trois préchauffeurs (échangeur de chaleur). Le GPL ainsi préchauffé passe directement dans le fractionnateur pour régler de façon à réaliser la séparation en un produit de tête constitué de vapeurs de propane et d'éthane, il passe ensuite dans le dééthaniseur pour séparer le produit de l'éthane ; le produit de tête de la colonne est refroidi dans deux condenseurs au propane et le produit du bas est envoyé vers la section réfrigération. Le produit de fond constitué de pentane et de butane passe en dépentaniseur de même que pour le propane. Ces produits de bas de la colonne sont envoyés par la suite vers les sphères de stockage à température ambiante, et le produit de tête est envoyé vers la section réfrigération.

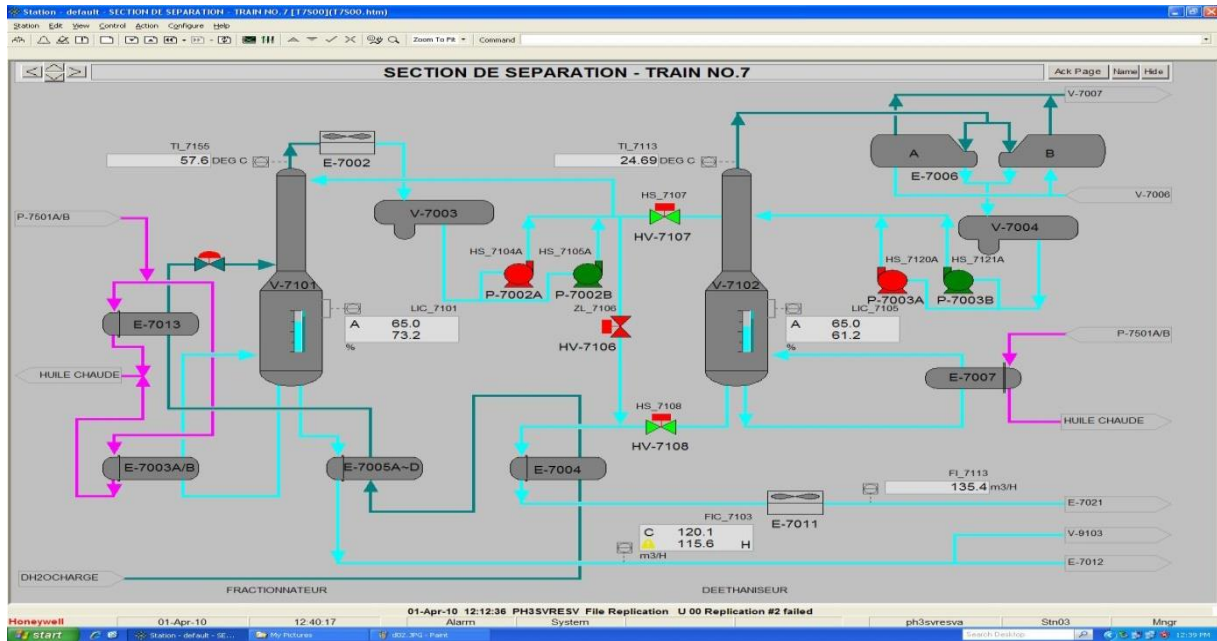


Figure III.5 : Section de séparation

### III.7.4. Section de réfrigération

Cette section est conçue dans le but de refroidir les produits finis à leur température de stockage, soit  $T = -41^{\circ}\text{C}$  pour C3 et  $T = -5^{\circ}\text{C}$  pour le C4.

Le refroidissement se fait en trois stades ; le stade HP (haute Pression) ; le stade MP (Moyenne Pression) et le stade BP (basse Pression)

### III.7.5. Section l'huile chaude

La section du fluide caloporteur est utilisée comme source de chaleur pour les rebouilleurs des colonnes de fractionnement et pour le troisième préchauffeur de la charge GPL.

### III.7.6. Zone de stockage des produits

Il existe deux type de procédés de stockage :

#### a. Stockage à température ambiante

Prévue pour la commercialisation du gaz à l'échelle nationale. Le chargement des camions se fait à partir des 4 sphères de capacité de  $500\text{ m}^3$  chacune dans lesquelles sont stockés le propane et le butane sous pression.



**Figure III.6 :** Les sphères de stockage

### **b. Stockage à basse température**

Les gaz réfrigérés sont véhiculés aux bacs où ils seront stockés dans les conditions de basse température. La capacité de chacun est de 70.000 m<sup>3</sup>. Ils sont munis de pompes immergées pour la circulation du gaz et le chargement navires.



**Figure III.7 :** Les bacs de stockage

#### **III.7.7. Section BOG**

La section de reliqufaction des vapeurs (BOG), a pour but de contrôler la pression dans les réservoirs de stockage à basse température aussi bien pendant le stockage que pendant les opérations de chargement en récupérant les vapeurs excédentaires, en les comprimant pour qu'elles puissent être reliquifiées sous forme de condensats réfrigérés aux réservoirs à basse température.

### III.7.8. Section de torche HP et BP

Par mesure de sécurité, et afin d'éviter les incendies tous les gaz non brûler passe dans des ballons qu'on l'appelle BLOWDOWN. Les gaz échapper ou craché par les soupapes de sécurité passe dans des ballons pour les préchauffer et diriger soit vers les trois torches hautes pressions (HP) soit vers les deux torches basses pressions (BP).

### III.7.9. Zone de chargement des produits finaux

#### a. Chargement par navires (Produit : BT)

L'usine dispose de deux jetées D1 et M6, pour le chargement des bateaux à basse température ayant une capacité de :

- 10.000 m<sup>3</sup>/h pour M6.
- 4.000 m<sup>3</sup>/h pour D1



**Figure III.8 :** Navire de chargement

#### b. Chargement par camion-citerne sous pression (TA)

Les installations de chargement par camion sont conçues de manière à permettre le chargement simultané du propane et du butane.



**Figure III.9 :** Station de chargement des Camions

**CHAPITRE IV :**  
**DESCRIPTION DES**  
**CONDITIONS DE**  
**FONCTIONNEMENT**

## IV.1. Introduction

La zone de stockage à basse température assure la capacité de stockage nécessaire du propane, butane et Bu-Pro de qualité commercial entre les opérations de chargement des navires.

Huit bacs sont prévus pour le stockage des produits finis : quatre bacs pour le propane, trois bacs pour le butane et un pour le Bu-Pro (actuellement il sert pour le stockage du butane).

Les produits propane et butane sont envoyés à partir des 9 trains de procédé à travers un collecteur commun pour chaque produit vers les bacs à la fois sous contrôle de pression.

Les produits sont stockés plus ou moins à la pression atmosphérique et à leur point d'ébullition. La pression du réservoir est maintenue dans la gamme de 300 à 800 mmH<sub>2</sub>O ce grâce à la section de reliqufaction des vapeurs (BOG).

Les produits propane et butane stockés dans les bacs BT° peuvent être transférés vers la section de stockage ambiant ou vers la section stockage de la charge (cas d'un produit hors spécification) par l'intermédiaire de la section transfert.



Figure IV.1 : Les Bacs

## IV.2. Paramètres de fonctionnement des bacs de stockage

Les huit bacs (quatre pour le propane et quatre pour le butane) destinés au stockage des produits finis sont de type enveloppe cylindrique à double paroi d'une capacité de 70.000 m<sup>3</sup> et d'une hauteur de 34 m chacun.

**Phase I: 06-T0003/4/5 (propane)  
06-T0006/7/8 (butane)**

**Phase III: 36-T0001 (propane)  
36-T0002 (butane)**

Son rôle principal est d'alimenter les navires présent au niveau des jetées à travers les lignes de chargement par le biais des pompes de chargement. Le bac est refroidit par le produit reliquéfié au niveau de la section BOG.

**Tableau IV.1 :** La différence de conception entre bac phase I et bac phase III

Bac phase I	Bac phase III
Espace annulaire vide	Espace annulaire rempli de perlite
Présence d'une pompe d'évacuation inter paroi	La pompe est absente
Paroi externe n'est pas couverte (métal)	Paroi externe couverte par béton précontraint
Présence d'une cuvette de rétention	Absente
7 soupapes de sécurité (bac propane)	4 soupapes de sécurité (bac propane)
8 soupapes de sécurité (bac butane)	4 soupapes de sécurité (bac butane)
3 casses vides (bac propane)	4 casses vides (bac propane)
2 casses vides (bac butane)	4 casses vides (bac butane)

#### IV.2.1. Pression

La pression dans les bacs de stockage à basse température est maintenue dans la gamme de 300 à 800 mmH<sub>2</sub>O par l'intermédiaire de la section de ré-liquéfaction des vapeurs (BOG : boil of gas).

**Tableau IV.2 :** La pression de service des bacs

Pression (mmH <sub>2</sub> O)	Action
-50	Ouverture vannes casse vide
50	Injection de gaz naturel
100	Déclenchement de tous les compresseurs
250	Alarme basse pression
300-800	Fonctionnement normal
850	Alarme haute pression
950	Excès de gaz envoyé vers la torche BP
1000	Ouverture des soupapes de sécurité

- Si la pression dans les bacs augmentent à plus de 750 mmH<sub>2</sub>O, il faudrait mettre un compresseur supplémentaire en service (on peut mettre jusqu'à 04 compresseurs en parallèles pour le Propane tandis que 02 suffisant pour le Butane).
- Dans le cas de baisse de pression de 380 mmH<sub>2</sub>O dans les bacs il faut arrêter un des compresseurs.

### IV.2.2. Température

La température de chaque produit stocké dans chaque bac dépend seulement de la composition de ce dernier. Étant donné que les bacs fonctionnent essentiellement à la pression atmosphérique, on peut alors supposer que la température moyenne du produit dans le bac correspond à son point d'ébullition atmosphérique.

En ce qui concerne le propane, la température est maintenue dans une plage de -41 à -48°C.

### IV.2.3. Niveau

Le niveau des produits finis est indiqué par un système ENRAF redondant. Le niveau maximal que le bac peut atteindre est de 27,5 m et le niveau minimal est de 2,5 m.

#### ➤ Conditions d'entrée

**Tableau IV.3 :** Les débits et températures entre dans les bacs

		Débit (T/hr)	Température (°C)
GPL Phase I/II	C3	Max.491	Min. -44
	C4	Max.443	Min. -7
GPL Phase III	C3	Max.245	Min. -44
	C4	Max.221	Min. -7

#### ➤ Conditions de sortie :

**Tableau IV.4 :** Les débits et températures sort au les bacs

		Débit (m <sup>3</sup> /hr)	Température (°C)
GPL Phase I/II	C3	5000	-44
	C4	5000	-7
GPL Phase III	C3	5000	-44
	C4	5000	-7

## IV.3. Structure des bacs de stockage

Les bacs de stockage installés au niveau de l'unité sont de deux types (l'ancienne version et la nouvelle version) dont chaque type est caractérisé par une structure différente.

## IV.3.1. Structure des anciens : BAC T0005

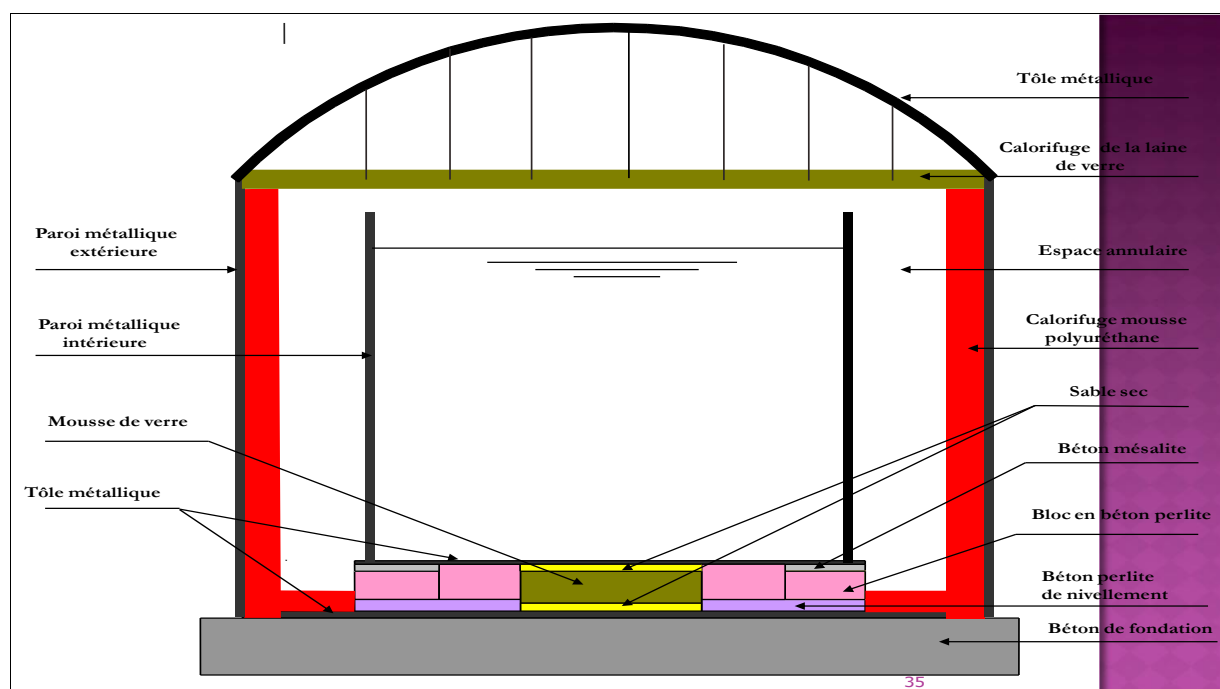


Figure IV.2 : Schéma du bac T0005

Chaque partie de la surface du bac est fabriquée d'un matériau spécifique et d'une épaisseur bien déterminée :

Tableau IV.5 : La conductivité thermique des matériaux de bac T0005

Surface	matériau	Conductivité thermique (kcal/m.h. °C)	Epaisseur (m)
Fond	Métal	46	0,015
	Sable sec	0,5	0,075
	Verre de mousse	0,0393	0,3
	mésalite béton perlite	0,8	0,1
	Béton perlite	0,19	0,285
	Béton de fondation	2	0,9
	Béton de nivellement	0,18	0,065
Latérale	mousse polyuréthane	0,02	0,2
	Métal	46	0,015
	Métal	45	0,015
	mousse polyuréthane	0,017	0,2
Toit	Métal	46	0,015
	Laine de verre	0,033	0,33

## IV.3.2. Structure des anciens : BAC T0001

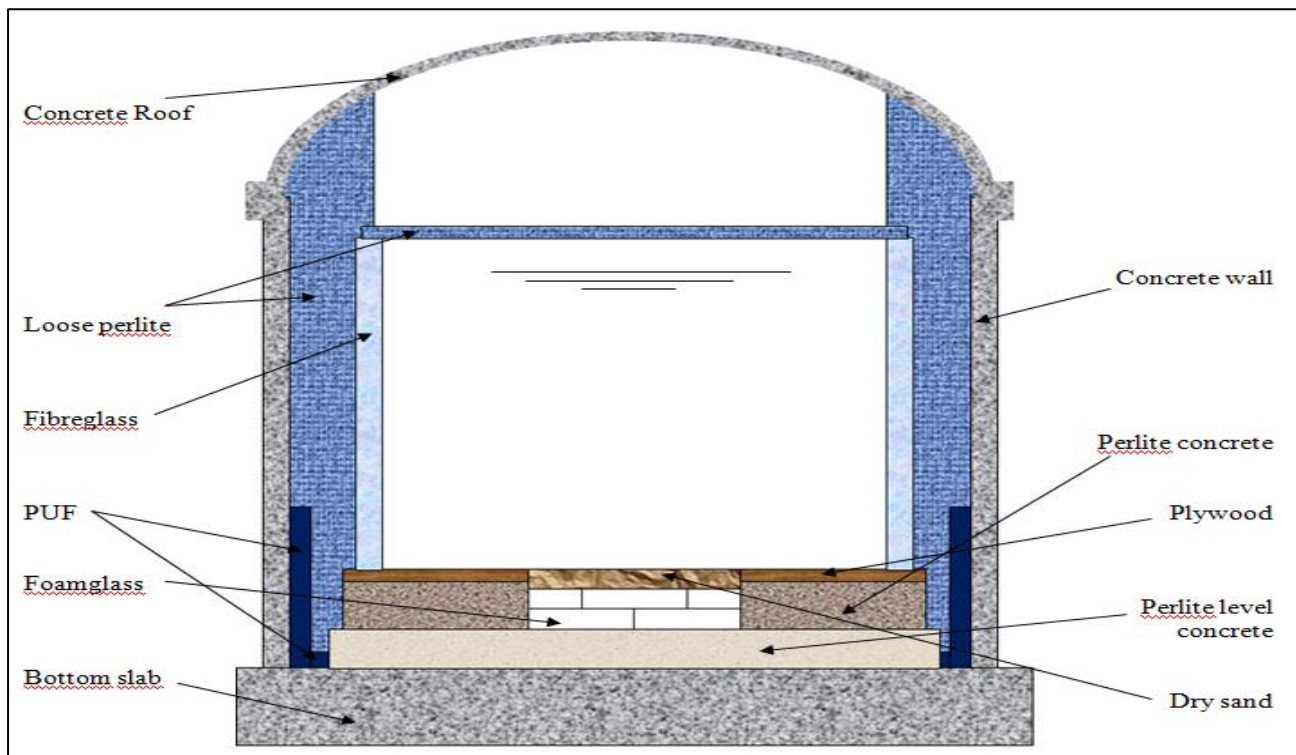


Figure IV.3 : Schéma de bac T0001

Tableau IV.6 : La conductivité thermique des matériaux de bac T0001

Surface	Matériau	Conductivité thermique (kcal/m.h.°C)	Epaisseur (m)
<b>Fond</b>	Foamglass (HLB800)	0,041	0,25
	Perlite concrete	0,350	0,284
	PUF	0,024	0,1
	Perlite level concrete	0,250	0,150
	Dry sand	0,652	0,055
	Plywood	0,300	0,021
	Concrete bottom	2,300	0,9
<b>Virole</b>	PUF	0,028	0,1
	PUF	0,024	0,1
	Fibreglass (16kg/ m3)	0,042	
	Fibreglass (16kg/ m3)	0,042	
	Loose perlite	0,045	
	Loose perlite	0,042	
<b>Toit</b>	Concrete wall	2,300	
	Loose perlite	0,041	0,35
	Loose perlite	0,040	0,35
	Concrete Roof	2,300	

Ces bacs de stockage consistent à stocker le GPL dans les conditions prédéfinies et avec des quantités bien précises afin de répondre aux normes de qualité et à la demande du marché en termes de quantité et de qualité. Comme des autres procédés industriels, ce dernier a aussi des risques de disfonctionnement et des dangers industriels.

Dans cette optique, ce travail a été réalisé afin d'évaluer la performance de chaque type de système de stockage installé par l'évaluation des taux des pertes.

**CHAPITRE V :**  
**DÉTERMINATION DES PERTES**  
**D'ÉVAPORATION**

## V.1. Introduction

La variation de température durant la journée est à l'origine de phénomène d'évaporation. Le gradient de température entre l'intérieur du bac et le milieu ambiant génère un flux de chaleur qui pénètre au sein du bac, provoquant ainsi une augmentation de température de la surface liquide et par suite de la tension de vapeur. Elle devient alors supérieure à la pression partielle du constituant de la phase gazeuse, et une évaporation se produit alors. L'augmentation de la température de la phase gazeuse conduit aussi à une augmentation de la pression totale du bac

Le phénomène inverse se produit durant les heures froides où le bac de stockage aspire de l'air.

Toutefois, il faut noter que les variations de température de la surface du liquide d'une part et de la phase gazeuse d'autre part ne sont pas identiques. D'ailleurs, au sein des deux phases, les températures ne sont pas homogènes, ce qui fait apparaître des courants entre les deux phases et qui sont particulièrement intenses dans les bacs aux grandes dimensions.

## V.2. Estimation des pertes par évaporation

Le calcul des pertes par évaporation est réalisé à partir de corrélations empiriques qui nous donnent un ordre de grandeur suffisant pour nos calculs. Un calcul rigoureux exige la détermination des températures à travers chaque couche d'isolant afin de déterminer le flux de chaleur qui s'écoule vers l'intérieur du bac.

Les variations climatiques (température, vent,...) brusques rendent le problème plus complexe à résoudre car plus elles sont larges et subites, plus en s'éloigne de l'état d'équilibre.

Nos bacs de stockage passent par 3 cas de fonctionnement ;

- Régime de réception ;
- Régime de transfert vers navire ;
- Et régime de repos.

L'évaluation de la performance de chaque type de bac consiste à déterminer le taux d'évaporation de chaque cas pour que la comparaison soit plus pertinente.

### V.3. Calcul du taux d'évaporation du BAC T0005

#### V.3.1. 1<sup>er</sup> Cas : Bac en réception

Pour calculer le taux d'évaporation pendant la réception, nous avons procédé à la détermination du volume du liquide dans le bac à partir des indicateurs de niveau en premier lieu puis à partir des valeurs du débit attirées des débitmètres de sortie des trains.

##### a. Calcul du volume en cours de réception à partir du niveau du bac :

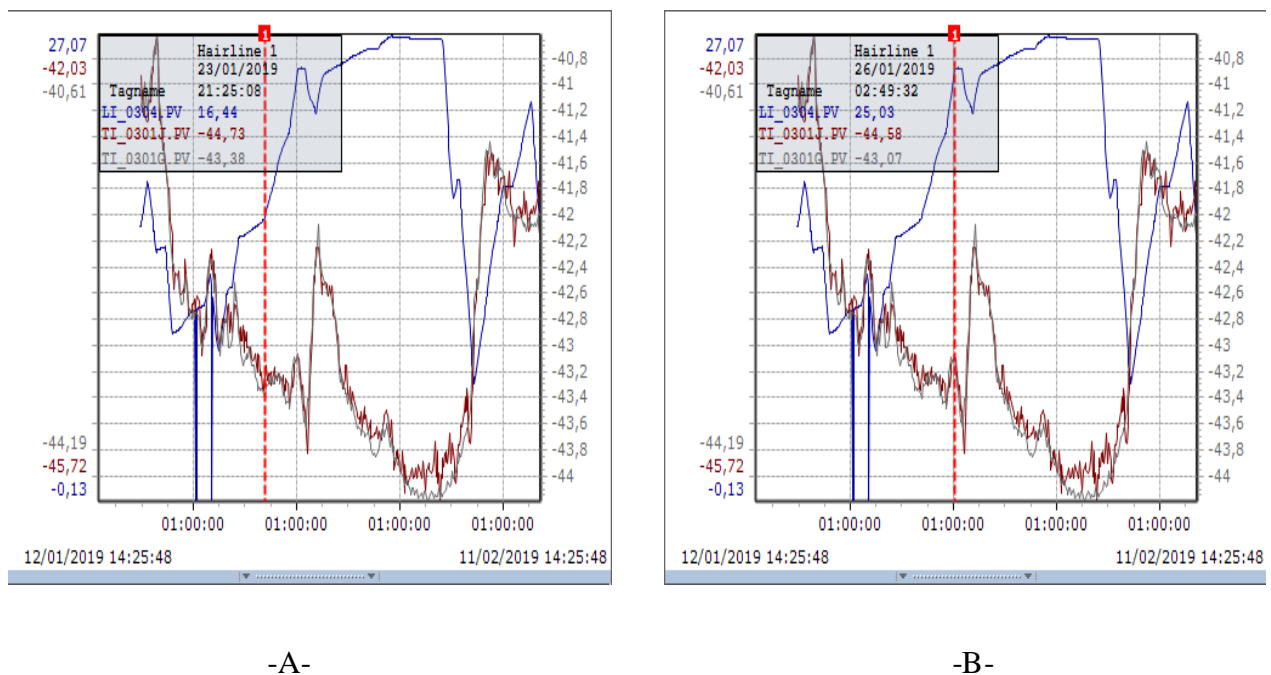


Figure V.1 : Diagramme de fonctionnement de bac T0005 en réception

(A : Début de réception, B : fin de réception)

#### Début de la réception :

$$V = S \times h = \pi \times (d^2/4) \times h$$

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 16,44$$

$$V = 39366,02 \text{ m}^3$$

#### Fin de réception :

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 25,03$$

$$V = 59935,01 \text{ m}^3$$

D'après les paramètres indiqués sur le diagramme de fonctionnement ci-dessus, nous avons statué sur les résultats suivants :

**Tableau V.1** : Les paramètres de bac T0005 en réception (volume par niveau)

Les paramètres	Début de la réception	Fin de la réception
La date	23/01/2019	26/01/2019
Heure (h)	21 :25 :08	02 :49 :32
Niveau (m)	16,44	25,03
Volume (m <sup>3</sup> )	39366,02	59935,01
Température (°C)	-44,73	-44,58
$\Delta t$ (s)	192264	
Le volume (m <sup>3</sup> )	20569	

b. **Calcul du volume en cours de réception à partir du débit de sortie des trains :**

**Tableau V.2** : La situation et le débit sorti des Trains

Trains	Fractionnateur	Deéthriseurs	Débit sortie du train(m <sup>3</sup> /h)
Train 100	en service	en service	106,19
Train 200	en service	en service	108,93
Train 300	en service	en service	107,03
Train 400	en service	Arrêt	104,85
Train 500	en service	en service	70,61
Train 600	Arrêt	Arrêt	0
Train 700	Arrêt	Arrêt	0
Train 800	en service	en service	94,00
Train 900	Arrêt	Arrêt	0
<b>Total</b>	<b>6 en service 3 en Arrêt</b>	<b>5 en service 4 en Arrêt</b>	<b>592</b>

La réception du produit au niveau des bacs se fait pendant un temps bien déterminé avec un débit total de 592 m<sup>3</sup>/h. A partir de la relation qui lie le débit au volume, on déduit ce dernier :

$$\text{Débit}_T = \text{Volume}/\text{temps} \rightarrow \text{Volume} = \text{Débit}_T * \text{Temps}$$

$$V_2 = 31616,94 \text{ m}^3$$

**Tableau V.3** : Les paramètres de bac T0005 en réception (volume par débit)

Les paramètres	Début de la réception	Fin de la réception
La date	23/01/2019	26/01/2019
Heure (h)	21 :25 :08	02 :49 :32
Débit (m <sup>3</sup> /h)	592	
Température (°C)	-44,73	-44,58
Volume (m <sup>3</sup> )	31616,94	

La différence entre les deux valeurs des volumes calculés durant la même période et en cours de réception, nous donne le taux du produit évaporé durant ce régime :

$$\Delta V = 31616,94 - 20569 = \mathbf{11047,94 \text{ m}^3}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_T(\text{bac T0005}) \rightarrow 100 \% \\ \Delta V \rightarrow \% \text{Vol} \end{array} \right\} \boxed{\% \text{Vol} = 14,53}$$

$$\text{Taux d'évaporation : } \tau = \frac{\% \text{ Volume évaporé}}{\text{temps(jour)}} = \frac{14,53}{2,225} = 6,53$$

$$\boxed{\tau (\% \text{ vol/jour}) = 6,53 (\% \text{ vol/jour})}$$

### V.3.2. 2<sup>e</sup> Cas : Bac au repos

Dans ce cas les calculs du taux d'évaporation ont été effectués en formulant dans les conditions suivantes :

- Les pompes de chargement, de circulation et d'évacuation ainsi que les canalisations n'ont pas été retenus dans le calcul, vu leurs faibles dimensions par rapport aux bacs.
- le propane stocké n'est pas en mouvement, c'est-à-dire qu'il n'y a ni réception, ni chargement du propane donc bac au repos (Toutes les lignes raccordées au bac doivent être fermée) ;
- Le niveau du liquide est rempli ;
- Les pompes immergées du bac à tester doivent être mises hors service ;

Pour la stabilisation du bac, ce dernier doit rester mis hors de marche au moins trois Jours avant le commencement du test de fonctionnement. Pendant ces trois jours, la pression du bac doit être maintenue aussi constante et stable que possible par l'exploitation de l'installation de BOG mais sans retournant le liquide récupéré.

Pour l'estimation du taux d'évaporation du aux échanges thermiques avec le milieu extérieur par la formule suivante :  $\tau$  (vol/jour) =  $Q_t \times 100 / (V * \rho * L)$

La surface d'échange est partagée en trois surfaces :

- Surface d'échange à travers la paroi cylindrique du bac.
- Surface d'échange à travers le fond du bac.
- Surface d'échange à travers le toit du bac.

**a. Calcul La quantité de chaleur transférée à travers la surface du fond du bac :**

A cette surface, on a un transfert de chaleur par conduction et l'expression du flux thermique est comme suit :

$$\varphi = U \times S \times \Delta T ;$$

Avec U est :

$$U = (\sum e/\lambda)^{-1}; \text{ et } \Delta T = T_o - T_1$$

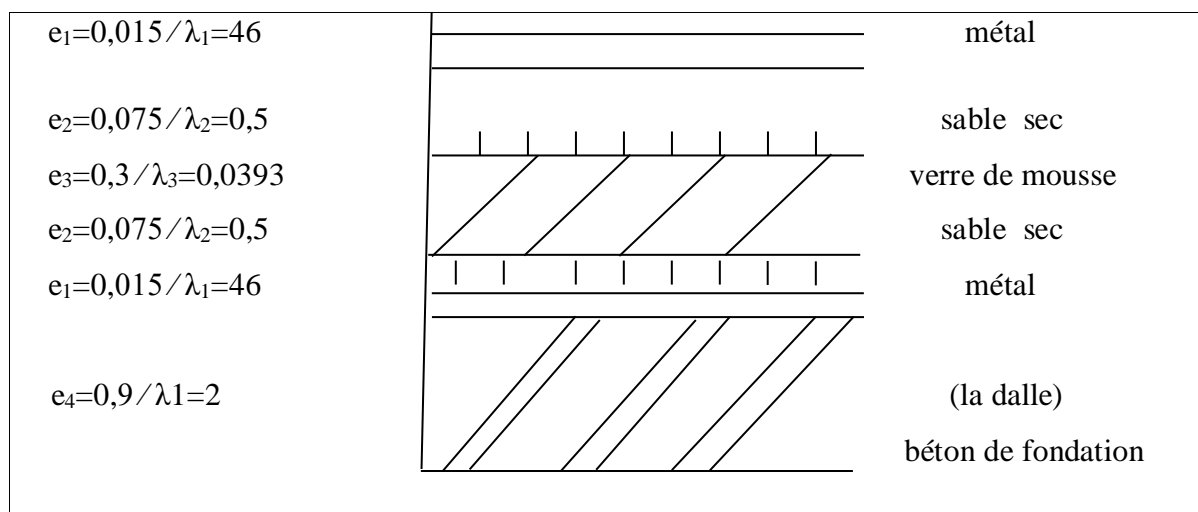
**T<sub>o</sub>**: température du dessous du radier = 38°C

**T<sub>1</sub>**: température moyenne du liquide de la surface du fond intérieur = -44°C

Vu la surface du fond se divise en trois parties dont chaque partie a une structure différente de la deuxième, en conséquence une conductivité thermique différentes, la quantité de chaleur libérée et le flux thermique transfère seront aussi bien différents dans chaque partie.

A cet effet, nous avons procédés à la détermination de ce flux dans chaque partie et il est comme suit :

**i. Flux thermique transféré de la surface A (centre du fond)**



**Figure V.2** : Schéma de la surface A du fond de bac T0005

$$U_A = \left\{ \sum e/\lambda \right\}^{-1} = \left\{ (2 \cdot e_1/\lambda_1) + (2 \cdot e_2/\lambda_2) + (e_3/\lambda_3) + (e_4/\lambda_4) \right\}^{-1}$$

$$U_A = \left\{ (2 \cdot 0,015/46) + (2 \cdot 0,075/0,5) + (0,3/0,0393) + (0,9/2) \right\}^{-1}$$

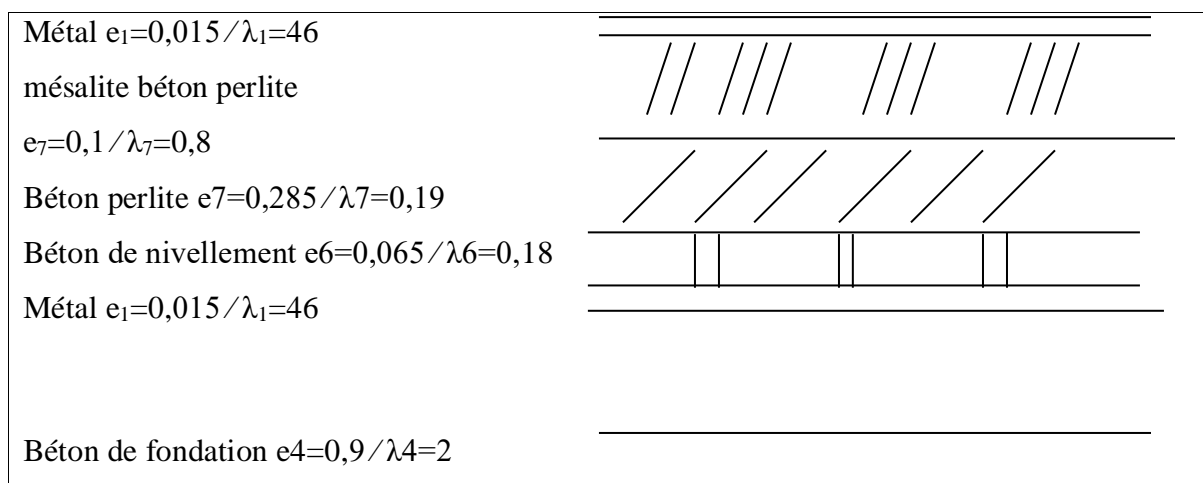
$$U_A = 0,119 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{°C.h}$$

$$\varphi_A = U_A \times A \times \Delta T = U_A \times \pi \times (D_0/2)^2 \times (T_0 - T_1)$$

$$\varphi_A = 0,119 \times \pi \times (53,55/2)^2 \times (38+44) = 21965,92 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_A = 21965,92 \text{ kcal/h}$$

## ii. Flux thermique transféré de la surface B



**Figure V.3** : Schéma de la surface B du fond de bac T0005

$$U_B = \left\{ (2 \cdot e_1/\lambda_1) + (e_7/\lambda_7) + (e_5/\lambda_5) + (e_6/\lambda_6) + (e_4/\lambda_4) \right\}^{-1}$$

$$U_B = \left\{ (2 \cdot 0,015/46) + (0,1/0,8) + (0,285/0,19) + (0,065/0,18) + (0,9/2) \right\}^{-1}$$

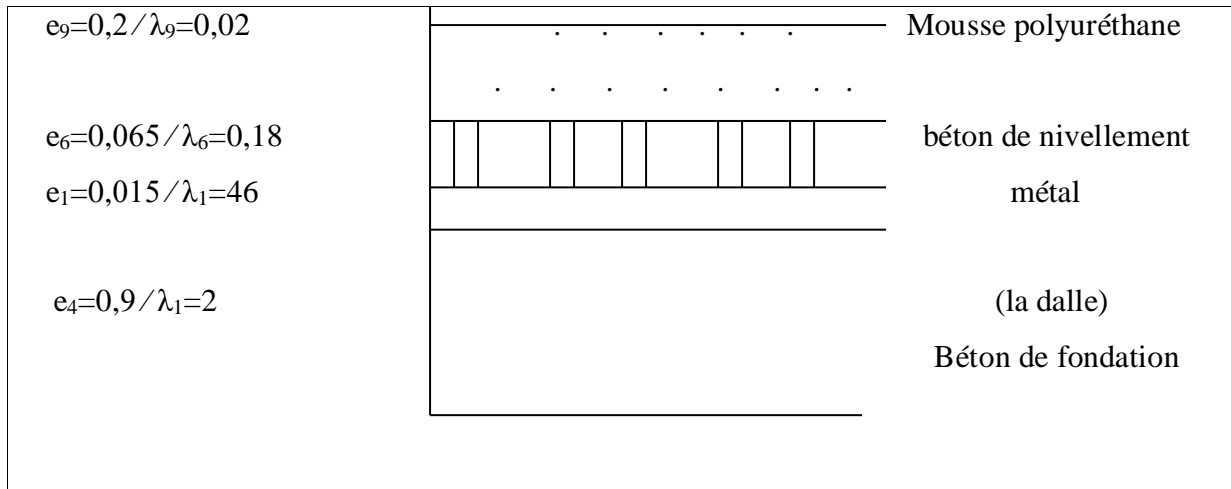
$$U_B = 0,410 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{°C.h}$$

$$\varphi_B = U_B \times B \times \Delta T = U_B \times \pi \times (D_3^2 - D_0^2)/4 \times (T_0 - T_1)$$

$$\varphi_B = 0,410 \times \pi \times (56,03^2 - 53,55^2)/4 \times (38+44) = 7172,17 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_B = 7172,17 \text{ kcal/h}$$

### iii. Flux thermique transféré de la surface C



**Figure V.4 :** Schéma de la surface C du fond de bac T0005

$$U_C = \{ (e_9/\lambda_9) + (e_6/\lambda_6) + (e_1/\lambda_1) + (e_4/\lambda_4) \}^{-1}$$

$$U_C = \{ (0,2/0,02) + (0,065/0,18) + (0,015/46) + (0,9/2) \}^{-1}$$

$$U_C = 0.0924 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{°C.h}$$

$$\varphi_C = U_C \times C \times \Delta T = U_C \times \{ \pi \times (D_6^2 - D_3^2)/4 \} \times (T_o - T_1)$$

$$\varphi_C = 0,0924 \times \{ \pi \times (58,03^2 - 56,03^2)/4 \} \times (38+44) = 1356,81 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_C = \mathbf{1356,81 \text{ kcal/h}}$$

La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface du fond du bac pendant 24 heures égale à:

$$Q_{\text{fond}} = (\varphi_A + \varphi_B + \varphi_C) \times 24$$

$$Q_{\text{fond}} = (21965,92 + 7172,17 + 1356,81) \times 24$$

$$Q_{\text{fond}} = \mathbf{731877,60 \text{ kcal}}$$

### b. Calcul La quantité de chaleur transférée à travers la surface de latérale du bac :

La surface latérale du bac est d'une forme cylindrique et elle est composée de deux couches, deux parois métalliques séparées par un champ de vide. Cependant, le flux thermique traverse la paroi métallique extérieure par conduction et arrive à la deuxième paroi par rayonnement pour qu'il traverse cette surface par conduction et arrive au liquide.

L'expression du flux à ce niveau est donc :

$$\varphi = \varphi_{i1} + \varphi_{i2}$$

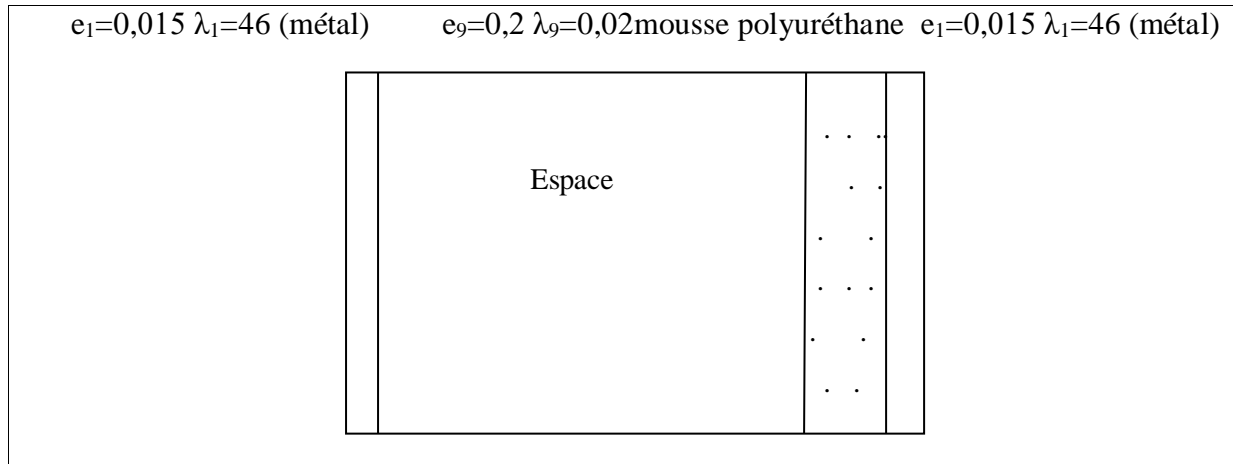
Donc:

$$\varphi_{i1} = U \times H \times (T_{so} - T_{si}) \quad \text{et} \quad \varphi_{i2} = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4)$$

Avec

$$U = 2 \times \pi \times \{\sum 1/\lambda \times \ln (D_0/D_1)\}^{-1}$$

**i. Flux thermique transféré durant la période de la journée : Surface ensoleillée**



**Figure V.5 :** Schéma de la surface du latérale de bac T0005

$$U_{11} = 2 \times \pi \times \{1/\lambda_9 \times \ln (D_5/D_4) + 1/\lambda_1 \times \ln (D_2/D_1)\}^{-1}$$

$$U_{11} = 2 \times 3,14 \times \{1/0,02 \times \ln (58,00/57,6) + 1/46 \times \ln (55,63/55,60)\}^{-1}$$

$$U_1 = 18,148 \text{ kcal/m.h.}^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{11} = U_1 \times H/2 \times (T_0 - T_1) = 18,148 \times (31,86/2) \times (65+43) = 31222,54 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_{12} = 5,675 \times 10^{-8} \times 0,9 \times 2\pi H/2 (D_4 - D_2) \{(273-37)^4 - (273-43)^4\} = 1528,17 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_1 = 31222,54 + 1528,17$$

$$\varphi_1 = \mathbf{32750,71 \text{ kcal/h}}$$

**ii. Flux thermique transféré durant la période de la journée : Surface non ensoleillée**

$$U_2 = 2 \times \pi \times \{1/\lambda'_9 \times \ln (D_5/D_4) + 1/\lambda'_1 \times \ln (D_2/D_1)\}^{-1}$$

$$U_2 = 2 \times 3,14 \times \{(1/0,017) \times \ln (58,00/57,6) + (1/45) \times \ln (55,63/55,60)\}^{-1}$$

$$U_2 = 15,426 \text{ kcal/m}^2\text{.h.}^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{21} = U_2 \times H \times (T_0 - T_1) = 15,426 \times (31,86/2) \times (38+43) = 26540,03 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_{22} = 5,675 \times 10^{-8} \times 0,9 \times 2\pi H/2 (D_4 - D_2) \{(273-39)^4 - (273-43)^4\} = 1005,63 \text{ kcal/h}$$

$$\varphi_2 = 26540,03 + 1005,63$$

$$\varphi_2 = \mathbf{27545,66 \text{ kcal/h}}$$

**iii. Flux thermique transféré durant la période de la nuit**

$$U_3 = 2 \times \pi \times \{1/\lambda'_9 \times \ln(D_5/D_4) + 1/\lambda'_1 \times \ln(D_2/D_1)\}^{-1}$$

$$U_3 = 2 \times 3,14 \times \{(1/0,017) \times \ln(58,00/57,6) + (1/45) \times \ln(55,63/55,60)\}^{-1}$$

$$U_3 = 15,426 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$$

$$\phi_{31} = U_1 \times H \times (T_0 - T_1) = 15,426 \times (31,86) \times (38+43) = 53080,06 \text{ kcal/h}$$

$$\phi_{32} = 5,675 \times 10^{-8} \times 0,9 \times 2\pi H (D_4 - D_2) \{(273-39)^4 - (273-43)^4\} = 2011,25 \text{ kcal/h}$$

$$\phi_3 = 53080,06 + 2011,25$$

$$\phi_3 = 55091,31 \text{ kcal/h}$$

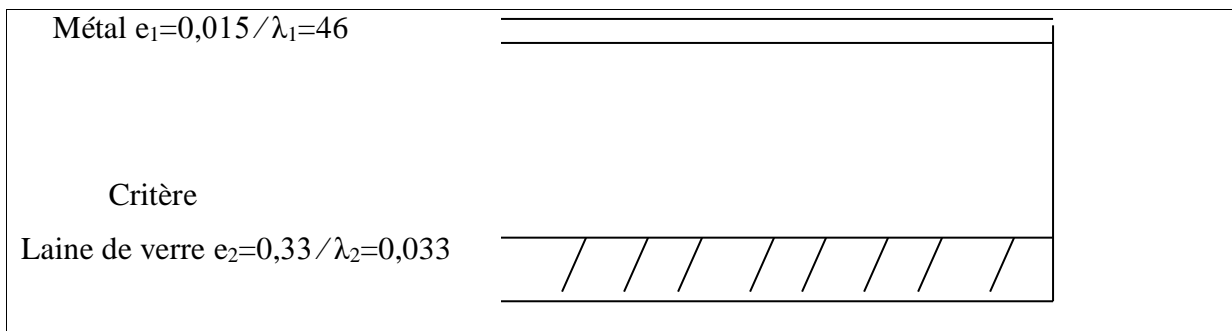
Pendant une période de 24 heures, la surface latérale transmet une quantité de chaleur égale à :

$$Q_{\text{surf latérale}} = \phi_1 \times 6 + \phi_2 \times 6 + \phi_3 \times 12$$

$$Q_{\text{surf latérale}} = 32750,71 \times 6 + 27545,66 \times 6 + 55091,31 \times 12$$

$$Q_{\text{surf latérale}} = 1016873,94 \text{ kcal}$$

**c. Calcul La quantité de chaleur transférée à travers la surface du toit du bac :**



**Figure V.6 :** Schéma de la surface du toit de bac T0005

De même que pour la surface latérale, le toit est aussi bien composé de plusieurs couches, les formules du flux de chaleur sont comme suit :

$$\phi = \Phi \times S$$

Ces formules sont équilibrées de chaque couche du toit :

$$\Phi_{01} = \lambda_{01} \times (T_0 - T_1) / 0,3$$

..... Transfert de chaleur par conduction thermique (couche I).

$$\Phi_{12} = (5,675 / (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1)) \times \{(273 + T_1/100)^4 - (273 + T_2/100)^4\} + \lambda_{12} \times (T_1 - T_2) / 4,5505$$

..... Transfert de chaleur par radiation (couche du vide).

$$\Phi_{23} = \lambda_{23} \times (T_2 - T_3) / 0,35$$

..... Transfert de chaleur par conduction thermique (couche II).

**i. Flux thermique transféré durant la période de la journée (Atmosphère ensoleillée)**

$\lambda_{01} = 2,3$  (concrète) ;  $\lambda_{12} = 0,023$  (propane vapeur) ;  $\lambda_{23} = 0,033$  (laine de verre)

$T_0 = t_{sr1} = 65^\circ\text{C}$  et  $T_3 = -43^\circ\text{C}$  ;  $T_1 = 63,3^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 61,5^\circ\text{C}$

$$\Phi_{23} = \lambda_{23} \times (T_2 - T_3) / 0,35 = 0,033 \times (61,5 + 43) / 0,35$$

$$\Phi_{23} = 9,85 \text{ kcal/h.m}^2$$

$$\varphi_1 = \Phi_{23} \times [(2 \times \pi \times R \times H) + (\pi \times (d/2)^2)] \times 1/2$$

$$\varphi_1 = 9,85 \times [(2 \times \pi \times 46,90 \times 10,052) + (\pi \times (27,615)^2)] \times 1/2$$

$$\varphi_1 = 26374,18 \text{ kcal/h}$$

**ii. Flux thermique transféré durant la période de la nuit**

$\lambda_{01} = 2,3$  (concrète) ;  $\lambda_{12} = 0,022$  (propane vapeur) ;  $\lambda_{23} = 0,032$  (laine de verre)

$T_0 = T_{sr2} = 38^\circ\text{C}$  et  $T_3 = -43^\circ\text{C}$  ;  $T_1 = 36,7^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 35^\circ\text{C}$

$$\Phi'_{23} = \lambda_{23} \times (T_2 - T_3) / 0,35 = 0,032 \times (35 + 43) / 0,35$$

$$\Phi'_{23} = 7,13 \text{ kcal/h.m}^2$$

$$\varphi_2 = \Phi'_{23} \times [(2 \times \pi \times R \times H) + (\pi \times (d/2)^2)] \times 1/2$$

$$\varphi_2 = 7,13 \times [(2 \times \pi \times 46,90 \times 10,052) + (\pi \times (27,615)^2)] \times 1/2$$

$$\varphi_2 = 19091,16 \text{ kcal/h}$$

La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface du toit pendant 24 heures égale à :

$$Q_{\text{toit}} = \varphi_1 \times 12 + \varphi_2 \times 12$$

$$Q_{\text{toit}} = 26374,18 \times 12 + 19091,16 \times 12$$

$$Q_{\text{toit}} = 545584,08 \text{ kcal}$$

D'après les résultats ressortis, on peut déduire la quantité de la chaleur totale transmise au liquide à travers la surface globale du bac pendant 24 heures :

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 731877,60 + 1016873,94 + 545584,08$$

$$Q_t = 2294335,62 \text{ kcal}$$

Le tableau ci-dessous résume les résultats des quantités de chaleur transmise au liquide à travers la surface totale du bac :

**Tableau V.4 : Quantités de chaleur de la surface de bac T0005**

surface	Quantité de chaleur (kcal)
fond	731877,60
Latérale	1016873,94
Toit	545584,08
Total	2294335,62

A cet effet, le taux d'évaporation sera égale à :

$$\tau \text{ (vol /jour)} = Q_t \times 100 / (V \times \rho \times L)$$

V = la capacité de stockage (m<sup>3</sup>)=76053 m<sup>3</sup>

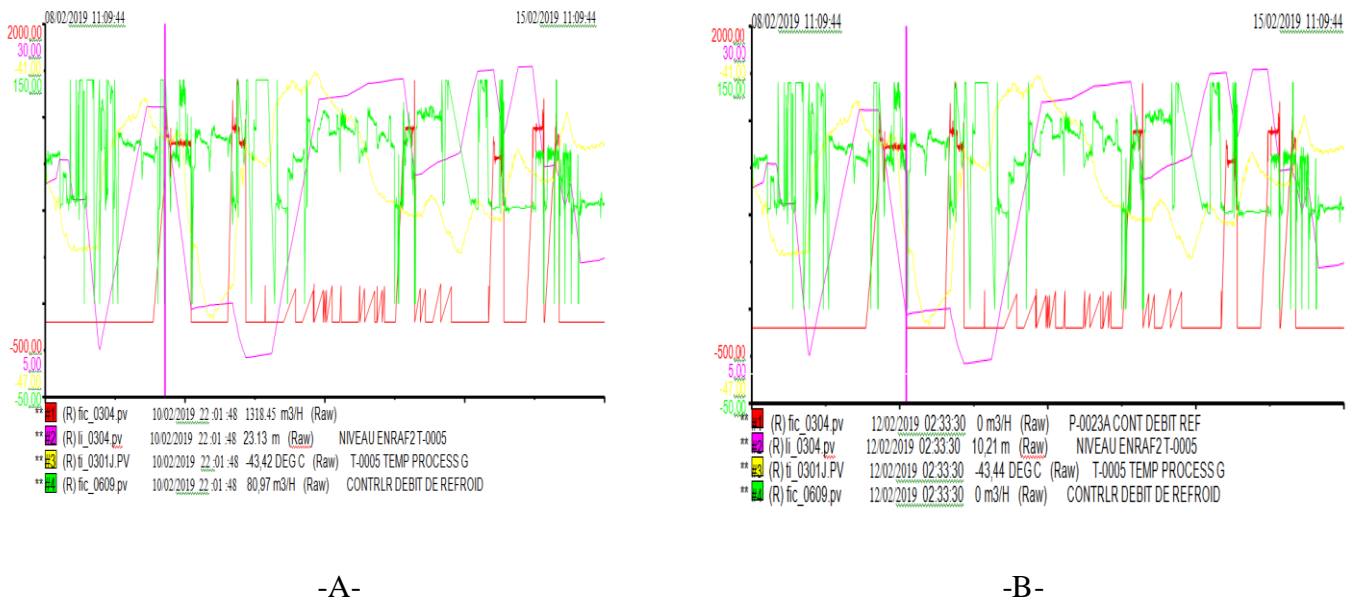
$$\tau \text{ (vol /jour)} = 2662120,32 \times 100 / (76053 \times 590 \times 101,75)$$

$$\tau \text{ (% vol/jour)} = 0,050 \text{ (% vol/jour)} < 0,075 \text{ (% vol/jour)}$$

**V.3.3. 3<sup>e</sup> Cas : Bac en expédition**

Idem que le cas de réception, le calcul du taux d'évaporation pendant l'expédition ce fait par la différenciation des deux volumes qui sont estimés par le niveau du bac retiré des capteurs de niveau d'un côté et par le débit de la pompe de l'autre côté.

**a. Calcul le volume en cours de l'expédition à partir de niveau du bac :**



**Figure V.7 : Diagramme de fonctionnement de bac T0005 en expédition**

(A : Début d'expédition, B : fin d'expédition)

**Début de l'expédition :**

$$V = S \times h = \pi \times (d^2/4) \times h$$

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 23,13$$

$$V = 55385,41 \text{ m}^3$$

**Fin de l'expédition :**

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 10,21$$

$$V = 24448,12 \text{ m}^3$$

D'après ces diagrammes, nous avons récoltés les données suivantes :

**Tableau V.5 :** Les paramètres de bac T0005 en expédition

Les paramètres	Début de l'expédition	Fin de l'expédition
La date	10/02/2019	12/02/2019
Heure (h)	22 :01 :48	02 :33 :30
$\Delta t$ (s)	102702	
Niveau (m)	23,13	10,21
Température (°C)	-43,42	-43,44
Volume (m <sup>3</sup> )	55385,41	24448,12
Volume (m <sup>3</sup> )	30937,29	

**b. Calcul du volume en cours de l'expédition à partir de débit de la pompe de chargement :**

L'expédition à partir du bac T0001 se fait par biais d'une pompe de débit 1318,75 m<sup>3</sup>/h, a cet effet le volume transféré durant une période de 28,53 heures est de :

$$\text{Débit} = \text{Volume}/\text{temps} \rightarrow \text{Volume} = \text{Débit} * \text{Temps}$$

$$V'_2 = 37613,18 \text{ m}^3$$

En prend en compte aussi le volume supplémentaire qui fait le retour vers le bac de stockage et qui peut être déterminé également par le débit de retour :

$$\text{Débit} = \text{Volume}/\text{temps} \rightarrow \text{Volume} = \text{Débit} * \text{Temps} = 80,97 \times 28,53$$

$$V''_2 = 2310,07 \text{ m}^3$$

**Tableau V.6 :** Les volumes de bac T0001 en expédition

Estimations des résultats	Volume (m <sup>3</sup> )
V <sub>1</sub> (calculé par le niveau)	30937,29
V <sub>2</sub> (calculé par un débit de la pompe) $V_2 = V'_2 - V''_2$	37613,18
	2310,07
	35303,11
$\Delta V \text{ (m}^3\text{)} = V_2 - V_1$	4365,82

D'après l'étude du bac T0005 dans une période d'expédition, on a déterminé le volume évaporé et qui est de :

$$\Delta V = 4365,82 \text{ m}^3$$

$$\left. \begin{array}{l} V_T(\text{bac T0005}) \rightarrow 100 \% \\ \Delta V \rightarrow \% \text{Vol} \end{array} \right\} \boxed{\% \text{Vol} = 5.74}$$

En conséquence, le taux d'évaporation est de :

$$\tau = \frac{\% \text{volume évaporé}}{\text{temp}(\text{jour})} = \frac{5,7}{1,188} = 4,83$$

$$\tau (\% \text{ vol/jour}) = 4,83 (\% \text{ vol/jour})$$

### V.1. Calcul le taux d'évaporation du BAC T0001

#### V.4.1. 1<sup>er</sup> Cas : Bac en réception

Pour l'évaluation des pertes dans le bac de stockage T0001, nous avons suivi la même méthode de calcul que celle adoptée pour le bac T0005. A cet effet, et par la différenciation des deux volumes attirés des indicateurs de niveau d'un côté et des débits des pompes de réception nous avons déterminés le taux d'évaporation de cette étape.

##### a. Calcul du volume en cours de réception à partir du niveau du bac :

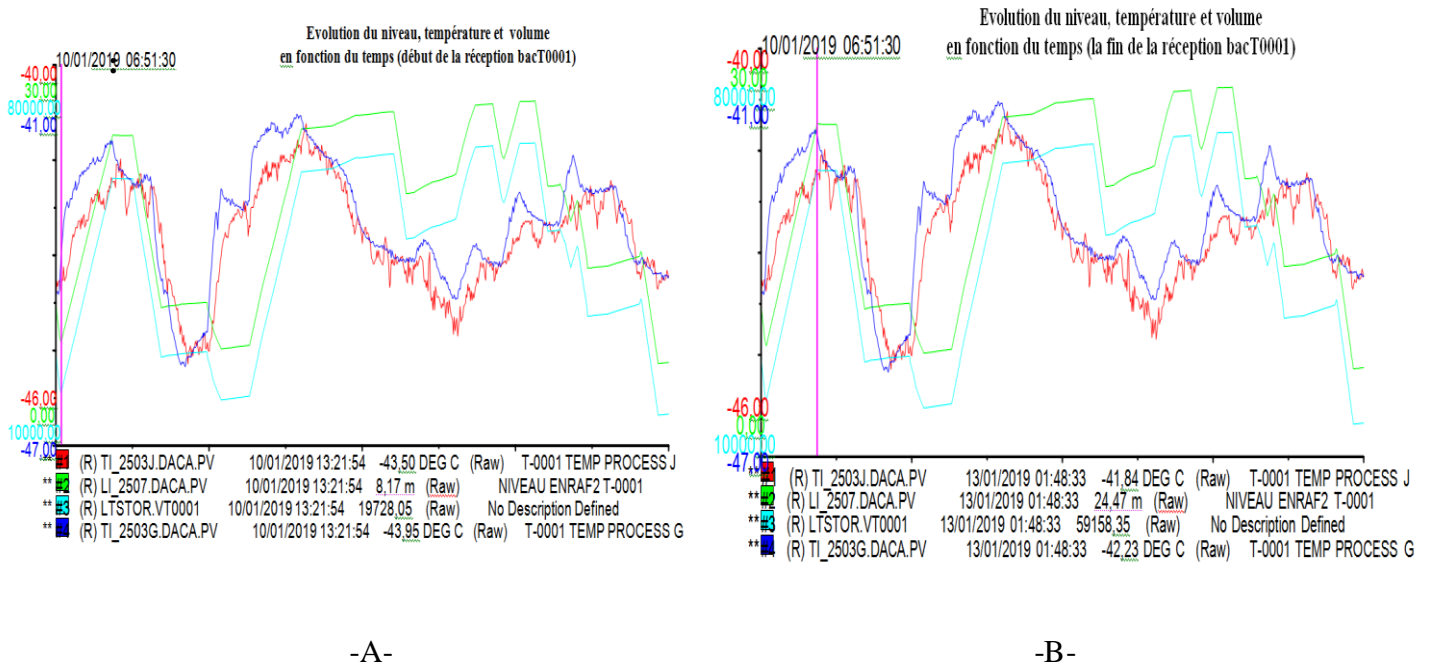


Figure V.8 : Diagramme de fonctionnement de bac T0001 en réception

(A : Début de réception, B : fin de réception)

**Début de la réception :**

$$V = S \times h = \pi \times (d^2/4) \times h$$

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 8,17$$

$$V = 19847,68 \text{ m}^3$$

**Fin de réception :**

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 24,47$$

$$V = 59445,87 \text{ m}^3$$

D'après les paramètres indiqués sur le diagramme de fonctionnement ci-dessus, nous avons statué sur les résultats suivants

**Tableau V.7 :** Les paramètres de bac T0001 en réception (volume par niveau)

Les paramètres	Début de la réception	Fin de la réception
La date	10/01/2019	13/01/2019
Heure (h)	13 :21 :54	01 :48 :33
Niveau (m)	8,17	24,47
Volume (m <sup>3</sup> )	19847,68	59445,87
Température (°C)	-43,95	-42,23
$\Delta V_1$ (m <sup>3</sup> )	39598,20	
$\Delta t$ (s)	217579	

**b. Calcul du volume en cours de réception à partir du débit de sortie des trains :**

**Tableau V.8 :** La situation et le débit sorti des Trains

Trains	Fractionnateur	Deéthaniseurs	Débit sortie du train (m <sup>3</sup> /h)
Train 100	en service	Arrêt	107,98
Train 200	en service	Arrêt	107,8
Train 300	en service	Arrêt	107,41
Train 400	Arrêt	Arrêt	0,00
Train 500	Arrêt	Arrêt	0,00
Train 600	en service	Arrêt	88,44
Train 700	en service	en service	107,67
Train 800	en service	en service	104,15
Train 900	en service	en service	111,62
<b>Total</b>	<b>7 en service</b> <b>2 en Arrêt</b>	<b>3 en service</b> <b>4 en Arrêt</b>	<b>735,07</b>

La réception du produit au niveau des bacs se fait pendant un débit total de 735,07 m<sup>3</sup>/h. A partir de la relation qui lie le débit au volume, on déduit ce dernier :

$$\text{DébitT} = \text{Volume}/\text{temps} \rightarrow \text{Volume} = \text{DébitT} * \text{Temps}$$

$$\mathbf{V_2 = 44426,60 \text{ m}^3}$$

Le tableau ci-dessous résume les paramètres et les résultats trouvés :

**Tableau V.9** : Les paramètres de bac T0005 en réception (volume par débit)

Les paramètres	Début de la réception	Fin de la réception
La date	10/01/2011	13/01/2011
Heure (h)	13 :21 :54	01 :48 :33
Température (°C)	-43,95	-42,23
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>44426,60</b>	

D'après l'étude du bac T0001 durant une période de réception, nous avons pu statuer sur le taux d'évaporation et qui est de :

$$\Delta V = 44426,60 - 39598,20 = \mathbf{4828,40 \text{ m}^3}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_T(\text{bac T0001}) \rightarrow 100 \% \\ \Delta V \rightarrow \%Vol \end{array} \right\} \boxed{\%Vol = 7,1}$$

$$\text{Le taux d'évaporation : } \tau = \frac{\% \text{volume évaporé}}{\text{temp}(\text{jour})} = \frac{7,1}{2,518} = 2,82$$

$$\boxed{\tau (\% \text{ vol/jour}) = 2,82 (\% \text{ vol/jour})}$$

#### V.4.2. 2<sup>e</sup> Cas : Bac au repos

Dans ce réservoir nous avons également fait les mêmes hypothèses dans le réservoir précédent

##### a. Calcule de la quantité de chaleur transférée à travers la surface du fond du bac :

A cette surface, on a un transfert de chaleur par conduction et l'expression du flux thermique est comme suit :

$$\varphi = U \times S \times \Delta T$$

Avec U est :

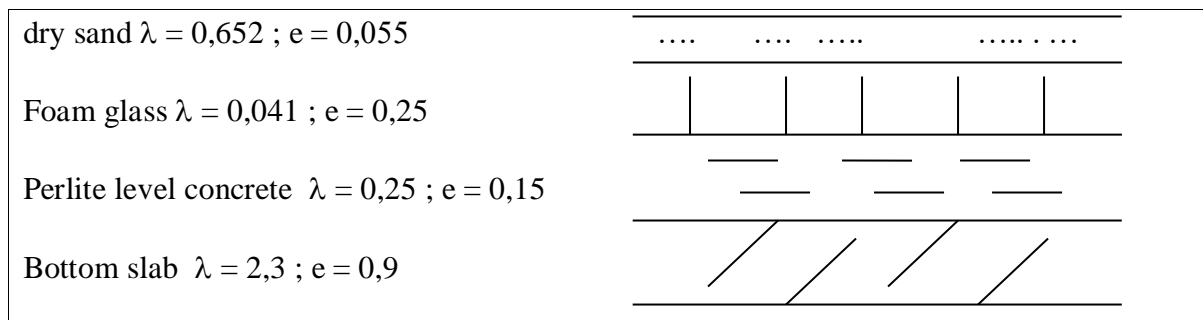
$$U = \left( \sum e/\lambda \right)^{-1}; \text{ et } \Delta T = T_0 - T_1$$

$T_{bo}$  : température du dessous du radier = 38°C

$T_{bi}$  : température moyenne du liquide de la surface du fond intérieur = -41°C

Vu que la surface du fond à plusieurs sections dont chaque section est caractérisée par une structure différente, nous avons procédé à la détermination de ce flux dans chaque partie et il est comme suit :

**i. Flux thermique transféré de la surface A**



**Figure V.9** : Schéma de la surface A du fond de bac T0001

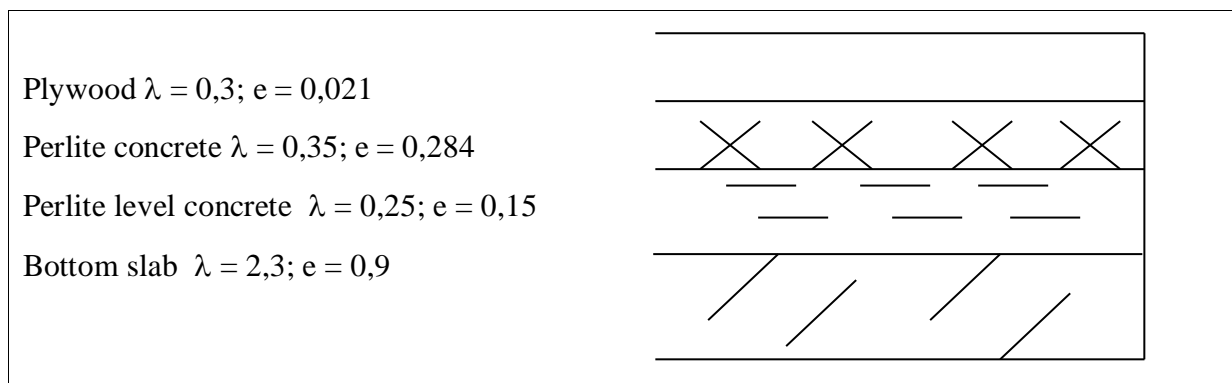
$$U_A = \left( 0,055/0,652 + 0,25/0,041 + 0,15/0,25 + 0,9/2,3 \right)^{-1}$$

$$U_A = 0,1395 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$\varphi_A = 0,1395 \times \pi \times 27,015^2 \times \{38+41\} = 25255 \text{ W}$$

$$\varphi_A = 25255 \text{ W}$$

**ii. Flux thermique transféré de la surface B**



**Figure V.10** : Schéma de la surface B du fond de bac T0001

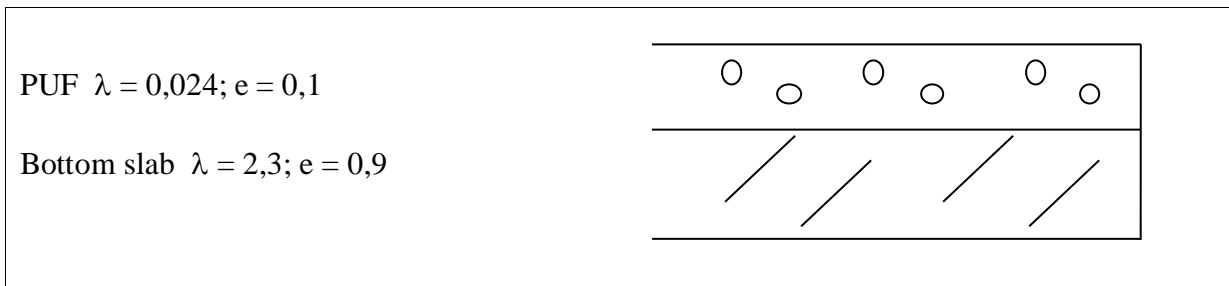
$$U_B = \left( 0,021/0,3 + 0,284/0,35 + 0,15/0,25 + 0,9/2,3 \right)^{-1}$$

$$U_B = 0,5340 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$\varphi_B = 0,5340 \times \pi \times (28,115^2 - 27,015^2) \times \{38+41\} = 8034 \text{ W}$$

$$\varphi_B = 8034 \text{ W}$$

### iii. Flux thermique transféré de la surface C



**Figure V.11** : Schéma de la surface C du fond de bac T0001

$$U_C = (0,1/0,024 + 0,9/2,3)^{-1}$$

$$U_C = 0,2193 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\phi_C = 0,2193 \times \pi \times (28,815^2 - 28,115^2) \times (38 + 41) = 2168 \text{ W}$$

$$\phi_C = 2168 \text{ W}$$

La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface du fond du bac pendant 24 heures égale à:

$$Q_1 = (\phi_A + \phi_B + \phi_C) \times 24$$

$$Q_1 = (25255 + 8033 + 2168) \times 24$$

$$Q_1 = 850968 \text{ W.h}$$

### b. Calcule de La quantité de chaleur transférée à travers la surface latérale du bac :

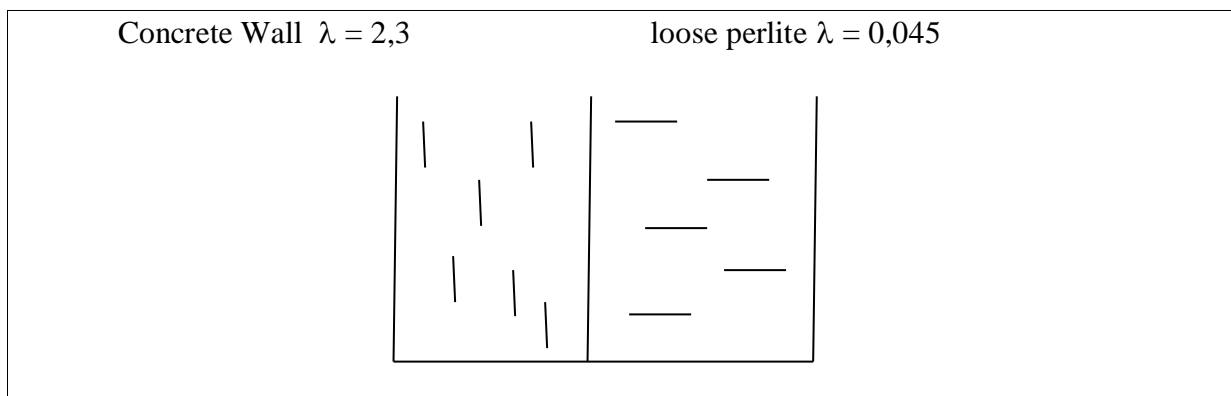
La surface latérale du bac est d'une forme cylindrique et elle est composée de plusieurs couches et plusieurs sections. En conséquence, le transfert de chaleur se passe par conduction et arrive au liquide toute on prend en considération la conductivité thermique de chaque matériau. L'expression du flux à ce niveau est donc :

$$\phi = U \times H \times (T_{so} - T_{si})$$

Avec

$$U = 2 \times \pi \times \left\{ \sum 1/\lambda \times \ln (R_0/R_i) \right\}^{-1}$$

### i. Flux thermique transféré à travers la surface A



**Figure V.12** : Schéma de la surface A de latérale de bac T0001

▪ **Durant la période de la journée : Surface ensoleillée**

$$U_{A1} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,045 \ln (28,815/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{A1} = 7,9147 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

$$\varphi_{A1} = \{7,9147 \times 1,73/2 \times (65+41)\} \times 1/2$$

$$\varphi_{A1} = 364 \text{ W}$$

▪ **Durant la période de la journée : Surface non ensoleillée**

$$U_{A2} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,042 \ln (28,815/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{A2} = 7,393 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

$$\varphi_{A2} = \{7,393 \times 1,73/2 \times (38+41)\} \times 1/2$$

$$\varphi_{A2} = 254 \text{ W}$$

▪ **Durant la période de la nuit**

$$U_{A3} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,042 \ln (28,815/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{A3} = 7,393 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

$$\varphi_{A3} = \{7,393 \times 1,73 \times (38+41)\}$$

$$\varphi_{A3} = 508 \text{ W}$$

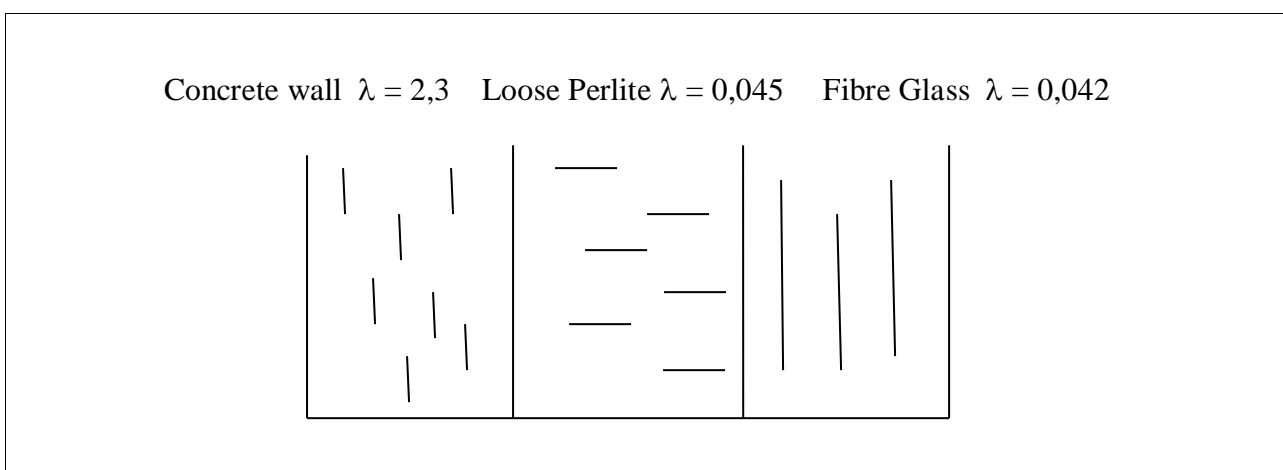
La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface A pendant 24 heures égale à :

$$Q_A = \varphi_{A1} \times 6 + \varphi_{A2} \times 6 + \varphi_{A3} \times 12$$

$$Q_A = 364 \times 6 + 254 \times 6 + 508 \times 12$$

$$Q_A = 9804 \text{ W.h}$$

ii. **Flux thermique transféré à travers la surface B**



**Figure V.13** : Schéma de la surface B de latérale de bac T0001

▪ **Durant la période de la journée : Surface ensoleillée**

$$U_{B1} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,045 \ln (28,815/27,935) + 1/0,042 \ln (27,935/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{B1} = 7,848 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\phi_{B1} = \{7,848 \times 27,27/2 \times (65+41)\}$$

$$\phi_{B1} = 11344 \text{ W}$$

▪ **Durant la période de la journée : Surface non ensoleillée**

$$U_{B2} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,042 \ln (28,815/27,935) + 1/0,042 \ln (27,935/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{B2} = 7,393 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\phi_{B2} = \{7,393 \times 27,27/2 \times (38+41)\}$$

$$\phi_{B2} = 7964 \text{ W}$$

▪ **Durant la période de la nuit**

$$U_{B3} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,042 \ln (28,815/27,935) + 1/0,042 \ln (27,935/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{B3} = 7,393 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\phi_{B3} = \{7,393 \times 27,27 \times (38+41)\}$$

$$\phi_{B3} = 15928 \text{ W}$$

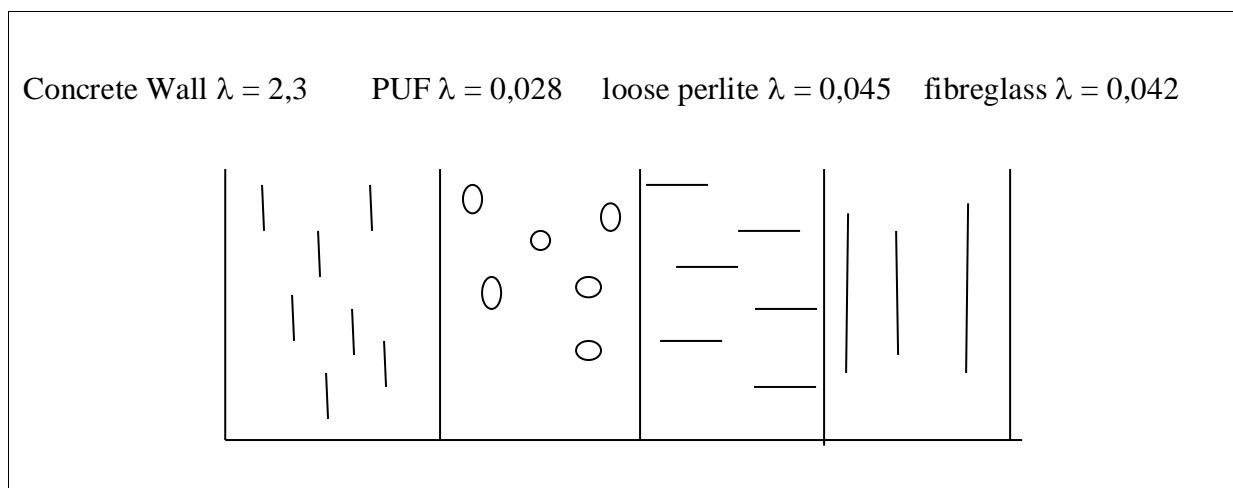
La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface B pendant 24 H  
heurs égale à :

$$Q_B = \phi_{B1} \times 6 + \phi_{B2} \times 6 + \phi_{B3} \times 12$$

$$Q_B = 11344 \times 6 + 7964 \times 6 + 15928 \times 12$$

$$Q_B = 306984 \text{ W.h}$$

iii. **Flux thermique transféré à travers la surface C**



**Figure V.14 :** Schéma de la surface C de latérale de bac T0001

▪ **Durant la période de la journée : Surface ensoleillée**

$$U_{C1} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,028 \ln (28,815/28,715) + 1/0,045 \ln (28,715/27,935) + 1/0,042 \ln(27,935/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{C1} = 7,413 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{C1} = 7,413 \times (5,00 + 4,54)/2 \times (65 + 41) \text{ sunny area}$$

$$\varphi_{C1} = 1874 \text{ W}$$

▪ **Durant la période de la journée : Surface non ensoleillée**

$$U_{C2} = 2 \times \pi \times \{(1/2,3) \times \ln (29,415/28,815) + (1/0,024) \times \ln (28,815/28,715) + (1/0,042) \times \ln (28,715/27,935) + (1/0,042) \times \ln (27,935/27,815)\}^{-1}$$

$$U_{C2} = 6,890 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{C2} = 6,890 \times (5,00 + 4,54)/2 \times (38 + 41) \text{ shade area}$$

$$\varphi_{C2} = 1298 \text{ W}$$

▪ **Durant la période de la nuit**

$$U_{C3} = 2 \times \pi \times \{1/2,3 \ln (29,415/28,815) + 1/0,022 \ln (28,815/28,715) + 1/0,042 \ln (28,715/27,935) + 1/0,042 \ln (27,935/27,815)\}$$

$$U_{C3} = 6,890 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{C3} = 6,890 \times (5,00 + 4,54)/2 \times (38 + 41) \text{ shade area}$$

$$\varphi_{C3} = 2596 \text{ W}$$

La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface C pendant 24 heures égale à :

$$Q_C = \varphi_{C1} \times 6 + \varphi_{C2} \times 6 + \varphi_{C3} \times 12$$

$$Q_C = 1874 \times 6 + 1298 \times 6 + 2596 \times 12$$

$$Q_C = 50184 \text{ W.h}$$

En conclusions, La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface latérale pendant une période de 24 heures est égale à :

$$Q_2 = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$Q_2 = 9804 + 306984 + 50184$$

$$Q_2 = 366972 \text{ W.h}$$

**a. Calcul La quantité de chaleur transférée à travers la surface du toit du bac :**

Le toit est composé de plusieurs couches de natures différentes, les formules du flux de chaleur sont comme suit :

$$\varphi = \Phi \times S$$

Ces formules sont équilibrées de chaque couche du toit :

$$\Phi_{01} = \lambda_{01} \times (T_0 - T_1)/0,3$$

..... Transfert de chaleur par conduction thermique (couche I).

$$\Phi_{12} = (5,675 / (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1)) \times \{ (273 + T_1/100)^4 - (273 + T_2/100)^4 \} + \lambda_{12} \times (T_1 - T_2) / 4,5505$$

..... Transfert de chaleur par radiation (couche du vide).

$$\Phi_{23} = \lambda_{23} \times (T_2 - T_3) / 0,35$$

..... Transfert de chaleur par conduction thermique (couche II).

### **i. Flux thermique transféré durant la période de la journée (Atmosphère ensoleillée)**

$T_0 = T_{sr1} = 65^\circ\text{C}$  ;  $T_1 = 63,3^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 61,5^\circ\text{C}$  et  $T_3 = -41^\circ\text{C}$ .

$\lambda_{01} = 2,3$  (concrète) ;  $\lambda_{12} = 0,023$  (propane vapeur) ;  $\lambda_{23} = 0,041$  (loose perlite).

$$\Phi_{23} = \lambda_{23} \times (T_2 - T_3) / 0,35 = 0,041 \times (61,5 + 41) / 0,35$$

$$\Phi_{23} = 12 \text{ (w/m.}^\circ\text{C)}$$

$$\varphi_1 = 12 \times (2 \times \pi \times 57,93 \times 8,021 + \pi \times 27,815^2) / 2$$

$$\varphi_1 = 32084,28 \text{ W}$$

### **ii. Flux thermique transféré durant la période de la nuit**

$T_0 = T_{sr2} = 38^\circ\text{C}$  ;  $T_1 = 36,7^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 35^\circ\text{C}$  et  $T_3 = -41$  ;

$\lambda_{01} = 2,3$  (concrète) ;  $\lambda_{12} = 0,022$  (propane vapeur) ;  $\lambda_{23} = 0,040$  (loose perlite)

$$\Phi'_{23} = \lambda_{23} \times (T_2 - T_3) / 0,35 = 0,04 \times (35 + 41) / 0,35$$

$$\Phi'_{23} = 8,69 \text{ (W/m.}^\circ\text{C)}$$

$$\varphi_2 = 8,69 \times (2 \times \pi \times 57,93 \times 8,021 + \pi \times 27,815^2) / 2$$

$$\varphi_2 = 23234,36 \text{ W}$$

La quantité de la chaleur transmise au liquide à travers toute la surface du toit pendant 24 heures égale à :

$$Q_3 = \varphi_1 \times 12 + \varphi_2 \times 12$$

$$Q_3 = 32084,28 \times 12 + 23234,36 \times 12$$

$$Q_3 = 663823,68 \text{ W.h}$$

D'après les résultats ressortis, on peut déduire la quantité de la chaleur totale transmise au liquide à travers la surface globale du bac pendant 24 heures :

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 850968 + 366972 + 663823,68$$

$$Q_t = 1881763,68 \text{ W}$$

Le tableau ci-dessous résume les résultats des quantités de chaleur transmise au liquide à travers la surface totale du bac :

**Tableau V.10 : Quantités de chaleur de la surface de bac T0001**

Surface	Quantité de chaleur (W)
fond	850968
latérale	366972
Toit	663823,68
Total	1881763,68

A cet effet, le taux d'évaporation sera égale à :

$$\tau \text{ (vol /jour)} = Q_t \times 100 / (V \times \rho \times L)$$

V = la capacité de stockage = 68022 m<sup>3</sup>

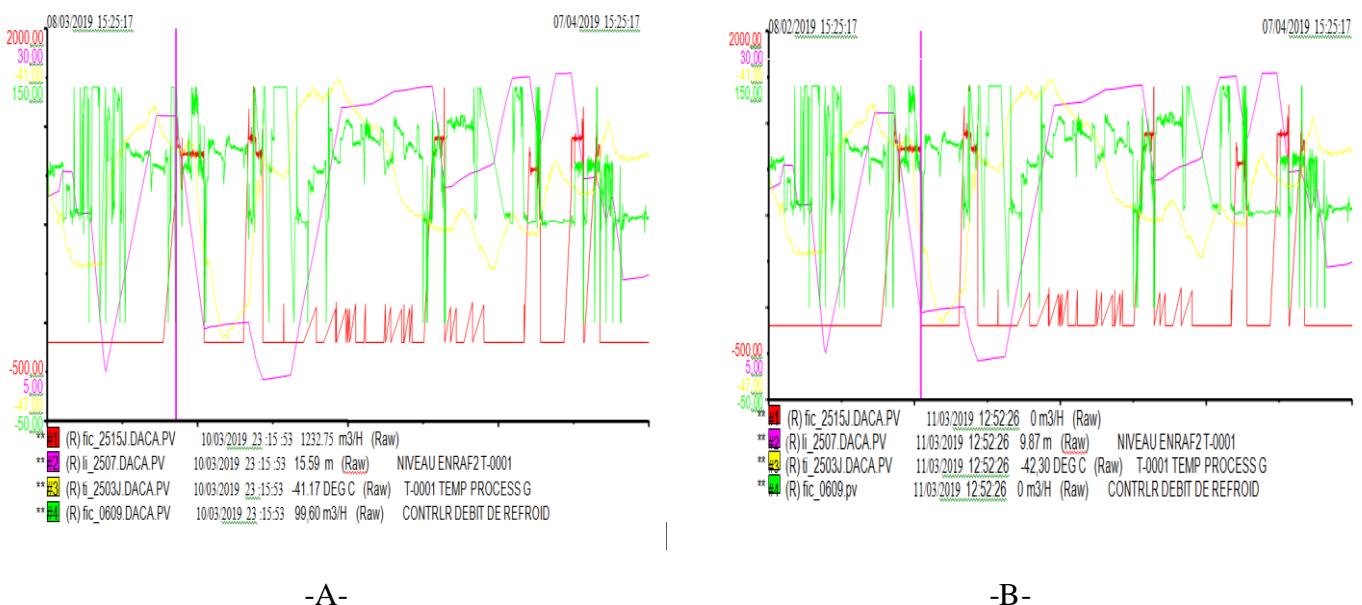
Donc  $\tau \text{ (vol /jour)} = 1881763,68 \times 100 / 68022 \times 590 \times 118,33$

$\tau \text{ (vol /jour)} = 0,039 \% \text{ (% vol/jour)} < 0,05 \% \text{ (% vol/jour)}$

**V.4.3. 3<sup>e</sup> Cas : Bac en expédition**

Idem que le premier cas (bac T0005), le calcul du taux d'évaporation pendant l'expédition ce fait par la différenciation des deux volumes qui sont estimés par le niveau du bac retiré des capteurs de niveau d'un côté et par le débit de la pompe de l'autre côté.

**a. Calcul du volume en cours d'expédition à partir du niveau du bac :**



**Figure V.15 : Diagramme de fonctionnement de bac T0001 en expédition**

(A : Début d'expédition, B : fin d'expédition)

**Début de la réception :**

$$V = S \times h = \pi \times (d^2/4) \times h$$

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 15,59$$

$$V = 37873,36 \text{ m}^3$$

**Fin de réception :**

$$V = 3,14 \times ((55,23)^2/4) \times 9,87$$

$$V = 23977,56 \text{ m}^3$$

D'après ces diagrammes, nous avons récoltés les données suivantes :

**Tableau V.11 :** Les paramètres de BAC T0001 en expédition

Les paramètres	Début de l'expédition	Fin de l'expédition
La date	10/03/2019	11/03/2019
Heure (h)	23 :15 :53	12 :52 :26
$\Delta t$ (s)	48993	
Niveau (m)	15,59	9,87
Volume (m <sup>3</sup> )	37873,36	23977,56
$\Delta V$ (m <sup>3</sup> )	13895,81	
Température (°C)	-41,17	-42,30

**b. Calcul du volume en cours d'expédition à partir de niveau de bac :**

L'expédition à partir du bac T0001 se fait par biais d'une pompe de débit 1232,75 m<sup>3</sup>/h, a cet effet le volume transféré durant une période de 13,61 heures est de :

$$\text{Débit} = \text{Volume}/\text{temps} \rightarrow \text{Volume} = \text{Débit} * \text{Temps}$$

$$V'_2 = 16776,70 \text{ m}^3$$

On note que l'opération inclue aussi le retour des volumes supplémentaires et qui sont de la valeur de :

$$\text{Débit} = \text{Volume}/\text{temps} \rightarrow \text{Volume} = \text{Débit} * \text{Temps} = 99,6 \times 13,61$$

$$V''_2 = 1355,473 \text{ m}^3$$

Les résultats retrouvés sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.12 :** Les volumes de bac T0001 en expédition

Estimations des résultats	Volume (m <sup>3</sup> )
V <sub>1</sub> (calculé par le niveau)	13895,81
V <sub>2</sub> (calculé par un débit de la pompe)	16776,70
$V_2 = V'_2 - V''_2$	1355,473
	15421,227
$\Delta V \text{ (m}^3\text{)} = V_2 - V_1$	1525,417

D'après l'étude du bac T0001 dans une période d'expédition, nous avons statué sur un taux d'évaporation de **3.95%**. Les calculs sont comme suit :

$$\Delta V = 6442,92 \text{ m}^3$$

$$\left. \begin{array}{l} V_T(\text{bac T0005}) \rightarrow 100 \% \\ \Delta V \rightarrow \%Vol \end{array} \right\} \boxed{\%Vol = 2,24}$$

$$\tau = \frac{\% \text{ volume évaporé}}{\text{temp}(\text{jour})} = \frac{2,24}{0,567} = 3,95$$

$$\boxed{\tau (\% \text{ vol/jour}) = 3,95 (\% \text{ vol/jour})}$$

## V.2. Etude comparative du niveau de performance de chaque bac

L'étude ci-dessus est basée sur l'évaluation des pertes au niveau de chaque bac et durant les différentes étapes de fonctionnement. Le tableau ci-après résume ces résultats :

**Tableau V.13** : La différence de taux évaporation entre bac T0005 et bac T0001

	BAC T0005	BAC T0001	$\Delta\tau$
<b>Régime de réception</b>	6,53%	2,82%	3,71%
<b>Régime de repos</b>	0,05%	0,039%	0,011%
<b>Régime d'expédition</b>	4,83%	3,95%	0,88%

Le tableau ci-dessus illustre clairement une nette diminution dans les taux d'évaporation entre l'ancien bac et le nouveau bac qui est caractérisé par une nouvelle construction ; En outre, on enregistre un gain de 3,71% en cas de réception (le plus grand taux enregistré), un gain de 0,011% en cas de repos et un gain de 0,88% en cas d'expédition. Globalement, la nouvelle construction a fait diminuer les pertes en gaz ainsi que à augmenter le niveau de maîtrise des risques dus à l'augmentation de la pression au niveau des bacs.

---

## Conclusion

Vu que le stockage du GPL est une nécessité économique car il permet de compenser les éventuelles fluctuations d'approvisionnement dues à divers aléas de production ou variations de la consommation, il est indispensable de bien maîtriser ce processus.

Le suivi du procès de stockage nous a permis de ressortir que les problèmes majeurs de qualité, de quantité et de sécurité sont liés principalement aux pertes de charge liées à l'évaporation causée en 1er lieu par les mouvements en régime de transfert (soit en réception soit en expédition) et les transferts de chaleur dû au gradient de température entre l'extérieur et l'intérieur des bac en 2em lieu.

Les calculs thermiques effectués ont montrés qu'il existe une différence entre la quantité de chaleur traversant les isolateurs du bac T0005 et les isolateurs du bac T0001 pour les différents régimes de fonctionnement à savoir :

- Les taux d'évaporation dans le bac de type T0005 sont respectivement 6,53%, 0,05% et 4,83% pour le régime de réception, régime de repos et régime d'expédition ;
- Alors que pour le cas du bac T0001, ils sont de 2,82%, 0,039% et 3,95% pour les régimes de réception, de repos et d'expédition respectivement.

Cela indique que les isolants utilisés dans le réservoir T0001 ont une résistance thermique plus élevée et meilleure que le réservoir T0005 et que la structure du bac T0001 permet de mieux résister aux transferts de chaleur et aux phénomènes thermique de l'environnement.

Ces résultats nous a menés à proposer donc :

- d'ajouter une couche au réservoir T0005 qui présente les mêmes caractéristiques que les isolateurs de réservoir T0001 pour minimiser les pertes d'évaporation ;
- et de prendre en considération le flux de rayonnement solaire au niveau de l'espace de vide existant dans les parois du bac T0005 qui ne peut être à n'importe quelle condition négligé.

Tous ces propositions basées sur l'étude préalable sont menées afin d'atténuer ces pertes énergétiques et économiques, réduire la pollution atmosphérique résultant des émissions de gaz toxiques et surtout éviter d'éventuels incidents liées aux risques d'inflammation et d'explosion.

# **BIBLIOGRAPHIE**

---

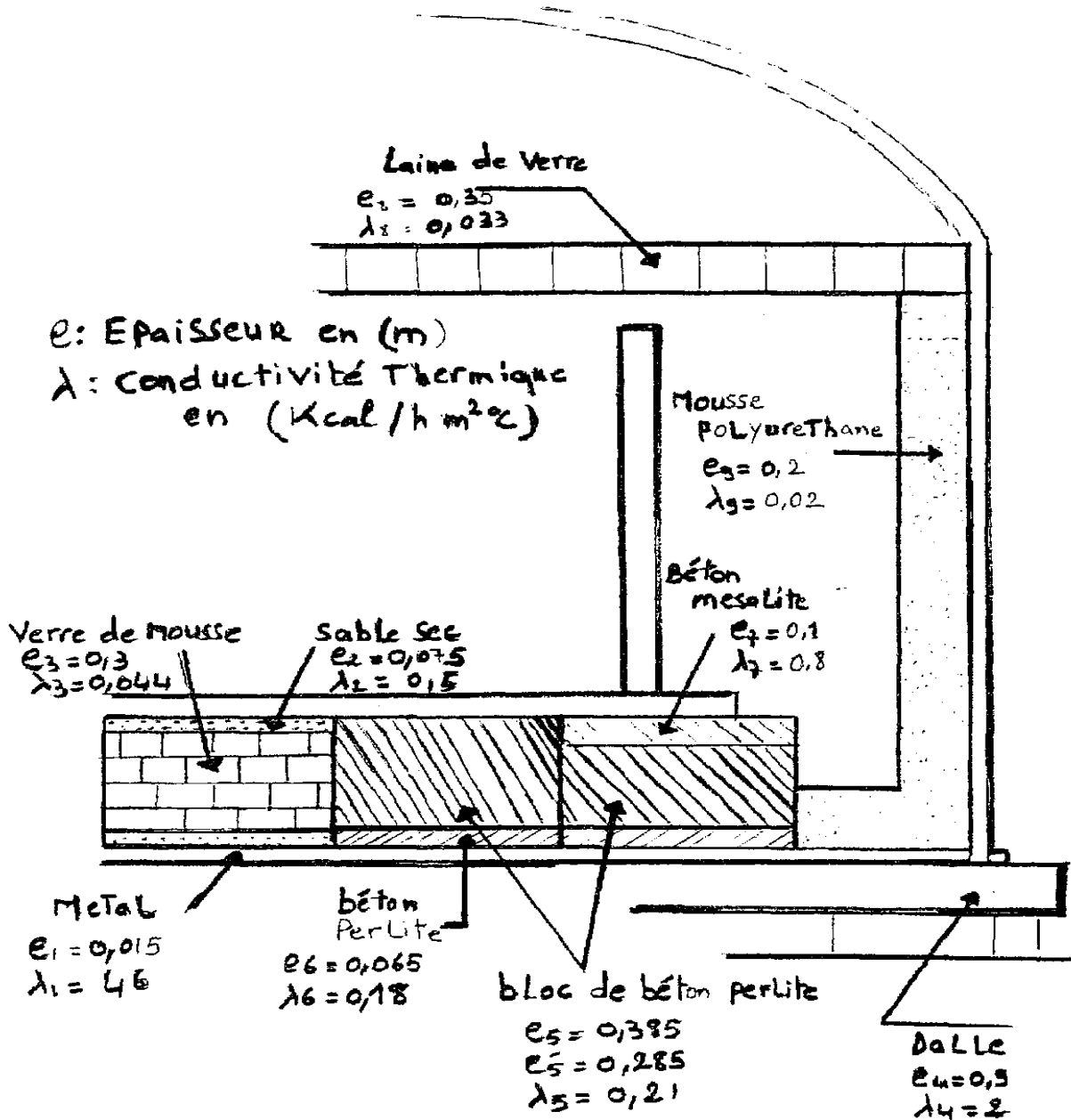
## Bibliographie

- ❖ Mémoire de fin d'étude (M<sup>r</sup> : ZEGHIDI Med Salah, IAP, 2008)
- ❖ Transfert de chaleur (Cours D<sup>r</sup>. Sophie Mergui, UV : Sorbonne)
- ❖ Raffinage et Génie chimique (Pierre Wuithier (Tome I))
- ❖ Manuel opératoire du complexe GP1/Z
- ❖ Manuel opératoire du complexe GP1-Z section de stockage
- ❖ Catalogue mécanique, IHI/ GP1/Z section de stockage
- ❖ Logiciel (DCS) (Complexe GP1/Z D<sup>pt</sup> Technique)

# **ANNEXES**

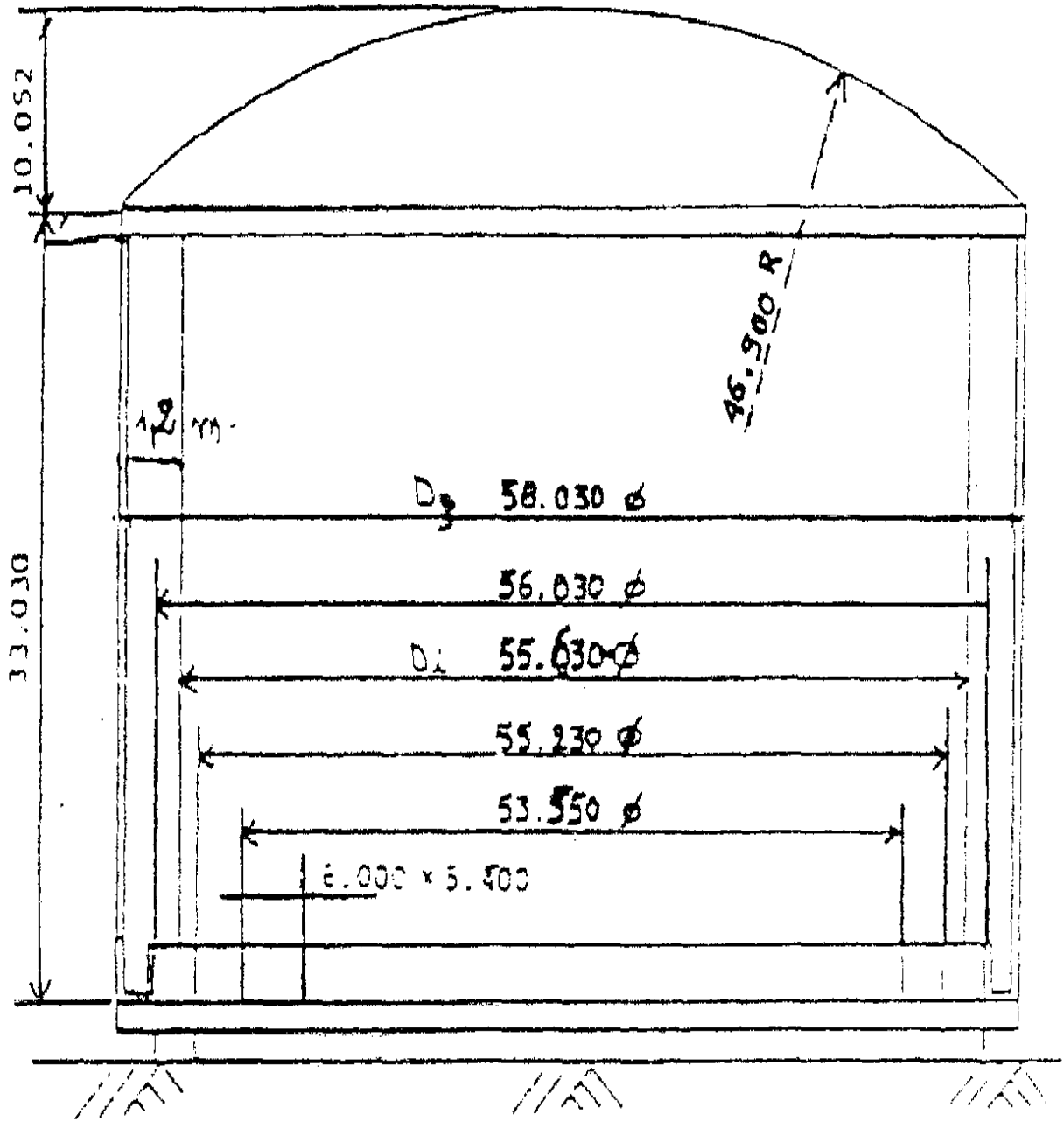
# Annexes

## Annexe 1



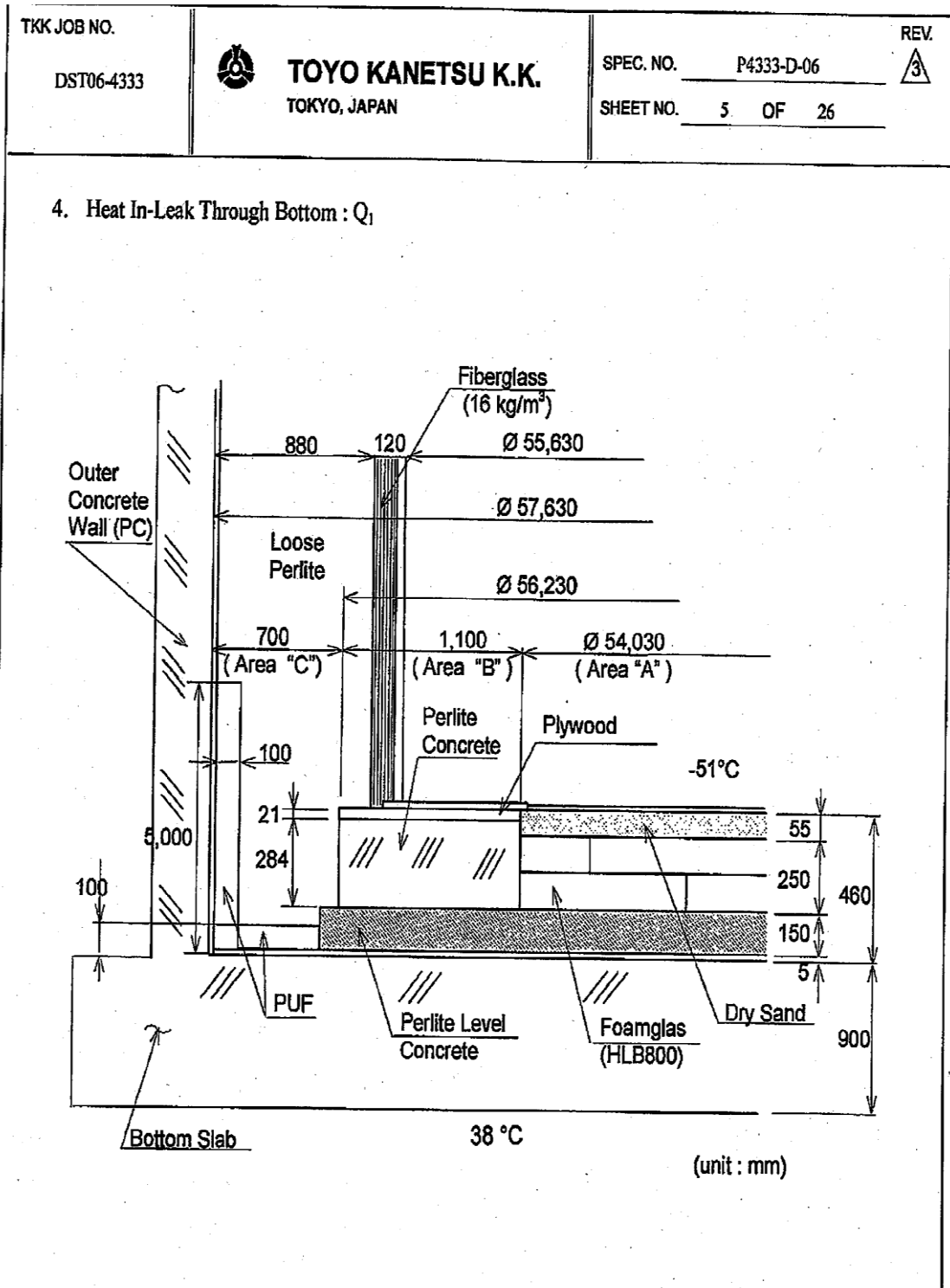
Les Surfaces du bac T0005

Annexe 2



Les Diamètres de bac T0005

### Annexe 3



**Surface de fond du bac T0001**

## Annexe 4

TKK JOB NO.

DST06-4333



**TOYO KANETSU K.K.**  
TOKYO, JAPAN

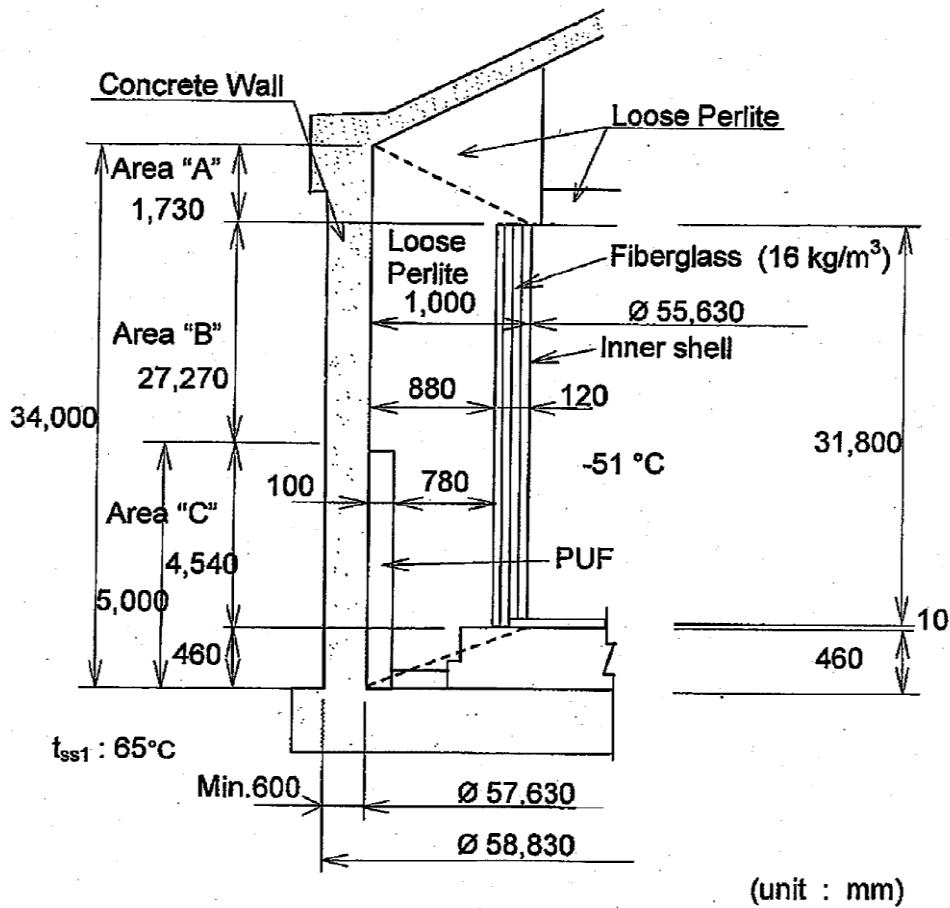
SPEC. NO. P4333-D-06

SHEET NO. 7 OF 26

REV.



### 5. Heat In-leak Through Wall : $Q_2$





(Note) Temperature for concrete wall surface

$t_{ss1}$  : 65°C (@day time : include solar radiation)

$t_{ss2}$  : 38°C (@night time and shade area)

### Surface de latérale du bac T0001

## Annexe 5

TKK JOB NO. DST06-4333	 <b>TOYO KANETSU K.K.</b> TOKYO, JAPAN	SPEC. NO. P4333-D-06 SHEET NO. 11 OF 26	REV. 
---------------------------	--	--	--

### 6. Heat In-leak Through Roof : $Q_R$

#### 6.1 Heat In-leak

[Calculation Formula]

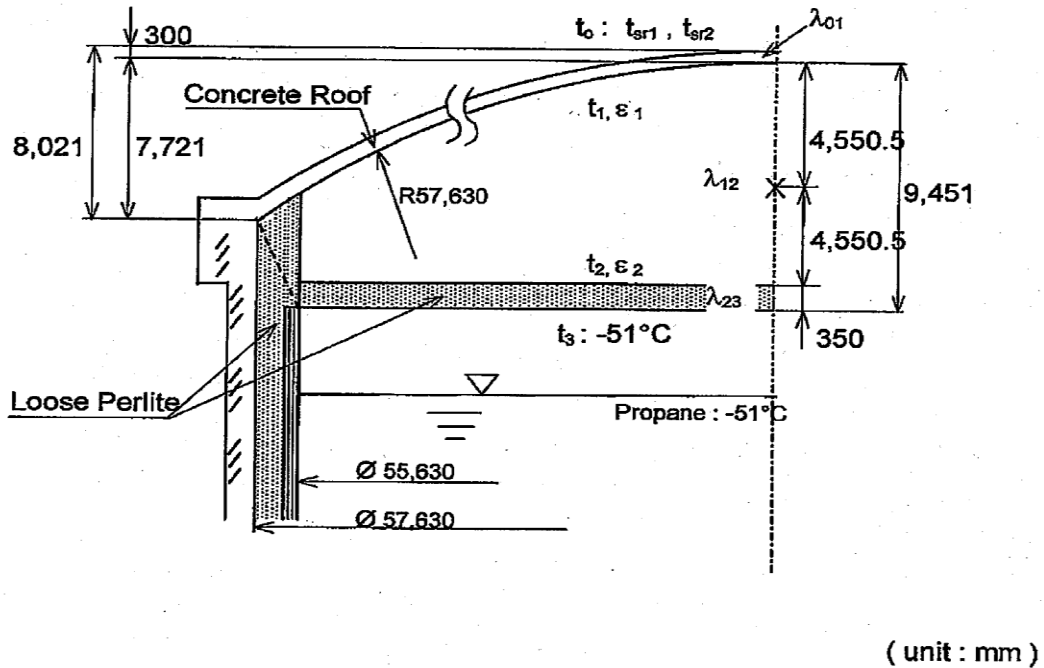
$$Q = q \times A$$

Where,

$Q$  : Heat inleak (W)

$A$  : Heat transfer ave. area ( $m^2$ )

$q$  : Heat flow ( $W/m^2$ )



**Surface de toit du bac T0001**