



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° d'ordre : M2...../GPC/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie chimique

Thème

Production du Froid par le CO₂ pour la Conservation du Lait à
GIPLAIT

Présentés par :

- 1- Melle ELMOKHTARI Rachida
- 2- Melle KHERROUBI Chahinez

Soutenu le 28/06/2020 devant le jury composé de :

Président :	Mme A. DRIOUECH.	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mr M. SAIDJ	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mr D. MEKHATRIA	MCB	Université de Mostaganem

Avertissement

Le lecteur est informé que certains passages du présent travail sont volontairement masqués. Le travail laisse apparaître des résultats susceptibles de faire l'objets de publication après finalisation. A cet effet nous présentons nos excuses par anticipations à tous ceux qui consultent ce travail

Bibliographie

- Technique de l'ingénieur. Georges Vrinat. Edition : 10/09/1991 (réf :B2365 v1).
- Technique Générale du Froid ;cours de base. Edition : 7juillet YSH04054.
- Génie Alimentaire.Articles de revues; Amrouche farid ,webmaster &professeur en genie alimentaire.
- Cours en Froid. Pr Said Hamdaoui, école supérieure de technologie de Fès.
- Les Fluides Frigorigènes Composes Halogènes et Fuides Naturels ; 2014La Rpf,Francis Meunier,Danie Colbourne .

Table de matière

Bibliographie	2
Table de matière.....	3
Remerciements.....	5
Abréviations.....	6
Introduction Générale	1
Chapitre1.....	2
1. L'importance du froid dans l'industrie agroalimentaire :.....	2
2. Traitements des aliments par le froid :.....	2
La réfrigération :	2
La congélation :	3
La surgélation :	3
Chapitre 2.....	4
1. Classification des fluides frigorigènes :.....	4
a/Composés organiques:	4
a-1Corps purs :.....	4
a-2Mélange:	5
a-3 Les hydrocarbures:.....	5
b/Composés inorganiques:.....	5
2. L'impact des fluides frigorigènes sur l'environnement :.....	5
- Destruction de la couche d'ozone :.....	6
- Réchauffement de la planète :	6
3. Critères de choix d'un fluide frigorigène :.....	6
4. Production du froid (installation frigorifique) :.....	7
a- Le compresseur:.....	8
b- Le condenseur:.....	8
c- Détendeur:.....	9
d-Evaporateur:	9
Chapitre3.....	11
Partie Pratique.....	11

Calculs et dimensionnement de l'évaporateur :	11
Calcul et dimensionnement du condenseur :	15
Calcul et dimensionnement de l'échangeur de chaleur zone 4a à 1: échangeur 4a.	20
Conclusion:	26
ملخص	28
Résume:	28
Abstract:.....	28

Remerciements

En premier lieu nous remercions Allah notre créateur, pour nous avoir donné la force et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons, en cette occasion, à exprimer notre gratitude et nos remerciements au président de jury Mme DRIOUCHE pour avoir accepté de présider ce jury et d'examiner ce travail en dépit de ses occupations et de ses tâches pédagogiques.

Nos remerciements et notre gratitude vont aussi à Mr SAIDJ pour avoir accepté de juger ce travail et pour nous avoir fait l'honneur de prendre part à ce jury.

Nos gratitudes s'adressent aussi à Mr MEKHATRIA notre encadreur pour la richesse de ses idées et de ses conseils, mais aussi pour sa disponibilité et le temps qu'il nous a consacré pendant la phase de préparation de ce mémoire, toute notre reconnaissance à notre encadreur pour un dévouement sans répit malgré la pandémie du Covid19 qui nous a contraints à élaborer ce travail en ligne à distance.

Que l'ensemble des enseignants du département de génie des procédés trouvent en ces termes l'expression d'une reconnaissance pour les efforts qu'ils ont déployé pour nous avoir permis d'avoir le niveau que nous avons aujourd'hui.

Nos derniers remerciements, et ce ne sont pas les moindres, vont aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail. Pour chacun d'eux nous garderons pour toujours les meilleurs souvenirs.

En fin je tiens à remercier nos familles surtout nos parents et nos frères pour le soutien et les nombreux conseils prodigués.

Abréviations

Symbole	Signification	Unité
S	La surface de la plaque	m ²
U	La puissance le compresseur	KJ/s
H _{Ev}	La hauteur de l'évaporateur	M
D _{Lait}	Débit volumique du lait	l/s
ρ	La masse volumique du lait	Kg/l
τ	Le coefficient de détente et de compression	
B	Le périmètre du tube	M
Nbr	Nombre	
Φ_{2-2a}	Le flux de chaleur du CO ₂ du point 2 au point 2a	KJ/s
Φ_{2a-2b}	Le flux de chaleur du CO ₂ du point 2a au point 2b	KJ/s
Φ_{2b-3}	Le flux de chaleur du CO ₂ du point 2b au point 3	KJ/s

Introduction Générale

Les échanges d'énergies, travail et chaleur, entre la machine frigorifique et le milieu extérieur sont réalisés au moyen d'un fluide frigorigène qui se définit comme une substance chimique dont la température d'évaporation à la pression atmosphérique est inférieure à la température ambiante ; il véhicule de la chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'états que sont l'évaporation et la condensation.

Le changement d'état, pour un corps pur, s'effectue à température et pression constantes (stabilisation de l'effet de réfrigérant à une température donnée), phase durant laquelle la quantité de chaleur échangée est la plus importante.

Les fluides frigorigènes usuels sont connus pour leurs impacts négatifs sur l'environnement. Leurs Potentiels de Réchauffement Global (PRG) ou *Global Warming Potential (GWP)* sont élevés et sont supérieurs à 150 bien que leurs performances en réfrigération soient remarquables ; ces performances dues à leurs propriétés thermodynamiques.

Pour ces raisons, et bien d'autres encore, que des fluides de substitution naturels sont entrain de s'installer dans les installations produisant le froid. Parmi ces fluides l'ammoniac et le dioxyde de carbone.

Ce travail, qui entre dans le cadre de la finalisation d'un cycle de master en génie des procédés option génie chimique, consiste à étudier et à dimensionner une installation du froid industriel appliquée au complexe GIPLAIT de Mostaganem, complexe pour la conservation et la transformation du lait et des produits laitiers.

L'entreprise GIPLAIT est une grande consommatrice de froid que, à cause de l'épidémie du corona virus 19, n'avons pas eu l'occasion de visiter ni d'y effectuer un stage

Pour nous simplifier la tâche, nous avons axés ce travail autour d'une problématique :

- Est-il possible techniquement de doter ce complexe d'une installation de froid au CO₂ ?
- Peut-on dimensionner cette installation ?

Pour répondre à ces questions, le présent travail est réalisé de façon théorique et est établi sur 3 chapitres, une conclusion et des recommandations.

Chapitre 1

1. L'importance du froid dans l'industrie agroalimentaire :

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industrie agroalimentaire, médecine, confort thermique pétrochimie ...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de :

- Limiter les gaspillages (pertes après récoltes).
- Conserver les propriétés organoleptiques et les qualités sanitaires des produits alimentaires nécessitant une phase initiale de refroidissement ou de congélation après récoltes, pêche ou abattage.
- Contrôler les processus de fermentation des aliments et boissons comme le lait et ses dérivés, vins et bières.

2. Traitements des aliments par le froid :

Une chaîne de froid est un processus qui désigne les différents moyens imbriqués les uns dans les autres, qui permettent le maintien à la température optimum de chaque denrée alimentaire depuis la production jusqu'à la consommation.

On en distingue la réfrigération, la congélation et la surgélation.

La réfrigération :

La réfrigération consiste à refroidir puis à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation de l'eau mais toujours positive par rapport à celui-ci.

La température de réfrigération se situe aux alentours de 0°C. À ces températures la vitesse de développement des micro-organismes des aliments est ralentie.

La réfrigération est utilisée pour la conservation d'aliments périssables à court et moyen terme. La durée de conservation va de quelques jours à plusieurs semaines selon la nature du produit, la température, l'humidité relative et le type de conditionnement (Tableau 1).

Tableau 1 : Exemple de conservation des aliments

<i>Produits</i>	<i>Température en °C</i>	<i>Durée en semaines</i>
Pommes	3 à 5	3
Abricots	0	1 à 2
Haricots vert	5 à 7	1 à 3

La réfrigération doit être faite si tôt la collecte réalisée et s'applique à des aliments initialement sains. Elle doit être continue tout au long de la filière de distribution.

La congélation :

La congélation est une technique qui consiste à abaisser progressivement la température, jusqu'à 24h. Les aliments sont entreposés à des températures négatives (-18°C), pour être conservés dans le long terme (4 à 24 mois).

Pendant la congélation, l'activité métabolique de la plupart des germes pathogènes et d'altération est inhibée. Cependant, les réactions d'altérations chimiques ne sont pas arrêtées complètement. Les plus importantes de ces réactions sont l'oxydation enzymatiques des lipides, l'hydrolyse des glucides et la lipolyse. Pour en remédier, les industriels procèdent généralement à un blanchiment des produits, cas des légumes surgelés, avant leur congélation.

La surgélation :

La surgélation est une technique industrielle qui consiste à refroidir rapidement et brutalement dans des espaces de temps de l'ordre de la minute les aliments et à les exposer à des températures variant de -30°C à -50°C jusqu'à ce que le cœur du produits atteint -18°C. Les produits, ainsi traités, conservent leur texture, leur saveur et l'essentiel de nutriment et vitamines (

Tableau 2).

Remarque :

Le froid ne tue pas les micro-organismes ; il ne fait que ralentir leur développement, c'est-à-dire les inhiber.

Tableau 2: les températures de conservation de quelques aliments

<i>Denrées Alimentaire</i>	<i>Températures en °C</i>
Poissons cuits, viande cuites	0 à +4
Viandes crues, pâtisseries à la crème	maximum +4
Produits laitiers, beurre, matière grasse, œufs	+6 à +8
Tout aliment congelé	-12
Tout aliment surgelé	-18

Chapitre 2

1. Classification des fluides frigorigènes :

Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide. Elle est effectuée sur la base de critères différents suivant la famille et la sous famille.

Les fluides frigorigènes sont divisés en deux grandes familles :

- Composés organiques.
- Composés inorganiques.

a/Composés organiques:

Ce sont des dérivés du méthane (CH_4) et de l'éthane (C_2H_6) et se divisent en 3 sous familles :

- Corps purs.
- Mélange des corps purs.
- Hydrocarbures.

a-1Corps purs :

Ils se divisent en trois groupes selon la composition chimique :

- Les CFC (chlorofluorocarbone) exemple- R12.
- Les HCFC (hydrochlorofluorocarbone) exemple-R22.
- Les HFC (hydrofluorocarbone) exemple- R134a.

Leur désignation est basée sur la règle Rxyz :

La lettre R désigne : Réfrigérant.

Le chiffre des unités « z » : nombre d'atomes de fluor.

Chiffre des dizaines « y » : nombre d'atomes d'hydrogène + 1.

Chiffre des centaines « x » : nombre d'atomes de carbones – 1.

Le carbone étant tétravalent, la molécule sera complétée par des atomes de chlore si nécessaire.

Les lettres minuscules en fin de numérotation désignent une asymétrie plus, lettre b, ou moins, lettre a, de la molécule (**Tableau 3**).

Tableau 3: Exemples de désignation des corps purs R12 – R22 – R134a

Désignation	Chiffre des Unités		Chiffre des dizaines		Chiffre des centaines		Nbr Atomes chlore	Formule chimique	Dénomination
R12	2	2 fluors	1	0 hydrogène	0	1 carbone	2 chlores	CCl ₂ F ₂	Di chloro difluoro méthane
R22	2	2 fluors	2	1 hydrogène	0	1 carbone	1 chlore	CHClF ₂	Mono chloro di fluoro méthane
R134a	4	4 fluors	3	2 hydrogènes	1	2 carbones	0 chlore	CH ₂ FCF ₃	Tétra fluoro éthane

a-2Mélange:

Les mélanges de corps purs se regroupent en deux sous-groupes que sont:

- Les mélanges azéotropiques qui se comportent comme des corps purs
- Les mélanges zéotropiques qui ne sont pas des corps purs.

Les mélanges azéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 500.

a-3 Les hydrocarbures:

Les fluides frigorigènes du type hydrocarbure proviennent essentiellement du raffinage du pétrole ainsi que du dégazolinage du gaz naturel.

Ce sont essentiellement le R600, butane, le R600a, isobutane, et le R290, propane, qui est le plus utilisé.

b/Composés inorganiques:

Les fluides de cette famille sont ceux de la série 700 dont les plus répondus :

- Le R717 (NH₃).
- Le R718 (H₂O).
- Le R744 (CO₂).

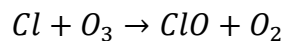
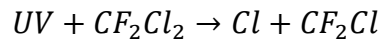
Le chiffre 7des centaines désigne la série700 tandis que les deux derniers désignent la masse molaire du composé.

2. L'impact des fluides frigorigènes sur l'environnement :

Les impacts environnementaux liés aux fluides frigorigènes reposent sur deux phénomènes.

- La destruction de la couche d'ozone.
- Le réchauffement climatique.
- Destruction de la couche d'ozone :

Les rayons UV dégagés par le soleil agissent sur les molécules de certains fluides frigorigènes (CFC et HCFC) pour libérer les atomes de chlore qui réagissent avec l'ozone selon les réactions chimiques suivantes.



Ceci altère la couche d'ozone et augmente l'impact des rayons UV à la surface de la terre dont la conséquence est :

- Augmentation des cancers de la peau.
- Augmentation des cas de cataractes et autres lésions oculaires.
- Affaiblissement du système immunitaire.
- Baisse des rendements agricoles.
- Réchauffement de la planète :

Une partie des rayons IR de grande longueur d'onde est renvoyée et absorbée dans l'atmosphère par certains gaz ralentissant ainsi les dégagements des rayonnements refroidissants et réchauffant ainsi la surface de la terre ; il s'agit de l'effet de serre.

L'effet de serre est un phénomène sans lequel la vie sur terre serait impossible car il régule la température pour permettre la vie sur terre.

Les fluides frigorigènes CFC et HCFC augmentent cet effet en emprisonnant la chaleur ce qui fait augmenter la température qui menace la vie.

3. Critères de choix d'un fluide frigorigène :

L'étude des caractéristiques physiques des réfrigérants actuellement utilisés en réfrigération commerciale et ménagère aidera à mieux comprendre la réfrigération elle-même.

Un fluide frigorigène parfait devrait présenter les qualités suivantes (**Tableau 4**) :

1. Chaleur latente de vaporisation très élevée.
2. Point d'ébullition, sous la pression atmosphérique, suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (température d'évaporation).

3. Faible rapport de compression, c'est-à-dire faible rapport entre les pressions de refoulement et d'aspiration.
4. Faible volume massique de la vapeur saturée, rendant possible l'utilisation d'un compresseur et de tuyauteries de dimensions réduites.
5. Température critique très élevée.
6. Pas d'action sur le lubrifiant employé conjointement avec le fluide.
7. Composition chimique stable dans les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique.
8. Pas d'action sur les métaux composant le circuit (ainsi, par exemple l'ammoniac attaque le cuivre. Pas d'action sur les joints.
9. Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air.
10. Sans effet sur la santé des hommes.
11. Sans action sur les denrées à conserver.
12. Sans odeur ou n'ayant qu'une faible odeur non désagréable.
13. Fuites faciles à détecter et à localiser par méthode visuelle.
14. Pas d'affinité pour les constituants de l'atmosphère (la couche d'ozone et l'échauffement de la terre).

Tableau 4: récapitulatif des différents fluides actuellement utilisés

Fluide frigorigène	Famille	Pression critique (en bar absolu)	Plage de température (°C)	Point d'ébullition à 1 bar (°C)	Dangers à l'utilisation	Dangers pour l'environnement
R 22	HCFC	49,9	-40 à 55	-40,81	Aucun	Attaque la couche d'ozone
R 134a	HFC	40,59	-10 à 65	-26,08	Aucun	Attaque légèrement la couche d'ozone
R 404a	HFC	37,35	-40 à 60	-46,57	Aucun	
R 410a	HFC	47,7	-25 à 60	51,6	Toxique, inflammable	
R 290	HC	42,5	-70 à 50	-42,1	Inflammable	Aucun
R 717	Inorganique	113,33	-40 à 80	-33,5	Toxique, inflammable à haute pression	Corrosif
R 744	Inorganique	73,8	-30 à 10	-78,40	Aucun	Aucun

4. Production du froid (installation frigorifique) :

Une installation frigorifique comporte 04 organes principaux :

- Compresseur.
- Condenseur.
- Détendeur.

- Evaporateur.

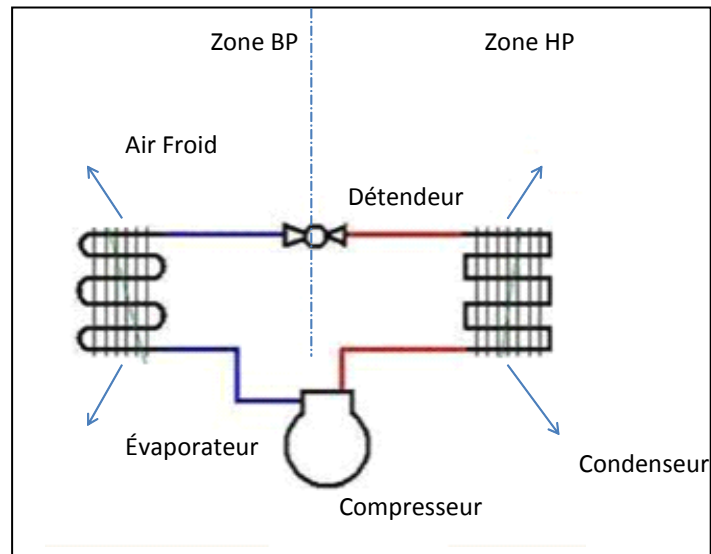


Figure 2.1 : Schéma de base d'une machine frigorifique

- a- Le compresseur:

Aspire le fluide frigorigène gazeux à bas niveau de pression (BP) et le comprime à un niveau plus haut (HP) pour le refouler vers le condenseur.



Figure 2-2 Un compresseur hermétique

- b- Le condenseur:

C'est un échangeur de chaleur qui évacue de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux, issu du compresseur en le liquéfiant de manière isobare.

L'évacuation de la chaleur s'effectue en trois étapes :

1. Désurchauffe des vapeurs du fluide frigorigène (évacuation de la chaleur sensible – tronçon 2-2a).

2. Condensation des vapeurs (évacuation par chaleur latente – étape principale – tronçon 2a-2b).
3. Sous refroidissement du fluide frigorigène liquide (évacuation par chaleur sensible – tronçon 2b-3).

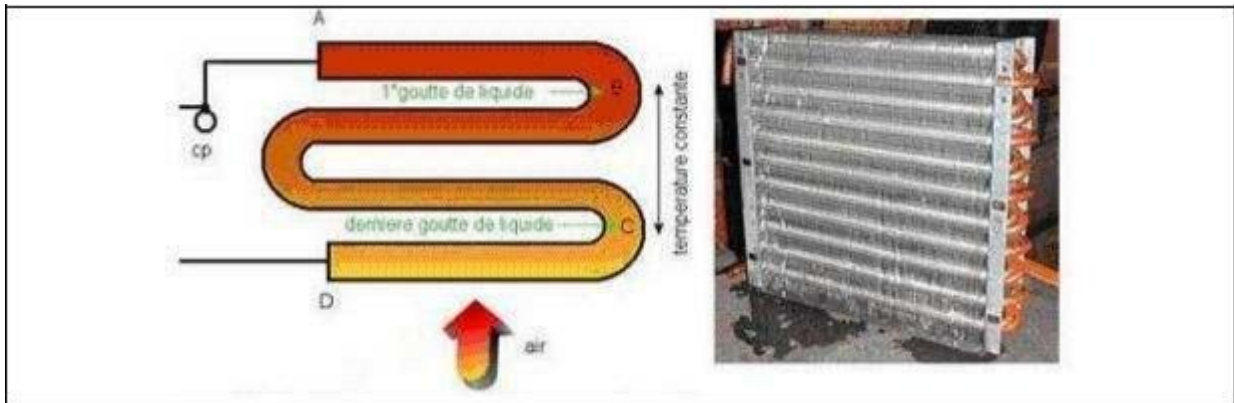


Figure 2.3 : Condenseur à eau.

c- Détendeur:

Il permet de réduire la pression du fluide frigorigène liquide issu du condenseur avant son introduction dans l'évaporateur.

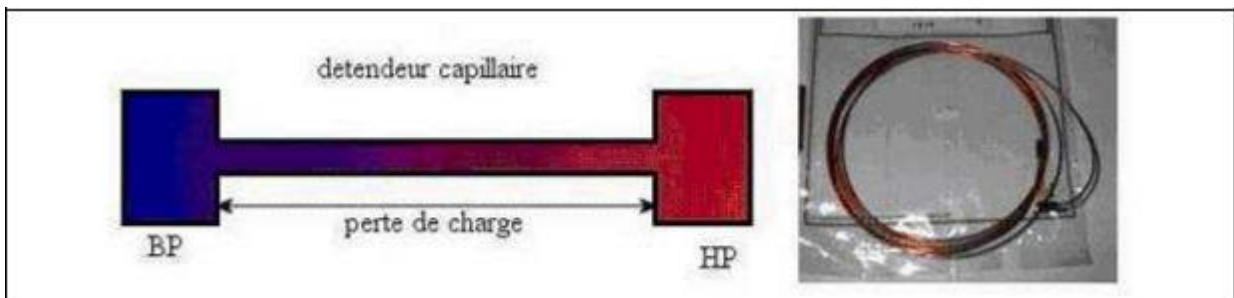


Figure 2.4 : détendeur de type capillaire.

d-Evaporateur:

C'est un échangeur de chaleur, dans lequel le fluide frigorigène liquide détendu à basse température absorbe la chaleur du milieu à refroidir (l'aliment) pour redevenir sous un état gazeux.

Cette absorption de chaleur s'effectue en deux étapes :

1. L'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur latente – étape principale– tronçon 4-4a).
2. La surchauffe des vapeurs issues de l'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur sensible – tronçon 4a-1) .

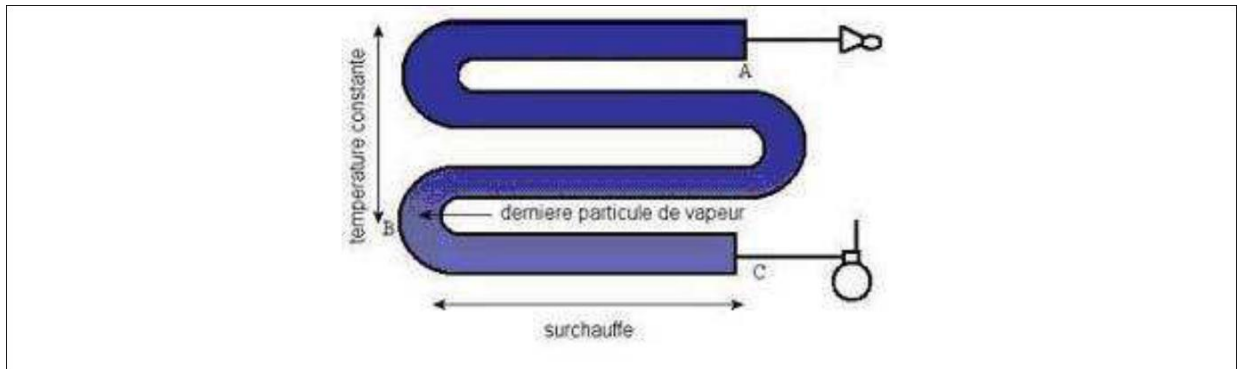


Figure 2.5 : Évaporateur.

Le fluide frigorigène gazeux est réintroduit à nouveau dans le compresseur pour un second cycle.

Chapitre3

Partie Pratique

Cette partie est réservée aux calculs d'un évaporateur fonctionnant au CO₂ comme fluide frigorigène pour le refroidissement d'un liquide. Le liquide est le lait en vue de le conserver sous une température de °C.

L'exemple est calqué sur le complexe GIPLAIT de Mostaganem qui utilise un débit de lait de l/s.

N'ayant pas pu réaliser le travail au sein de GIPLAIT pour connaître les paramètres réels utilisés pour cause du virus Corona, nous nous sommes imposés des estimations sous formes d'hypothèses concevables et réalisables.

Ces hypothèses sont :

1. Nature du liquide à rafraichir : le lait
2. Débit du liquide à rafraichir : litre par seconde
3. Température entrée (Te) et sortie (Ts) du fluide à rafraichir : Te = °C et Ts = °C
4. Nature du fluide réfrigérant : Inorganique.
5. Type de fluide réfrigérant : CO₂.
6. Les valeurs de la basse pression (BP) et de la haute pression (HP): BP= bars
HP = bars.

Ces hypothèses nous ont obligé à considérer un certain nombre de paramètres à calculer et qui sont :

1. Le calcul de la quantité nécessaire du fluide réfrigérant
2. Calcul de la surface d'échange thermique au niveau de l'évaporateur.
3. Détermination de la nature du matériau constituant l'évaporateur.

Calculs et dimensionnement de l'évaporateur :

Le débit du lait imposé par jour devient de m³/j avec une température allant de °C à °C.

Quantité de chaleur à évacuer pour refroidir le lait :

La quantité de chaleur à faire évacuer du lait dans la plage de température considérée est donnée par l'équation suivante :

$$\Phi_{Lait} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

Avec :

Φ_{Lait} : flux de chaleur à faire évacuer du lait en KJ/s.

\dot{m} : débit du lait en Kg/s.

$C_p = 3,9 \text{ KJ/KgK}$: capacité calorifique du lait à pression constante.

$T_e = \text{ } ^\circ\text{C} = \text{ } \text{K}$: température d'entrée du lait.

$T_s = \text{ } ^\circ\text{C} = \text{ } \text{K}$: température sortie du lait.

Le débit massique du lait est déterminé par la masse volumique de ce dernier qui est de $\rho = 1,03 \text{ Kg/l}$

Le débit massique est : $\dot{m} = \rho \cdot D_{lait} = \text{ } \text{Kg/s}$

$$\Phi_{Lait} = \text{ } \text{Kg/s} \cdot \text{ } \text{KJ/KgK} \cdot (\text{ } - \text{ })$$

$$\Phi_{Lait} = - \text{ } \text{KJ/s} = - \text{ } \text{KW}$$

Cette énergie est négative car elle est cédée par le lait.

La quantité de chaleur absorbée par le CO₂ est la même que celle cédée par le lait au signe près :

Nous supposons nulles les pertes.

$$\Phi_{Lait} = \Phi_{CO_2} = \text{ } \text{KJ/s}$$

Pour la suite des calculs, l'outil utilisé est le diagramme Enthalpique ou le diagramme de Mollier (figure 3.1).

L'utilisation du diagramme de Mollier a nécessité d'imposer 7 points autour desquels fonctionne le cycle de réfrigération. Ces points, dont le choix sera décrit ultérieurement, sont positionnés comme suit:

- Points 2, 2a, 2b et 3 : sont positionnés sur l'isobare HP= $\text{ } \text{bars}$.
- Points 4, 4a et 1 : sont positionnés sur l'isobare BP= $\text{ } \text{bars}$.

Les coordonnées des points 4 et 4a sont présentées au tableau 5.

Tableau 5 : Coordonnées des points 4 et 4a

Paramètres	Point 4		Point 4a	
	Valeur	Désignation	Valeur	Désignation
Pression en bars		P ₄		P _{4a}
Enthalpie kJ/kg		h ₄		h _{4a}
Température °C		T ₄		T _{4a}

La quantité de chaleur absorbée par kilogramme de CO₂ est :

$$Q_{4 \rightarrow 4a} = h_{4a} - h_4$$

Avec :

$Q_{4 \rightarrow 4a}$: quantité de chaleur échangée dans l'évaporateur par kilogramme de CO₂

h_{4a} = enthalpie au point 4a. Elle est déterminée graphiquement.

h_4 = enthalpie au point 4 déterminée graphiquement.

$$Q_{4 \rightarrow 4a} = h_{4a} - h_4$$

$$Q_{4 \rightarrow 4a} = \quad \text{KJ/kg} - \quad \text{KJ/kg}$$

$$Q_{4 \rightarrow 4a} = \quad \text{KJ/Kg}$$

$$\Phi_{4 \rightarrow 4a} = \quad \text{KJ/Kg s}$$

Détermination de la quantité du CO₂ nécessaire pouvant refroidir le lait.

Pour refroidir le lait aux températures considérées, il faut évacuer une chaleur de $\Phi_{Lait} = \quad \text{KJ/s}$. Cette énergie est éliminée par une masse de CO₂ égale à :

$$\Phi_{Lait} = \Phi_{CO_2} = \dot{m}_{CO_2} \cdot Q_{4 \rightarrow 4a}$$

$$\dot{m}_{CO_2} = \frac{\Phi_{CO_2}}{Q_{4 \rightarrow 4a}}$$

$$\dot{m}_{CO_2} = \quad \text{kg/s}$$

Calcul de la surface d'échange de l'évaporateur :

La surface d'échange est déterminée par :

$$\Phi_{Lait} = k.F.(\theta_e - \theta_m)$$

Avec :

Φ_{Lait} : énergie à évacuer du lait en KW

$k = 240 \text{ W/m}^2 \text{ K}$: coefficient de transfert thermique de l'aluminium.

F : la surface d'échange en m^2 .

$\theta_e = - \text{ }^\circ\text{C} = \text{ } \text{K}$: température d'évaporation du CO_2 en K.

θ_m : température moyenne du lait en K.

$$\theta_e - \theta_m = - \left(\frac{+}{2} \right) = - \text{ } \text{K}$$

La surface d'échange devient :

$$F = \frac{\Phi_{Lait}}{k.(\theta_e - \theta_m)}$$

$$F = \text{ } \text{m}^2$$

L'échangeur choisi est de forme hélicoïdale confectionné par un tube de diamètre 20 mm.

Calcul de la longueur du tube (L) :

La longueur du tube est obtenue par :

$$L = \frac{F}{l}$$

Avec :

l : le périmètre du tube en m.

L : la longueur du tube en m

On a choisis un tube de diamètre $d_T = 0.02 \text{ m}$.

$$L = \frac{\text{ } \text{m}^2}{0,02. \pi}$$

$$L = \text{ } \text{m}$$

Calcul du nombre de boucle de l'échangeur hélicoïdal

L'échangeur utilisé à un diamètre de $d_B = \text{ } \text{m}$, le nombre de boucle devient :

$$n = \frac{L}{B}$$

Avec :

n : nombre de boucle

$L =$ m : longueur totale du tube

B : longueur d'une boucle

$$B = \pi \cdot d_B$$

$$B = \quad m$$

$$n = \frac{L}{B}$$

$$n = \frac{m}{m}$$

$$n =$$

Calcul de la hauteur H_{EV} de l'évaporateur :

$$H_{EV} = n \cdot d_T$$

$$H_{EV} = \quad .0,02m$$

$$H_{EV} = \quad m$$

Les caractéristiques de cet échangeur évaporateur sont :

- Forme : tube hélicoïdale.
- Diamètre du tube : 0,02m
- Surface d'échange : m^2 .
- Diamètre de l'échangeur : m .
- Nombre de boucle : .
- Hauteur de l'échangeur : m

Calcul et dimensionnement du condenseur :

Le condenseur choisi est un condenseur à tube en U refroidi à l'eau.

Les températures d'entrée sortie du fluide de refroidissement sont, respectivement,

$$T_e = \quad ^\circ C \text{ et } T_s = \quad ^\circ C.$$

L'évolution de la condensation est située entre les points 2 et 3 (figure 3. 1) dont les coordonnées sont présentées au tableau 6

Tableau 6 : Coordonnées des points 2,2a, 2b et 3

Paramètres	Points			
	2	2a	2b	3
Pression	bars	bars	bars	bars
Enthalpie	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg
Température	°C	°C	°C	°C

Calcul de l'énergie au niveau du condenseur.

Au niveau du condenseur, se produit un refroidissement du gaz (points 2 à 2a), une liquéfaction (points 2a 2b) et un refroidissement du CO₂ liquide (points 2b à 3). La quantité totale d'énergie échangée est :

$$\Phi_{2-3} = (\Phi_{2-2a} + \Phi_{2a-2b} + \Phi_{2b-3})$$

Calcul de la chaleur de refroidissement zone 2-2a.

Durant cette zone l'énergie échangée est :

$$\Phi_{2a-2} = \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2a} - h_2)$$

Avec :

$$h_{2a} = \quad KJ/Kg: \text{Enthalpie au point 2a}$$

$$h_2 = \quad KJ/Kg: \text{Enthalpie au point 2}$$

$$\dot{m}_{CO_2} = \quad Kg/s$$

$$\Phi_{2a-2} = \quad Kg/s \cdot (\quad KJ/kg - \quad KJ/Kg)$$

$$\Phi_{2a-2} = - \quad KJ/s$$

Calcul de la quantité de chaleur de liquéfaction du CO₂ zone 2a à 2b.

Durant cette zone le CO₂ change de phase pour devenir liquide. La quantité de chaleur cédée est :

$$\Phi_{2b-2a} = \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2b} - h_{2a})$$

Avec :

$h_{2a} =$ KJ/Kg: Enthalpie au point 2a

$h_{2b} =$ KJ/Kg: Enthalpie au point 2b

$\dot{m}_{CO_2} =$ Kg/s.

$$\Phi_{2b-2a} = \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2a} - h_{2b})$$

$$\Phi_{2b-2a} = - \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2b} - h_{2a})$$

Calcul la quantité de chaleur du refroidissement du CO2 liquide zone 2b à 3 :

Entre les points 2b et 3, le CO2 liquide se refroidit en perdant de l'énergie qui correspond à :

$$\Phi_{3-2b} = \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_3 - h_{2b})$$

Avec :

$h_3 =$ KJ/Kg: Enthalpie au point 3

$h_{2b} =$ KJ/Kg: Enthalpie au point 2b

$\dot{m}_{CO_2} =$ Kg/s.

$$\Phi_{3-2b} = \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_3 - h_{2b})$$

$$\Phi_{3-2b} = - \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2b} - h_3)$$

Calcul le flux de chaleur du condenseur.

La chaleur totale évacuée au condenseur est donnée par l'équation A. elle vaut :

$$\Phi_{2-3} = (\Phi_{2a-2} + \Phi_{2b-2a} + \Phi_{3-2b})$$

$$\Phi_{2-3} = (- \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2b} - h_{2a}) - \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2b} - h_3))$$

$$\Phi_{2-3} = - \dot{m}_{CO_2} \cdot (h_{2b} - h_3)$$

Cette énergie est négative car le CO2 va libérer de la chaleur.

La puissance cédée par le CO2 est la même absorbée par l'eau

$$\Phi_{eau} = \Phi_{CO_2} = W$$

Calcul de la surface d'échange dans le condenseur :

$$\Phi_{CO_2} = k \cdot F \cdot (\theta_c - \theta_m)$$

Avec :

Φ_{eau} : la puissance absorbée par l'eau en W.

$k = 2000 \text{ W/m}^2\text{K}$: le coefficient du transfert thermique .

F : la surface d'échange en m^2 .

$\theta_c = \text{ }^\circ\text{C} = \text{ } K$: la température de condensation du CO_2 en K.

$\theta_m = \text{ }^\circ\text{C} = \text{ } K$: la température moyenne de l'eau en K.

$$F = \frac{\Phi_{\text{CO}_2}}{k \cdot (\theta_c - \theta_m)} =$$

$$F = \frac{\text{---}}{\text{---} \cdot (\text{---} - \text{---})} = \text{---} \text{ m}^2$$

$$F = \text{---} \text{ m}^2$$

Calcul de la longueur totale du tube de l'échangeur :

Le diamètre du tube choisi est $d_c = 0,024 \text{ m}$. la longueur devient :

$$L = \frac{F}{l}$$

Avec :

L : longueur du tube en m.

$l = \pi \cdot d_c$: périmètre du tube en m

$$L = \frac{F}{l} = \frac{F}{\pi \cdot d_c}$$

$$L = \frac{\text{---} \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,024 \text{ m}}$$

$$L = \text{---} \text{ m}$$

Calcul de la longueur totale du passe (tube en U)

Le condenseur est à tube en U sous forme de passes. La longueur d'une passe est de $\text{---} \text{ m}$ et sa largeur $\text{---} \text{ cm}$.

Le condenseur est constitué de

$\text{---} \text{ cm}$.

Calcul du nombre de passe par calandre :

$$n = \frac{L_{cal}}{d_c +}$$

Avec :

n : nombre de passes.

$L_{cal} =$ m : largeur de la calandre.

$d_c =$ cm : diamètre du tube

$$n = \text{passes}$$

Calcul du nombre de calandre N :

$$N = \frac{L}{L'}$$

Avec :

$L' =$ cm : longueur total du tube par calandre

$$N = \frac{L}{L'}$$

$$N = \frac{m}{}$$

$$N =$$

Le nombre de calandre total est de .

Calcul de "e" l'épaisseur du condenseur

Elle est donnée par l'équation :

$$e = N \cdot d_c$$

$$e = * m$$

$$e = cm$$

Calcul le débit d'eau nécessaire pour le refroidissement du CO₂ :

Le débit d'eau nécessaire pour le refroidissement du CO₂ est

$$\Phi_{eau} = \dot{m}_{eau} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

Avec :

Φ_{eau} : la quantité de chaleur absorbée en KJ/s.

\dot{m}_{eau} : débit d'eau en Kg/s.

$C_p = 4,18 \text{ KJ/Kg K}$: capacité calorifique de l'eau à pression constante.

$T_s = \text{ } ^\circ\text{C} = \text{ } \text{K}$: température de l'eau sortie condenseur .

$T_e = \text{ } ^\circ\text{C} = \text{ } \text{K}$: température de l'eau entrée condenseur .

$$\dot{m}_{eau} = \frac{\Phi_{eau}}{C_p \cdot (T_s - T_e)}$$

$$\dot{m}_{eau} = \frac{\text{kJ/s}}{. (\text{ } - \text{ })}$$

$$\dot{m}_{eau} = \text{ } \text{kg/s}$$

Caractéristiques du condenseur

Le condenseur de CO₂ aux conditions de la réfrigération a les caractéristiques suivantes

- Les températures de l'eau de refroidissement ainsi que le débit sont :
 - $T_e = \text{ } ^\circ\text{C}$
 - $T_s = \text{ } ^\circ\text{C}$.
 - Débit = $\text{ } \text{kg/s}$
- La surface totale d'échange est de : $\text{ } \text{m}^2$.
- Les dimensions de l'échangeur sont :
 - Longueur : $\text{ } \text{cm}$.
 - Largeur : $\text{ } \text{cm}$
 - Epaisseur : $\text{ } \text{cm}$.
- Nombre de calandres :
- Nombre de passes par calandre :

Pour garantir un état gazeux du CO₂ au retour vers le compresseur, on a proposé un échangeur de chaleur pour réchauffer le CO₂ dans la zone 4a à 1. Cet échangeur fonctionnera avec de l'eau qui quitte le condenseur c'est-à-dire une eau à $\text{ } ^\circ\text{C}$. La sortie de cet échangeur devra avoir une température de $\text{ } ^\circ\text{C}$.

Calcul et dimensionnement

zone 4a à 1:

a.

Le R744 sort de l'évaporateur à T_e °C et pénètre dans le compresseur à T_c °C.

L'eau sort du condenseur à T_c °C.

L'échangeur 4a refroidit l'eau jusqu'à T_e °C et réchauffe le R744 jusqu'à T_c °C.

Calcul la quantité

$$\Phi = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

Avec

Φ : le flux de chaleur absorbée en KJ/s.

\dot{m} : la masse du en Kg/s.

$C_p =$ KJ/Kg °C : capacité calorifique du à bars.

$T_s =$ °C : la température de sortie du .

$T_e =$ °C : la température d'entrée du .

$$\Phi = \text{kg/s} \cdot \text{kJ/kg} \cdot \text{°C} \cdot (- (-))$$

$$\Phi = \text{KJ/s}$$

Calcul de la quantité d'eau nécessaire :

Cette eau provient du condenseur. Sa température est : $T_c =$ °C.

cette quantité de chaleur est :

$$\Phi = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_c - T_e)$$

$$\dot{m} = \frac{\Phi}{C_p \cdot (T_c - T_e)}$$

$$\dot{m} = \text{Kg/s}$$

Du condenseur on

Calcul la surface d'échange _____ :

Calcul la puissance du compresseur :

Le compresseur choisi fonctionne avec un rendement de 80%. Le travail utile qu'il doit développer est :

$$U = \left[(h_2 - h_1) + \frac{20 \cdot (h_2 - h_1)}{100} \right] \cdot \dot{m}_{CO_2}$$

Avec :

U : la puissance du compresseur en KJ/s.

h_2 : l'enthalpie à la sortie du condenseur en KJ/Kg.

h_1 : l'enthalpie à l'entrée du condenseur en KJ/Kg.

$$U = \left((\quad - \quad) + \frac{20 \cdot (\quad - \quad)}{100} \right) \cdot \quad \text{kg/s}$$

$$U = \quad \text{KJ/s}$$

Calcul du taux de compression du compresseur.

$$\tau_{\text{compresseur}} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\tau_{\text{compresseur}} = \text{---}$$

$$\tau_{\text{compresseur}} = 2$$

Calcul du coefficient de détente au niveau du détenteur :

Les détenteurs ont leur caractéristique par le rapport de pression de refoulement et la pression d'aspiration.

$$\tau_{\text{détendeur}} = \frac{P_4}{P_3} = \text{---} =$$

Diagramme de MOLLIER de R744

P (bar)

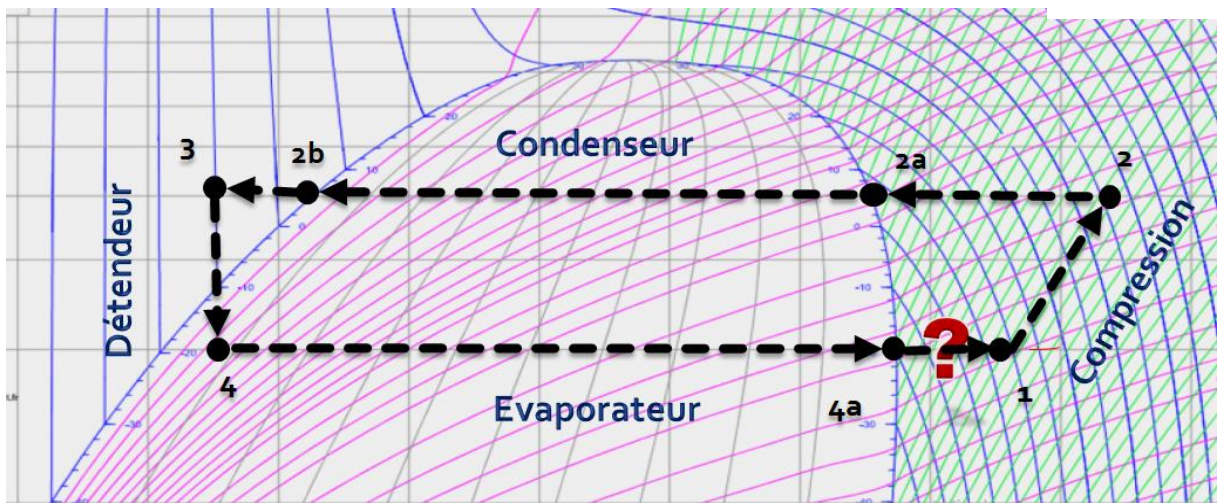
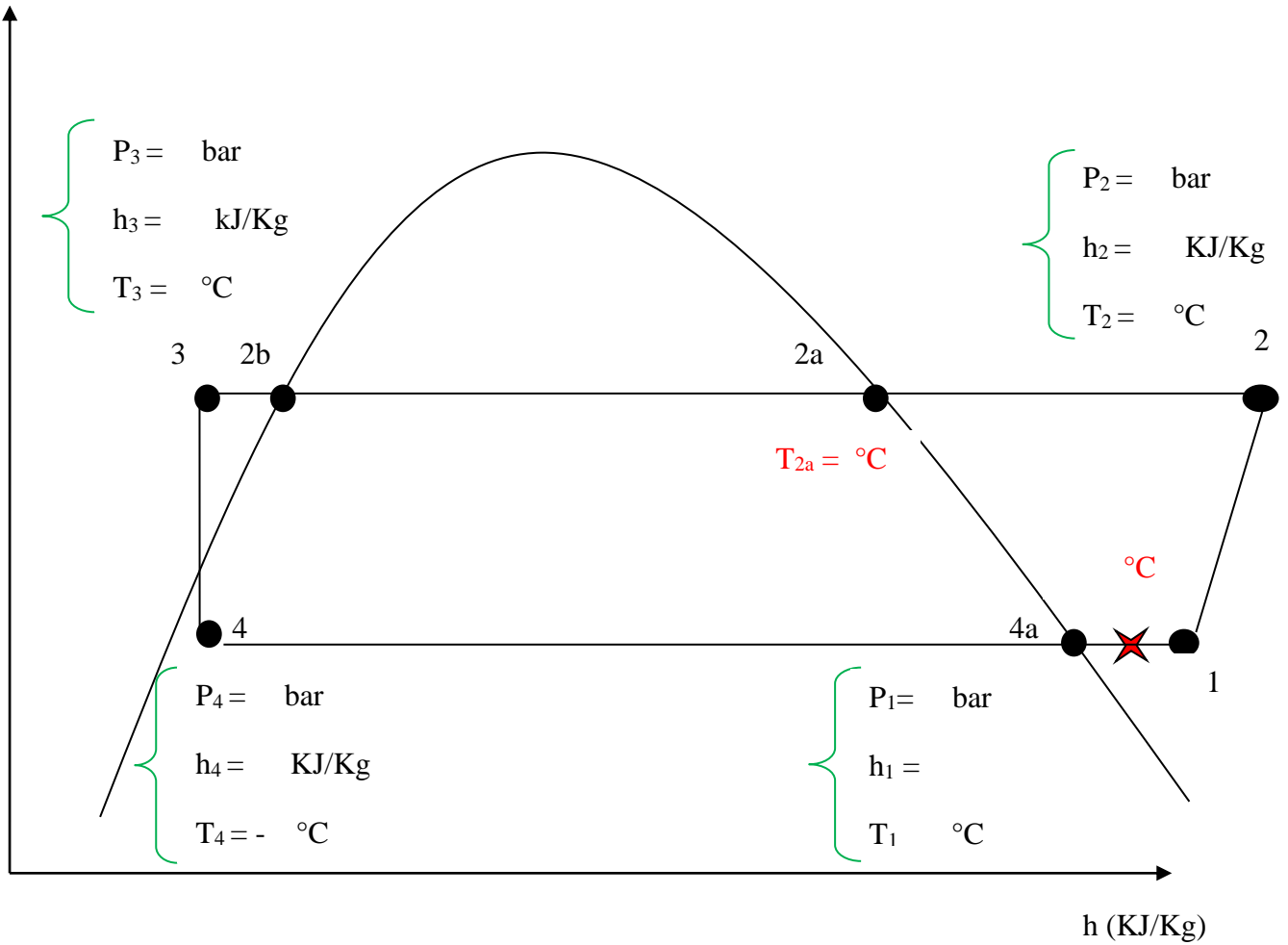


Figure 3.1 diagramme de Mollier du CO₂

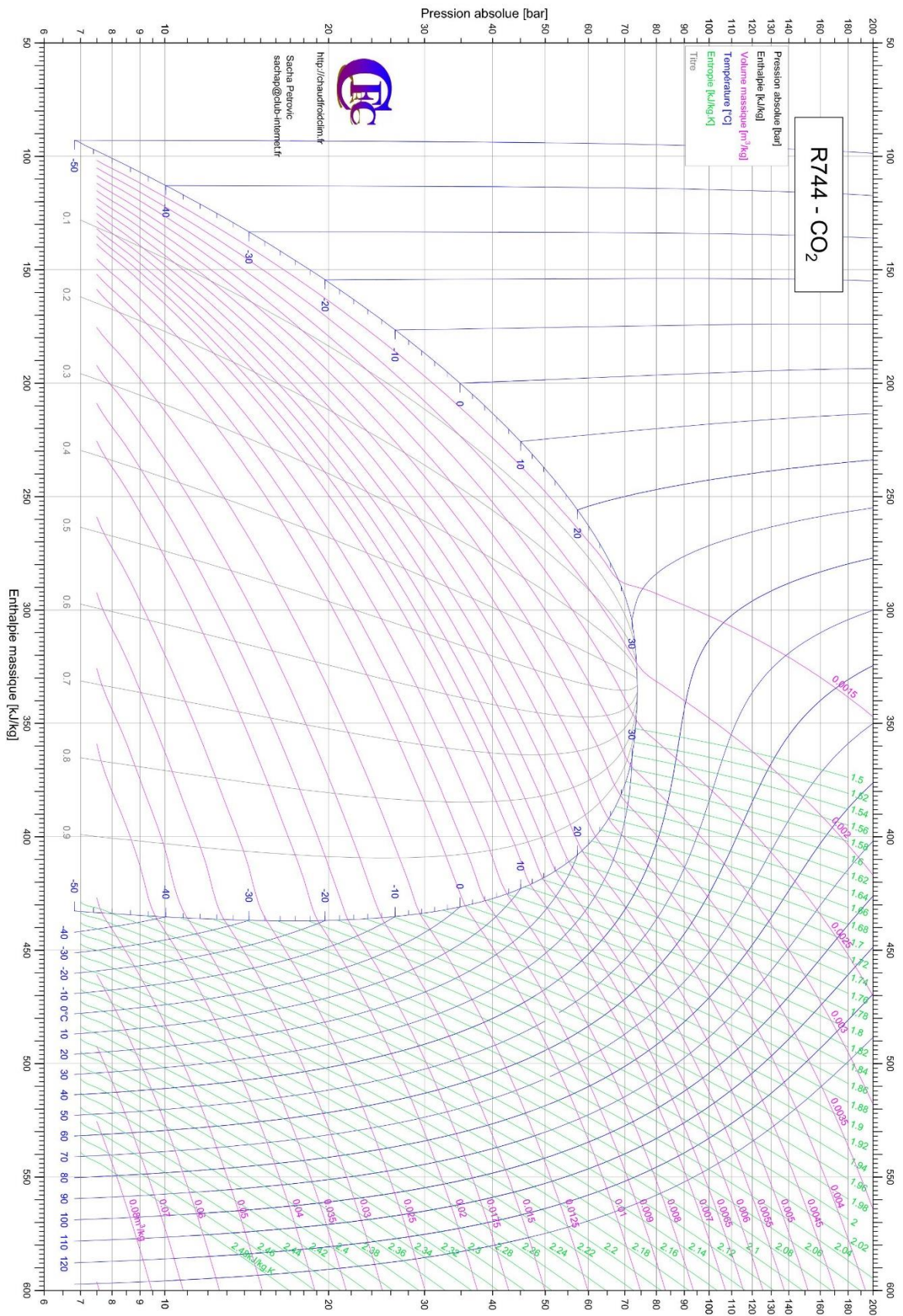


Figure 3.2 Diagramme de Mollier de R744(CO₂)

Conclusion:

Ce travail entre dans la finalisation d'un projet de fin d'étude de master en génie des procédés option génie chimique.

Il a été entrepris théoriquement à cause de l'épidémie qui sévit dans notre pays.

Il a consisté à dimensionner une unité de réfrigération du lait destiné à la consommation.

Cette unité utilise comme fluide frigorigène le R744, qui est un fluide inorganique appelé le CO₂.

Le travail en lui-même comporte deux parties,

- La première partie consiste à étudier le cycle de refroidissement au gaz carbonique par emploi du diagramme de Mollier ou le diagramme Enthalpique.
- La seconde partie à été réservée aux calculs des échangeurs de chaleur pour la production du froid assurant une production journalière du lait.

A l'issu de ce travail des résultats ont été obtenues et ont consistait à :

1. Le nombre d'échangeur requis pour cette étude : il est de 3.
 - Un condenseur.
 - Un évaporateur.
 - Un échangeur réchauffeur 4a.
2. Dimensionnement du condenseur. Les résultats obtenus sont :
 - Type de condenseur : à .
 - Température d'échange.
 - Entrée sortie CO₂ respectivement : °C et °C.
 - Entrée sortie eau respectivement : °C et °C.
 - Surface d'échange : m².
 - La longueur du condenseur : cm.
 - La largeur du condenseur : cm.
 - Le nombre de passes par calandre : passes.
 - Le nombre des calandres : .
 - L'épaisseur du condenseur : cm.
 - Le débit d'eau qui circule dans le condenseur : Kg/s.
3. Dimensionnement de l'évaporateur. Les résultats sont :

- Type de l'évaporateur : à CO₂.
- Température d'échange.
 - Entrée sortie CO₂ respectivement : °C et °C.
 - Entrée sortie lait respectivement : °C et °C.
- La surface d'échange m².
- La largeur de l'évaporateur : cm.
- Le nombre de boucles : boucles.
- La hauteur de l'évaporateur : m.

4. Dimensionnement de . les résultats sont :

- Température d'échange.
 - : °C et C.
 - : °C et °C.
- La surface d'échange : m².
- Le nombre de plaques : plaques.
- L'épaisseur de l'évaporateur : m.
- Le débit d'eau qui circule dans l'échangeur : Kg/s.

ملخص

غرف التبريد هي غرف مبردة تسمح بالحفاظ على المواد الغذائية (اللحوم والأسماك والخضروات ...) هناك فئتان من غرف التبريد: غرفة التبريد الإيجابية وغرفة التبريد السلبية.

في غرفة التبريد ، هناك شيان ضروريان: وحدة التبريد والمبردات ، والأخير يستعمل تبادل الحرارة من بيئة باردة إلى بيئة دافئة ، وذلك بفضل قدرتها على التكثيف والتبخير في درجات الحرارة تختلف باختلاف الضغط.

تستخدم دورات التبريد المبردات ذات الطبيعة العضوية مثل (كلورو فلورو كربون، هيدرو كلورو فلورو كربون) وهي مركبات تكون ضارة بالبيئة.

من الممكن الآن استبدال (كلورو فلورو كربون، هيدرو كلورو فلورو كربون) بسائل غير عضوي غير ضار وله تأثير بيئي منخفض مثل ثاني أكسيد الكربون (R744).

Résume:

Les Chambers froides sont des Chambers réfrigérées qui permettent la conservation des denrées alimentaires (viande, poisson, légume...). Il existe deux catégories de Chambers froides, la chambre froide positive et la chambre froide négative.

Dans une chambre frigorifique, deux choses sont indispensables: le groupe de réfrigération et les fluides frigorigènes, ces derniers servent l'échange de chaleur d'un milieu froid à un milieu chaud, grâce à ses capacités de condensation et d'évaporation à des températures variées suivant la pression.

Les cycles frigorifiques utilisent des fluides de réfrigération de nature organique tel que (CFC, HCFC,..) qui sont des composés agressifs à l'environnement.

Il est désormais possible de remplacer le CFC et le HCFC par un fluide de nature inorganique inoffensif qui a un faible impact sur l'environnement comme le CO₂(R744).

Abstract:

The cold rooms are refrigerated rooms which allow the conservation of foodstuffs (meat, fish, vegetables ...). There are two categories of cold rooms the positive cold room and the negative cold room.

In a refrigeration room, two things are essential: the refrigeration unit and the refrigerants, the latter serve the exchange of heat from a cold environment to a warm

Environment, thanks to its capacity of condensation and evaporation at temperatures varies with pressure.

Refrigeration cycles use refrigerants of an organic nature such as (CFC, HCFC, etc.) which are compounds which are aggressive to the environment.

It is now possible to replace CFC and HCFC with a harmless inorganic fluid that has a low environmental impact such as CO₂ (R744).

