REPUBLIQUE DU SENEGAL

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DU GENIE ELECTROMECANIQUE

Sagesse Devoir

Gm.0147

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

TITRE : CONCEPTION D'UNE PETITE UNITE DE FABRIQUE DE GLACE EN ECAILLES DE HAUTE QUALITE

AUTEUR : Pascal G. ANATO

DIRECTEUR : **Paul DEMBA**

CO-DIRECREUR : **M. Sérigne DIOP**

DATE : **Juillet 1993**

Dans un monde troublé par l'affliction, les frustrations et les angoisses de toutes sortes;

Dans une société consummée par la haine, le mensonge et les fausses prophéties;

Dans une atmosphère où l'on respire tant d'hypocrisie et de médisance, enfin

Dans un monde simplement malade, avide de paix et à la recherche perpétuelle de bien-être et de confort moral;

S'il est vrai que Dieu constitue l'unique solution réelle et efficace aux problèmes humains;

Il est tout de même indéniable que l'Homme tout court peut déjà, à travers la science, apporter beaucoup de solutions aux maux de l'humanité.

L'Homme Noir, qui a aujourd'hui le défit technologique à rélever, peut déjà partir de l'existant.

A ma famille

A mes amis

A tous ceux à qui je pense et à travers eux

A la personne à qui je me dois de penser au-délà de toutes choses

REMERCIEMENTS

L'homme doit, en partie, ce qu'il est dans la vie aux autres.

Je tiens à remercier tout d'abord Mr Paul DEMBA et Mr Sérigne DIOP pour avoir accepté d'encadrer ce projet malgré leurs hautes fonctions de chefs de Département du Génie Electromécanique à l'Ecole Polytechnique de Thiès et de la Centrale Electrique de Bel Air respectivement.

Je remercie Mr SENOU Ferdinand Ingénieur Polytechnicien et tous mes Professeurs et à travers eux, tous ceux ou celles qui de près ou de loin, ont contribué, chacun en ce qui le conserne, à ma formation.

SOMMAIRE

Le présent rapport traite de la conception d'une petite de glace de haute qualité et constitue la phase I du projet.

Après une étude théorique du cycle de réfrigération, l'établissement du bilan thermique de l'installation permettra de calculer et de choisir les divers composants du circuit.

De l'évaluation sommaire du coût de l'installation, il ressort qu'il est plus rentable de monter son unité sur place plutôt que d'en importer une préfabriquée. Ce montage fera l'objet de la phase II qui est la phase de réalisation pratique du projet. Il sera abordé ultérieurement.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....1

GENERALITES

1 - Systeme de réfrigération - machines frigorifiques.....3

2 - Cylce de réfrigération 4

3 - Moyens de production de la glace.....8

4 - Types de glace.....9

5 - Degré hygrométrique.....12

CHAPITRE 1

PRINCIPAUX ELEMENTS DU CIRCUIT ET LEUR FONCTIONNEMENT

1 - Compresseurs.....16

2 - Condenseurs.....25

3 - Evaporateurs.....33

CHAPITRE 2

CALCULS ET CHOIX DES COMPOSANTS

1 - Bilan thermique.....48

2 - Compresseurs.....54

3 - Condenseurs.....55

4 - Evaporateurs.....58

5 - Détendeurs.....64

6 - Moteur d'entraînement.....69

CHAPITRE 3

APPAREILS ANNEXES DU CIRCUIT.....72

CHAPITRE 4

LES FLUIDES FRIGORIGENES.....91

CHAPITRE 5

LA TUYAUTERIE.....100

CHAPITRE 6

L'ISOLATION.....108

CHAPITRE 7

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....116

REFERENCEES BIBLIOGRAPHIQUES.....118

ANNEXES.....120

LISTE DES TABLEAUX

N° PAGES

1- Classification des évaporateurs.....

2- Rendements types .....

3- Classification des condenseurs.....

4- Classification des évaporateurs.....

5- Entrées de chaleur.....

6- Facteurs de correction de puissance au condenseur.....

7- Facteurs de correction fluides frigorigènes .....

8- Facteurs de correction de Dt.....

9- Facteurs de correction température ambiante.....

10- Facteurs globaux de transmission:évaporateurs.....

11- Facteurs de correction de puissance.....

12- Facteurs de correction de Dt.....

13- Caractéristiques techniques des évaporateurs.....

LISTE DES ANNEXES

N° PAGES

1- Coefficients globaux de traansmission: condenseurs.....130

2- Propriétés du fluide R22.....131

3- Choix des détendeurs.....132

4- Cllassification des régulateurs.....133

5- Constituants physiques du groupe chlorofluoré.....134

6- Puissance pour conduite d'aspiration.....135

7- Facteurs de correction de puissance.....136

8-Vitesse d'aspiration.....137

9- Facteurs de coreection des vitesse d'aspiration.....138

10- Puissance pour conduites de liquide.....139

11- Facteurs de correction de puissance.....140

12- Puissance pour conduite de gaz de refoulement.....141

13- Vitesses de refoulement.....142

14- Facteurs de correction des vitesses de refoulement.....143

15- Dimensions desz conduites cuivre.....144

16- Poids de fluides frigorigènes dans les conduites.....145

17- Epaisseurs anti-condensation.....146

INTRODUCTION

Pour presque tous les usages, les pains de glace fabriqués doivent être préalablement concassés. D'où la mise au point d'un certain nombre de procédés préparant directement de la glace divisée (en fragments de dimensions et formes variables) qui, presque tous, utilisent la même détente directe, et qui se prêtent tous au fonctionnement automatique. Ces divers procédés conduisent à une économie de main d'oeuvre et à une réduction de l'encombrement. Malgré la maîtrise par le SENEGAL de cette technologie, il reste encore qu'elle coûte très chère en sorties de devises. Aussi notre objectif sera-t-il de réaliser une petite unité de fabrique de glace en écalles de hautes qualités, sous refroidie et sèche, idéale pour la conservation, la préparation ou la présentation de produits alimentaires; utilisable également pour divers processus industriels. Des précautions seront prises au stockage pour éviter que les fragments ne collent les uns aux autres.

Généralités

1. Système de réfrigération - Machine frigorifique
2. Cycle de réfrigération
   - 2.1 Evaporation
   - 2.2 Compression
   - 2.3 Condensation
3. Moyen de production de la glace
4. Types de glace
   - 4.1 Glace en cube
   - 4.2 Glace en neige
   - 4.3 Glace en tube
   - 4.4 Glace en bande ou en ruban
5. Hygrométrique en humidité relative

GENERALITES

1 Système de réfrigération - Machines frigorifiques

Du point de vue thermodynamique, une machine frigorifique est une machine à deux sources de chaleur et dont le fluide frigorigène décrit un cycle fermé dans le sens indirect (sens contraire à celui des aiguilles d'une montre).

Un système de réfrigération commercial comprend quatre parties principales:

1°) **Le réfrigérateur**, communément appelé armoire ou chambre froide. C'est l'espace isolé dans lequel la température basse est maintenue.

2°) **L'évaporateur** dans lequel le fluide frigorigène s'évapore en absorbant dans le réfrigérateur la chaleur fournie par la denrée à refroidir.

3°) **Le groupe compresseur**, qui est la machine chargée de comprimer les vapeurs de fluide frigorigène provenant de l'évaporateur, et par cette compression, permettre la condensation du fluide comprimé.

4°) **Un organe de détente**,qui règle la quantité de fluide

frigorigène à admettre dans l'évaporateur.

2 CYCLE DE REFRIGERATION

2.1 Evaporation

La chaleur pénètre dans le réfrigérateur par:

_ **Rayonnement**, sur les parois extérieures du réfrigérateur. En effet, les rayons calorifiques se propagent en ligne droite dans l'espace, et émis par un corps à température élevée ils sont absorbés partiellement par les corps plus froids qui forment écran à leur propagation, la partie non absorbée est réfléchie d' une façon identique à la réflexion des rayons lumineux par un miroir. Cette forme de chaleur est négligeable dans notre cas.

_ **La conduction à travers l'isolation**

La transmission de chaleur par conduction a lieu dans un seul et même corps lorsque ses parties présentent des températures différentes, ou d'un corps à un autre si, ces deux corps ayant des températures différentes sont en contact. Cette forme de chaleur est également négligeable.

_ **Convection**

C'est le mode de transmission propre aux fluides. Le médium (liquide ou vapeur) entre en mouvement par différence de densité, les parties chaudes étant plus légères et véhiculant la chaleur.

La chaleur véhiculée à l'intérieur du réfrigérateur est fournie par les denrées à refroidir ou à congeler (ici de l'eau). Cet apport de chaleur est fait sous forme de chaleur sensible et provoque l'ébullition du fluide réfrigérant dans l'évaporateur; elle est absorbée par le fluide frigorigène par libération de sa chaleur latente de vaporisation.

2.2 **Compression**

Les vapeurs formées durant l'évaporation sont aspirées par le compresseur qui les refoule au condenseur.

La quantité de chaleur contenue dans cette vapeur augmente ainsi que sa température du fait même de cette compression.

La pression augmente en même temps que la température.

2.3 **Condensation**

La température de condensation est supérieure à celle du médium (gaz ou liquide) de refroidissement.

La vapeur comprimée abandonne sa chaleur (qui va toujours du corps le plus chaud au corps le plus froid) et se condense dans le condenseur.

Le liquide s'écoule au réservoir, d'où il part pour un nouveau cycle.

Lors de la condensation du fluide frigorigène le médium de condensation doit absorber (sous forme sensible) la chaleur latente de condensation correspondant à la température de condensation du fluide frigorigène.

Il n'y a pas de réfrigération pendant les périodes d'arrêt du groupe compresseur.

Le système est équilibré de façon à maintenir pendant la marche une pression constante sur le fluide frigorigène dans l'évaporateur. Cela est obtenu par l'action du compresseur qui aspire les vapeurs dès qu'elles se forment. Mais lorsque le compresseur est arrêté, ces vapeurs n'étant plus aspirées, la

pression s'élève dans l'évaporateur en même temps que la température, ce qui retarde ou arrête l'ébullition du fluide frigorigène.

Le fluide frigorigène bout sous faible pression. D'autre part les vapeurs émises par le fluide lors de son ébullition ne peuvent être liquéfiées que si une pression élevée est maintenue au condenseur. Ce qui voudra dire que nous avons deux pressions bien distinctes dans un circuit frigorifique:

_ La partie basse pression, comprenant la partie du système depuis la sortie de l'organe de détente, l'évaporateur, la ligne d'aspiration et le compresseur, jusqu'au clapet d'aspiration du compresseur.

_ La partie haute pression depuis le clapet de refoulement, le condenseur, le réservoir et la ligne de liquide jusqu'à l'entrée de l'organe de détente.

Le cylindre du compresseur et l'organe de détente sont les deux éléments séparant les côtés haute et basse pression d'un circuit frigorifique.

3 Moyens de production de la glace

De façon classique, la glace est fabriquée par congelation de l'eau dans des mouleaux immergés dans un bain de liquide incongelable à basse température. Cependant, il existe des procédés plus modernes permettant un encombrement moindre et un automatisme plus complet des opérations.

Les différentes techniques de congelation utilisées sont les suivantes:

- par contact avec une surface réfroidissante;
- dans l'air (soufflage de l'air entre 3 et 5 m/s);
- par immersion dans un bain de saumure.

Nous retiendrons la première technique qui,

- permettra une grande vitesse de circulation;
- présentera un encombrement minimum;
- exigera une main d'oeuvre restreinte.

4 Types de glace

On peut faire une classification des procédés de

fabrication de la glace divisée selon la forme de la glace préparée.

4.1 Glace en cubes

Diverses machines fabriquent directement la glace en petits cubes ou cylindres destinés aux cafés,restaurants, hôtels etc... Le résultat est obtenu au moyen de surfaces refroidies à alvéoles présentant la forme désirée. La glace est particulièrement utilisée pour le glaçage des wagons dans des installations qui peuvent être rendues presque entièrement automatiques et qui se présentent sous la forme de tour de glaçage comprenant les générateurs de glace placés directement au-dessus des silos de stockage qui sont eux-mêmes situés assez plus haut pour permettre le déversement de la glace divisée dans les trappes des paniers de glace de wagons.

4.2 Glace en neige

La glace se forme à l'intérieur d'un cylindre (à axe

horizontal ou vertical selon les cas) et est raclée au fur et à mesure de sa formation par des couteaux. Elle est évacuée sous forme de neige mélangée à une grande quantité d'eau dont elle est ensuite séparée par criblage. Cette neige peut être employée telle qu'elle (pour le poisson notamment), ou bien être pressée sous forme de boulettes ou briquettes.

4.3 Glace en tubes

La surface froide est constituée par une série de tubes verticaux. Le plus souvent l'eau descend en tourbillonnant à l'intérieur des tubes, tandis que le fluide frigorigène s'évapore dans une calandre à l'extérieur des tubes. La glace est décollée par le procédé des gaz chauds, descend par gravité, est découpée et se présente sous forme d'anneaux ou fragments d'anneaux.

4.4 Glace en bande ou en ruban

Une couche continue de glace se forme sur une surface métallique refroidie et en mouvement, d'où elle est détachée par

un racleur, un marteau ou par déformation de la surface. Cette surface est constituée dans la plupart des procédés relevant de cette catégorie, par un tambour cylindrique horizontal, refroidi par détente directe ou par saumure, plongé plus ou moins profondément dans un bain d'eau. C'est la réalisation de cette dernière forme que nous nous proposons de faire dans les lignes qui suivent.

5 DEGRE HYGROMETRIQUE OU HUMIDITE RELATIVE

La teneur en humidité de l'air ne peut pas être mesurée d'une façon simple. Elle se calcule ou se détermine à l'aide d'un diagramme.

On a donc été amené à définir une autre grandeur caractéristique de l'air humide qui puisse faire l'objet d'une mesure simple et directe. C'est le degré hygrométrique ou humidité relative.

Le degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de vapeur de l'air humide à la température considérée à la pression partielle de vapeur saturante à la même

température. Exprimé en pourcentage, il est compris entre 0 et 100.

A zéro l'air est absolument sec; à 100, il est saturé.

Plus il est élevé, plus la pression partielle de vapeur de l'air humide est proche de la pression partielle de vapeur saturante à la même température. En d'autres termes, plus le degré hygrométrique est élevé, plus on est près de la saturation.

Principaux éléments du circuit et leur fonctionnement

1. COMPRESSEURS

1.1 Rôle du compresseur

1.2 Compresseurs alternatifs

1.2.1 Caractéristiques géométriques

1.2.1.1 Cylindrée

1.2.1.2 Volume horaire balayé

1.2.1.3 Débit masse du fluide

1.2.2 Caractéristiques mécaniques

1.2.2.1 Pression moyenne indiquée

1.2.2.2 Travail indiqué

1.2.2.3 Puissance indiquée

1.2.2.4 Puissance effective

1.2.3 Caractéristiques thermiques

1.2.3.1 Puissance frigorifique

1.2.3.2 Production frigorifique massique

1.2.3.3 Production frigorifique rapportée au mètre cube

1.2.3.4 Production frigorifique spécifique indiquée

1.2.3.5 Production frigorifique spécifique effective

1.2.4 Caractéristiques qualitatives

1.2.4.1 Coefficient de perfomance

1.2.4.2 Taux de compression

1.3 Compresseurs rotatifs

1.3.1 Caractéristiques géométriques

1.4 Compresseurs centrifuges

1.5 Rendement

1.5.1 Rendement volumétrique

1.5.2 Rendement interne

1.5.3 Rendement mécanique

1.5.1 Rendement électrique

2. CONDENSATEURS

2.1 Quantité de chaleur à évacuer au condensateur

2.2 Surface de condensation

2.3 Débit masse de fluide de condenseur

2.4 Débit d'air

2.5 Débit d'air par différence d'enthalpie

2.6 Ecart de températures

2.6.1 Valeurs pratiques des écarts

2.7 Condenseurs à air

2.7.1 Condenseur à air à circulation naturelle

2.7.2 Condenseur à air à circulation d'air forcée

3. EVAPORATEURS

3.1 Rôle

3.2 Mode de transmission de chaleur

3.3 Quantité de froid à produire

3.4 Surface d'évaporation

3.5 Débit masse de fluide à refroidir

3.6 Débit d'air

3.7 Ecart moyen

3.8 Valeurs pratiques des écarts

3.9 Ecart moyen logarithmique

3.10 Classification des évaporateurs

3.11 Evaporateur à tambour

3.12 Evaporateurs plafonniers

3.13 Givrage

3.13.1 Formation de givre

3.13.2 Dégivrage des chambres froides à température négatives

3.13.3 Dégivrage électrique

PRINCIPAUX ELEMENTS DU CICUIT ET LEUR FONCTIONNEMENT

1 LES COMPRESSEURS

Bien que l'on puisse considérer l'évaporateur comme le centre et l'organe essentiel d'une installation frigorifique - en tant que générateur de froid - le compresseur n'en reste pas moins (avec le détendeur) l'organe mécanique le plus compliqué et le plus délicat de l'installation et ce sera lui qui fera l'objet de vérification les plus systématiques lors d'une inspection de l'installation.

1.1 Rôle du compresseur

Coeur de tout système de refrigération, le compresseur aspire les vapeurs produites par la vaporisation du fluide frigorigène à une pression faible correspondant aux conditions de fonctionnement, et refoule à haute pression ces vapeurs comprimées dans le condenseur afin de permettre leur condensation par refroidissement.

On distingue plusieurs types de compresseurs:

TABLEAU 1

Classification des compresseurs mécaniques

	Type de machine		Conception et construction		Mode de compression
Compresseurs mécaniques	Alternatifs à piston	à simple ou double effet	sans carter	• horizontaux	• compression simple
			à carter ouvert	• verticaux	• compression simple ou étagée
		à simple effet	à carter fermé	• verticaux	• compression simple ou étagée
		à simple effet	hermétiques hermétiques accessibles	motocompresseur	compression simple
	Rotatifs	à espace variable	à commande extérieure hermétiques	motocompresseur	compression simple
		centrifuges	monoroue multiroue	motocompresseur	compression simple compression étagée

1.2 COMPRESSEURS ALTERNATIFS

1.2.1 Caractéristiques géométriques

Elles découlent des dimensions mêmes du compresseur, c'est-à-dire du nombre de cylindres, de l'alésage de ceux-ci, de la course des pistons, de la vitesse de rotation.

ce sont:

_ la cylindrée: C

_ le volume horaire balayé: v_h

_ le débit masse du fluide: q^m

1.2.1.1 Cylindrée

C'est le volume balayé par les pistons lors de leur course d'aspiration, et ce pendant un tour de l'arbre manivelle.

$C\ (cm^3) = ((3.14 * d^2 / 4) * l * N) * 10^{-3})$

d représente l'alésage des pistons en mm;

l représente la course des pistons en mm;

N le nombre de cylindres.

1.2.1.2 **Volume horaire balayé**

Il représente le volume balayé ou engendré par les pistons pendant une heure et tient compte de la vitesse de rotation n en tours par minute du compresseur.

v_h (m^3/h) = $C*n*60*10^{-6}$

1.2.1.3 **Débit masse du fluide**

C'est le nombre de kilogramme de fluide ayant circulé dans le compresseur en une heure. Le débit masse dépend des conditions de fonctionnement du compresseur; il est lié au volume horaire balayé et au volume massique du fluide frigorigène dans les conditions ou celui-ci se présente à l'aspiration du compresseur. A la température T_{adm} et à la pression P_{adm} d'aspiration en m^3/s, le débit masse du fluide q_m est donné par la relation:

q_m(kg/h) = v_h/v_0

ou v_0 est le volume massique du fluide frigorigène.

1.2.2 Caractéristiques mécaniques

Ces caractéristiques découlent du fonctionnement du compresseur et de l'examen du diagramme de fonctionnement.

Ce sont:

_ la pression moyenne indiquée: p_m;

_ le travail indiqué: w_i;

_ la puissance indiquée: p_i;

_ la puissance effective: p_e.

1.2.2.1 Pression moyenne indiquée

C'est la pression qui aurait règné dans le cylindre pendant un tour de l'arbre manivelle.

1.2.2.2 Travail indiqué

C'est la force nécessaire, pendant la course de compression, pour mouvoir le piston et faire passer les vapeurs de la pression d'aspiration P_{adm} à la pression de refoulement P_{ref}.

$W_i = f*l$

1.2.2.3 **Puissance indiquée**

Elle correspond au travail effectué pendant une seconde si le compresseur tourne à n tours/mn.

1.2.2.4 **Puissance effective**

C'est la puissance à fournir sur l'arbre du compresseur. Compte tenu des frottements intervenant dans les pièces en mouvement du système bielle manivelle et également des frottements aux paliers du compresseur, la puissance effective est supérieure à la puissance indiquée.

$P_e > P_i$

1.2.3 **Caractéristiques thermiques**

1.2.3.1 **Puissance frigorifique: Φ_0**

La première des caractéristiques thermiques d'un compresseur

est la puissance frigorifique qu'il est capable de développer. Cette puissance est fonction, d'une part, des caractéristiques géométriques du compresseur (volume horaire balayé), mais dépend également des caractéristiques physiques du fluide frigorigène utilisé et des conditions de températures entre lesquelles évolue le fluide (température d'évaporation, de condensation et d'admission au détendeur).

1.2.3.2 **Production frigorifique massique: q_{om}**

La puissance frigorifique brute de la machine étant de Φ_0 kcal/heure, le débit masse de fluide frigorigène de q_m kg/h, la puissance frigorifique massique a pour valeur:

$$q_{om} = \Phi_0/q_m$$

1.2.3.3 **Production frigorifique rapportée au mètre cube: q_{ov}**

La quantité q_{ov} (kcal/m^3) = Φ_0/v_a est la production frigorifique rapportée au mètre cube aspiré.
v_a est le volume horaire aspiré en m^3/h par le piston pendant les

courses d'aspiration.

1.2.3.4 **Production frigorifique spécifique indiquée: k_i**

C'est le rapport de la puissance frigorifique brute du compresseur en kcal/h à la puissance indiquée P_i en kw.

k_i (kcal/h) = Φ_0/p_i

1.2.3.5 **Production frigorifique spécifique effective: k_e**

C'est le rapport k_e de la puissance frigorifique brute du compresseur en kcal/h à la puissance effective en kw.

k_e (kcal/kw) = $\Phi 0/P_e$

1.2.4 **Caractéristiques qualitatives**

1.2.4.1 **Coefficient de performance**

C'est le rapport de la recette (froid produit) à la dépense (travail fourni pour obtenir ce résultat). La valeur de ce rapport toujours supérieure à un) permet de caractériser le

résultat de la machine frigorifique par rapport au cycle de Carnot.

$$e = \Phi_0/AW$$

A représente l'équivalent calorifique du travail mécanique.

1.2.4.2 Le taux de compression

Le taux de cmpression est la valeur du rapport des pressions (absolues) de refoulement et d'aspiration.

$$t = P_{ref}/P_{adm}$$

P_{ref} = 1730 KPa (par interpollation)

P_{adm} = 306.78 KPa

d'où $t = 1730/306.78 = 5.64$

1.3 Compresseurs rotatifs

1.3.1 Caractéristiques géométriques

Elles découlent, pour les compresseurs rotatifs des dimensions géométriques du compresseur c'est-à-dire du diamètre du rotor, de celui du stator, de la longueur du rotor et du

TABLE 2 RENDEMENTS TYPES
COMPRESSEURS PISTON
A GRANDE VITESSE AVEC FLUIDES FRIGORIGENES
R-12 ET R-22

RAPPORT DE COMPRESSION	RENDEMENT VOLUMETRIQUE %	COEFFICIENT DE PERFORMANCE kW/kW
2,0	88,50	0,153
2,2	87,00	0,172
2,4	85,60	0,189
2,6	84,20	0,204
2,8	82,90	0,223
3,0	81,60	0,240
3,2	80,03	0,255
3,4	79,10	0,269
3,6	78,00	0,284
3,8	76,20	0,299
4,0	75,60	0,312
4,2	74,50	0,327
4,4	73,50	0,339
4,6	72,50	0,354
4,8	71,40	0,367
5,0	70,04	0,378
5,2	68,90	0,390
5,4	68,40	0,403
5,6	67,40	0,416
5,8	66,40	0,428
6,0	65,30	0,439
6,2	64,30	0,452
6,4	63,40	0,462
6,6	62,50	0,475
6,8	61,30	0,488

stator et du nombre de cellules formées entre stator et rotor par les palettes coulissantes portées par le rotor.

A quelques différences près, les autres caractéristiques sont les mêmes que celles du compresseur alternatif. Il convient de noter toutefois que la notion d'espace libre et l'influence de ce dernier sur la valeur du rendement volumétrique du compresseur sont moins évdentes que dans le cas des compresseurs alternatifs.

1.4 **Compresseurs centrifuges**

Les caractéristiques géométriques définies pour les compresseurs alternatifs et rotatifs ne peuvent l'être en totalité pour les compresseurs centrifuges. Toutefois, les caractéristiques mécaniques, thermiques et qualitatives le sont.

En général les critères de choix ne sont pas simples. Les compresseurs volumétriques sont mieux adaptés au traitement de volume de vapeur relativement modéré pour des taux de compression élevés. Les compresseurs rotatifs hélicoïdaux sont ceux qui s'accommodent le mieux aux taux de compression élevés tout en

véhiculant des volumes de vapeurs importants, alors que les compresseurs à palettes l'acceptent moins bien, surtout si la différence de pression est importante en valeur absolue. Les compresseurs à impulsion conviennent aux conditions inverses, c'est-à-dire grands volumes de vapeur véhiculés sous un taux de compression modéré; les compresseurs axiaux représentent, de ce point de vue , l'extrême.

1.5 **Rendements**

1.5.1 Rendement volumétrique

Le rapport entre la puissance réelle de la machine exprimé en volume de gaz aspiré, et sa puissance théorique est appelé rendement volumétrique. Il varie avec le rapport de compression. Le rendement diminue quand le taux de compression augmente. Pour un taux de compression de 5.64 le rendement volumétrique est approximativement de 67.4%.

1.5.2 Rendement interne

C'est le rapport entre la puissance technique,représentée par la puissance intégrale, et la puissance interne.

1.5.3 Rendement mécanique

Il tient compte des divers frottements résultant de la chaîne cinématique de mouvement alternatif du piston en mouvement de rotation et des prises de mouvements auxilliaires éventuelles (pompe à huile). Il vaut de 0.85 à 0.93 selon la puissance.

Rendement électrique

Dans le cas de l'utilisation d'un réducteur entre moteur et compresseur, ce rendement doit être multiplié par celui du réducteur.

2 CONDENSEURS

Dans une installation frigorifique, le condenseur est l'appareil qui sert à assurer le passage de l'état vapeur à l'état liquide du fluide frigorigène refoulé par le compresseur (dans une installation à compression). Pour ce faire, il faut refroidir la vapeur considérée au moyen d'un fluide extérieur. Naturellement, les fluides les plus généralement utilisés sont les fluides les plus courants dans la nature, c'est-à-dire l'air ou l'eau, ou encore une combinaison des deux. On distingue deux types de condenseurs:

Condenseur à air

condenseur à eau

* Les condenseurs à air sont utilisés dans des installations frigorifiques de petites puissances et dans bon nombre d'installations frigorifiques commerciales. Ils sont de ce fait les mieux adaptés à notre cas.

* Les condenseurs à eau sont plutôt utilisés en raison du faible coefficient de chaleur que l'on peut atteindre avec l'air. Ils conduisent à un encombrement et à un poids considérables des

condenseurs à air dans les installations frigorifiques industrielles.

2.1 Quantité de chaleur à évacuer au condenseur

La quantité de chaleur à évacuer au condenseur est toujours plus élevée que la quantité de froid produite à l'évaporateur.

En effet,au cours de sa compression, le fluide absorbe sous forme d'énergie calorifique l'énergie mécanique fournie par le moteur de commande. Il nous faudra donc ajouter à la quantité de froid produite l'équivalent calorifique du travail de compression pour obtenir la quantité de chaleur à évacuer au condenseur.

Cette quantité de chaleur est donnée par la relation:

Φ_k (kcal/h) = Φ_o + 860P

dans laquelle:

Φ_k représente la quantité de chaleur à évacuer au condenseur;

Φ_o la production frigorifique brute du compresseur en kcal/h;

P la puissance mécanique nécessitée par la compression du

fluide, en kw.

Le facteur 860 (kcal/h) représente l'équivalent calorifique du kilowattheure.

2.2 Surface de condensation

Le coefficient global de transmission K, caractéristique du condenseur à calculer nous indique quelle quantité de chaleur nous pouvons transmettre par mètre carré de surface, par heure, et par degré d'écart entre la température du fluide et la température moyenne du médium de condensation.

En désignant par:

S: la surface de transmission du condenseur en m^2;

K: le coefficient global de transmission de chaleur du condenseur en $kcal/h.m^2.°C$;

Dt: la différence de température entre la température de condensation et la température moyenne du médium en °C,

la quantité de chaleur que pourra transmettre le condenseur aura pour valeur:

$$\Phi_k \text{ (kcal/h)} = K*S*Dt$$

d'où $S(m^2) = \Phi_k/(K*Dt)$

Très généralement, la valeur du coefficient global de transmission d'un condenseur à air est comprise entre 22 et 30 w/m^2 (20 à 25 $kcal/h.m^2.°C$).

2.3 **Débit masse de fluide de condensation**

Le fluide de condensation agit par absorption de chaleur sensible. Il ne pourra absorber, par kilogramme en circulation, et par degré d'élévation de sa température, qu'une quantité de chaleur égale à C_p(kcal/kg) à chaleur massique , à pression constantes.

Par suite, pour une variation dt entre ses températures t_s de sortie , et t_e d'entrée au condenseur, il pourra absober par kilogramme en circulation:

q (kcal/kg) $= C_p*(t_s - t_e)$

soit q kcal/kg) $= C_p*dt$

Pour évacuer Φ_k kcal, le débit masse nécessaire devra donc être tel que nous ayons:

$\Phi_k = q_m*C_p*(t_s - t_e)$

$$\text{soit } q_m' \text{ (kg/h)} = \frac{\Phi_k}{C_p*(t_s - t_e)} = \frac{\Phi_k}{C_p*dt}$$

2.4 **Débit d'air**

Le débit masse d'air a pour expression:

$$q_{ma} \text{ (kg d'air sec)} = \frac{\Phi_k}{C_p*dt}$$

L'air atmosphérique contenant en suspension la vapeur d'eau est dit "humide" et son volume massique varie avec la température et la quantité de vapeur d'eau en suspension. Cette variation étant faible en (général), nous pouvons, sans commettre d'erreur appréciable, supposer que l'air est sec pour le calcul de faibles débits d'air.

Dans ces conditions, la chaleur massique de l'air sec a pour valeur:

C_p = .24 kcal/kg,

qui rapportée au m^3 d'air, nous donne une valeur de:

C_p = 0.24*1.293 = 0.31 kcal.m^3

Le débit volume à faire circuler sur le condenseur sera de:

$$qva\ (m^3/h) = \frac{\Phi_k}{0.31*dt}$$

2.5 **Débit d'air par différence d'enthalpie**

Connaissant la température de l'air à l'entrée du condenseur t_e et son humidité relative , il est possible de déterminer avec le diagramme de l'air humide, l'enthalpie h_e de l'air à l'entrée du faisceau de condensation d'une part; d'autre part, connaissant la valeur de l'échauffement de l'air dt, nous pouvons déterminer t_s, température à la sortie du condenseur et sachant que l'air s'échauffe sur le condenseur à teneur en eau constante, nous pouvons déterminer l'enthalpie l'enthalpie de l'air à la sortie du condenseur h_s.

Le débit d'air sera alors de:

$$q_{ma}\ (kg\ d'air\ sec) = \frac{\Phi_k}{h_s - h_e}$$

et si v est le volume massique de l'air se présentant aux pales du ventilateur, le débit volume d'air à faire circuler sur le condenseur aura pour valeur:

q_{va} (m^3/h) $= v * q_{ma}$

2.6 **Ecarts de températures**

L'échange de chaleur a lieu entre un fluide (R22 dans notre cas) se condensant à température constante qui restitue sa chaleur latente de vaporisation et un fluide (ici de l'air) qui absorbe cette quantité de chaleur sous forme sensible d'où élévation de la température t_e d'entrée à la température t_s de sortie.

Soit t_c la température de condensation en °C.

Ecart à l'entrée

$Dt_e = t_c - t_e$

Ecart à la sortie

$Dt_s = t_c - t_s$

Ecart moyen

$Dt = (Dt_e + Dt_s)/2$

Dt est la différence entre la température de condensation et la température moyenne du fluide de condensation. Mais cet écart a une valeur supérieure à l'écart réel. Aussi lui préfère-t-on

l'écart moyen logarithmique DLMT.

$$DLMT = \frac{Dt_{max} - Dt_{min}}{\ln(Dt_{max}/Dt_{min})}$$

Dt_{max} et Dt_{min} : écarts maximum et minimum entre les fluides en présence;

ln: logarithme népérien.

2.6.1 **Valeurs pratiques des écarts**

La température de condensation est généralement admise comme étant supérieure de 7 à 8°C à la température de sortie d'air, l'échauffement de celui-ci étant de 5 à 6°C, ce qui conduit à avoir une température de condensation supérieure d'environ 15°C à la température ambiante qui est celle d'entrée de l'air sur le faisceau du condenseur.

2.7 **Condenseurs à air**

Leur intérêt tient du fait qu'on peut disposer de l'air

gratuitement et en quantité non limitée. Ils assurent ainsi économiquement la condensation des vapeurs de fluide frigorigène. Notons cependant que l'air a une très faible chaleur massique C_p = 0.24 kcal/kg d'air sec) et un faible coefficient général de transmission entre vapeur condensante et un gaz.

2.7.1 **Condenseurs à air à circulation naturelle**

Ils ne sont utilisés que pour de très faibles puissances (armoires ménagères ou appareils similaires).

2.7.2 **Condenseurs à air à ciculation d'air forcée**

Ils sont utilisés pour des puissances frigorifiques supérieures à celles installées sur des armoires ou meubles ménagers. La condensation à circulation d'air forcé rend - par limitation de l'encombrement - compatibles les appareils utilisés avec les puissances calorifiques à évacuer. Ils sont placés sur le socle du groupe compresseur et l'hélice de ventilation est montée sur la poulie du moteur s'il s'agit d'un compresseur

TABLEAU 3
Classification des condenseurs.

Condenseurs	à chaleur sensible	à air	à circulation d'air naturelle
			à circulation d'air forcée
		à eau	à immersion
			à double tube et contre-courant
			à calandres (multitubulaires horizontaux)
	à chaleur latente	atmosphériques	à calandres (multitubulaires verticaux)
			à ruissellement simple
			à ruissellement et contre-courant
		à évaporation forcée	Evapo-condenseurs (Evaporative-condensers)

entraîné par courroies. Dans le cas de motocompresseur hermétiques ou hermétiques accessibles, c'est un électroventilateur indépendant qui assure la ventilation de l'air sur le faicseau aileté.

3 **EVAPORATEURS**

Bien que placé dans notre classification au troisième rang, l'évaporateur est la source de prodution du froid, but final et principal de l'installation.

Les évaporateurs sont des échangeurs thermiques au même titre que les condenseurs. Ils assurent le passage du flux calorifique du milieu à réfroidir au fluide frigorigène, ce flux calorifique ayant pour effet de vaporiser le fluide frigorigène liquide contenu à l'intérieur de l'évaporateur.

Il est donc primordial que cet appareil possède un bon coefficient de transmission global K afin que le passage du flux calorifique du milieu extérieur au fluide frigorigène se passe, pour une surface donnée de l'appareil, avec une différence de température la plus faible possible entre la température du

milieu extérieur à refroidir et la température de vaporisation du fluide frigorigène.

3.1 **Rôle**

L'évaporateur doit assurer le passage du flux calorifique provenant du milieu à refroidir au fluide frigorigène, celui-ci absorbant ce flux à température constante par libération de sa chaleur latente de vaporisation.

L'évaporateur est rempli d'un mélange hétérogène de liquide et de vapeur. Le titre de vapeur dont la valeur x_e à l'injecton est fonction de la nature du fluide frigorigène, de la température d'arrivée du fluide au détendeur et de celle de vaporisation, augmente constamment pour devenir égal à un à la sortie de l'évaporateur.

L'efficacité frigorifique du mélange liquide-vapeur étant celle correspondante à la partie liquide du mélange, il est de notre intérêt de réduire la valeur du titre du mélange admis à l'évaporateur à une valeur aussi faible que possible. C'est la fonction fort heureusement remplie par les séparateurs de

CHAPITRE 1

liquide.

3.2 **Mode de transmission de chaleur**

Comme dans les condenseurs, il nous faut rechercher l'obtention d'un bon coefficient global de transmission de chaleur de façon à assurer le passage du flux calorifique avec une faible différence de température afin de rapprocher le plus possible la température du régime extérieur (milieu à refroidir) de celle du régime intérieur (température de vaporisation). L'échange de chaleur se fait essentiellement par convection.

le coefficient global de transmission K est de forme identique à celui établi pour les condenseurs. Ce coefficient K nous indiquera la quantité de kcal que peut absorber un évaporateur par mètre carré de surface, par heure et par degré d'écart entre la température du fluide en ébullition et la température du médium à refroidir. Il varie avec le type de l'évaporateur et sera une des grandeurs caractéristiques qui nous permettront de calculer la surface à donner à un évaporateur

déterminé pour évacuer la production désirée.

3.3 **Quantité de froid à produire**

La quantité de froid à produire (ou de chaleur à absorber) par l'évaporateur dépend des conditions particulières de l'installation et est évaluée par l'établissement du "bilan thermique" de celui-ci. Elle est conventionnellement désignée par: $Þ_o$ frigories heure.

3.4 **Surface d'évaporation**

Le coefficient global de transmission K, caractéristique de l'évaporateur à calculer nous indique quelle quantité de chaleur nous pouvons absorber par mètre carré de surface, par heure et par degré d'écart entre la température t_o de vaporisation du fluide frigorigène et la température t_m du milieu à refroidir. Si Φ_o est la quantité de chaleur que pourra absorber l'évaporateur, alors:

$$\Phi_o \text{ (kcal/h)} = K*S*Dt$$

d'où S (m^2) = $\Phi_o/(K*Dt)$

S: surface de transmission de l'évaporateur en m^2;

K: coefficient global de transmission de l'évaporateur en $kcal/h.m^2.°C$;

Dt: la différence de température entre la température moyenne du milieu à refroidir et la température de vaporisation du fluide frigorigène.

3.5 **Débit masse de fluide à refroidir**

Le fluide à refroidir, au contact de l'évaporateur, présente entre ses températures d'entrée t_e et de sortie t_s une différence

dt (°C) = $t_e - t_s$

Ce fluide ayant, à pression constante, une chaleur massique C_p kcal/kg abandonnera de t_e à t_s une quantité de chaleur telle que,par kilogramme de fluide en circulation nous ayons:

q_o (kcal/kg) = $C_p*(t_e - t_s) = C_p*dt$

Si q_m est le débit masse du fluide à refroidir, alors:

$\Phi_o = q_m*C_p*dt$

==> $q_m = \Phi_o/(C_p*dt)$

3.6 **Débit d'air**

En négligeant la variation de volume massique, on suppose que l'air est sec.

q_{ma} (kgair sec) = $\Phi_o/(c_p*dt)$

q_{va} (m^3/h) = $\Phi_o/(0.31*dt)$

3.7 **Ecart moyen Dt**

L'échange de chaleur au niveau de l'évaporateur a lieu entre un fluide (R22) se vaporisant à température constante t_o et un fluide (de l'eau dans notre cas) se refroidissant de t_e à t_s.

Soit

t_o: la température de vaporisation en °C;

t_e: la température d'entrée du fluide à refroidir;

t_s: la température de sortie du fluide à refroidir en °C.

Ecart à l'entrée

$Dt_e = t_e - t_o$

Ecart à la sortie

$Dt_s = t_s - t_o$

Ecart moyen

$Dt = (Dt_e + Dt_s)/2 = t_m - t_o$ en posant $t_m = (t_e + t_s)/2$

L'écart moyen est égale à la différence entre la température moyenne du fluide à refroidir et la température de vaporisation.

3.8 **Valeurs pratiques des écarts**

Les valeurs pratiques de Dt sont en général de 5°C lorsque le fluide à refroidir est un liquide. Lorsqu'il s'agit d'un gaz et en particulier de l'air, ces valeurs sont variables et sont fonction du degré hygrométrique désiré pour l'air de la chambre froide. Mais signalons d'ores et déjà que ces valeurs varient de 4 à 14°C en général.

3.9 **Ecart moyen logarithmique**

L'écart moyen arithmétrique perd da validité à partir du

moment où les valeurs de Dt_e et Dt_s s'éloignent notablement l'une de l'autre. Il peut conduire dans ces conditions à la détermination de surfaces d'échange insuffisantes, l'écart étant supérieure à l'écart réel qui l'écart moyen logarithmique DLMT.

$$D_m = \frac{Dt_{max} - Dt_{min}}{\ln(Dt_{max}/Dt_{min})}$$

3.10 **Classification des évaporateurs**

Suivant le but qui leur est assigné, les évaporateurs peuvent être classés en:

_ évaporateurs refroidisseurs de liquide;

_ évaporateurs refroidisseurs de gaz;

_ évaporateurs congélateurs;

_ évaporateurs spéciaux.

Nous étudierons les évaporateurs à tambour parmi les évaporateurs spéciaux et les évaporateurs plafonniers/muraux parmi les évaporateurs refroidisseurs de gaz.

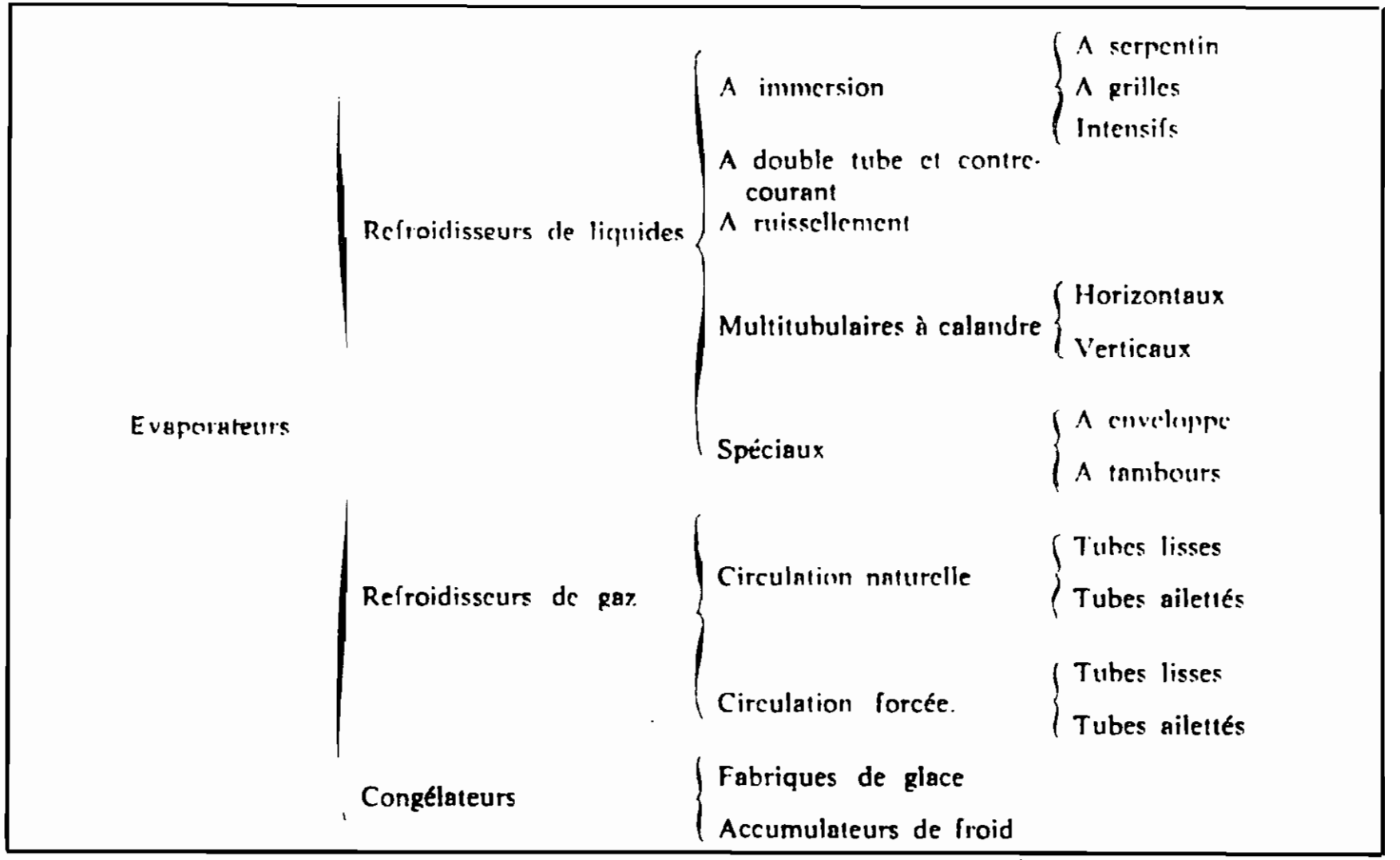
3.11 **Evaporateurs à tambour**

Ces évaporateurs sont constitués par un cylindre en acier inoxydable dont la partie basse est immergée dans le liquide que l'on désire congeler. Le tambour, animé d'un mouvement de rotation très lent, entraîne à sa surface une pellicule de liquide à congeler. Le fluide frigorigène est admis dans un cylindre creux percé d'un certain nombre de trous permettant la distribution du fluide frigorigène à l'intérieur du tambour, un autre tube percé également de trous assure le retour des vapeurs du fluide au compresseur.

Les deux tubes pénètrent à l'intérieur du tambour grâce à des garnitures d'étanchéité.

Le liquide congelé est raclé en un point situé juste avant que le tambour ne pénètre de nouveau dans le liquide et les parcelles solides ainsi détachées peuvent être stockées dans une réserve située sous le tambour, réserve refroidie pour éviter une fusion superficielle des écailles et leur prise en masse compacte.

TABLEAU 3


Evaporateurs
Refroidisseurs de liquides
A immersion
A serpentin
A grilles
Intensifs
A double tube et contre-courant
A ruissellement
Multitubulaires à calandre
Horizontaux
Verticaux
Spéciaux
A enveloppe
A tambours
Refroidisseurs de gaz
Circulation naturelle
Tubes lisses
Tubes ailettés
Circulation forcée.
Tubes lisses
Tubes ailettés
Congélateurs
Fabriques de glace
Accumulateurs de froid

3.12 **Evaporateurs plafonniers**

Ils sont constitués par un faisceau aileté enfermé dans une carrosserie métallique formant caisson, la tôle inférieure servant d'égouttoir. Le(s) ventilateur(s) sont placés soit sur la tôle de façade soit sur un écran incliné.

lorsqu'ils sont destinés à des chambres froides à températures négatives, des dispositifs de dégivrage périodique doivent être prévus afin d'éviter l'accumulation du givre sur le faisceau aileté.

3.13 **GIVRAGE**

3.13.1 **Formation du qivre**

L'air atmosphérique est un mélange de gaz qui contient en suspension de la vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau tend à venir se déposer sur la paroi froide constituée par l'évaporateur, et, celle-ci étant à une température inférieure à zéro, la vapeur d'eau va s'y déposer sous forme de givre. Ce dépôt est pratiquement illimité dans le temps car les parois et portes ne

sont pas parfaitement étanches à la vapeur d'eau, et les ouvertures de portes nécessitées par le service provoquent l'entrée d'air chaud et humide.

Le manchon de givre ainsi formé, par son effet isolant, provoque un abaissement de la température d'évaporation et donc une diminution de la production frigorifique de la machine, ce qui entre autres inconvénients, a pour effet d'augmenter les temps de marche; aussi afin de pallier ces inconvénients, est-on obligé de procéder à un dégivrage de l'évaporateur, la façon dont le givre peut être obtenu dépendant :

1- de la température de la chambre froide;

2- du type de l'évaporateur utilisé.

3.13.2 **Dégivrage des chambres froides à températures négatives**

Lorsque la chambre doit être maintenue à une température inférieure à 0°C, le dégivrage ne peut être obtenu par la circulation de l'air de la chambre à cette température, il est indispensable que le dégivrage de l'évaporateur ne provoque pas

dans la chambre une remontée de température préjudiciale aux denrées entreposées.

Parmi les procédés de dégivrage envisageables, on peut citer:

1- le soufflage d'air chaud sur l'évaporateur;

2- le chauffage électrique de l'évaporateur;

3- le dégivrage par gaz chauds;

4- le dégivrage par inversion de cycle etc.

3.13.3 **Dégivrage électrique**

C'est le type de dégivrage utilisé pour les évaporateurs plafonniers/muraux placés dans des coffrages isolés et destinés à des chambres à températures négatives. Afin de ne pas élever la température de la chambre froide pendant le dégivrage, l'air circule en circuit fermé à l'intérieur du coffrage brassé par le(s) ventilateur(s) placé(s) sur la façade de l'évaporateur.

CHAPITRE 2

Calcul et choix des composants

1. Hypothèses
2. Bilan thermique
   - 2.1 Production de la glace
     - 2.1.1 Quantité de chaleur due à l'apport d'eau
   - 2.2 Chambre froide pour conservation de la glace
     - 2.2.1 Entrée de chaleur par les parois
     - 2.2.2 Surface de la chambre froide
     - 2.2.3 Quantité de chaleur due à la glace à conserver
     - 2.2.4 Quantité de chaleur due au service
     - 2.2.5 Apport total de chaleur
3. Compresseur
4. Condenseur
   - 4.1 Estimation de la puissance calorifique à évacuer au condenseur
     - 4.1.1 Différence de température au condenseur
     - 4.1.2 Puissance rapportée au catalogue
5. Moteur ventilateur
6. Evaporateur
   - 6.1 Evaporateur pour chambre froide

6.1.1 Surface d'échange

6.1.2 Puissance à l'évaporateur

6.1.2.1 Différence de température

6.2 Evaporateur à tambour

6.2.1 Ecart moyen logarithmique de température

6.2.2 Diamètre du tambour

6.2.3 Diamètre d'entraînement du tambour

7. Détendeur thermostatique

7.1 Danger présenté par la présence de fluide liquide dans la conduite d'aspiration

7.2 Alimentation des évaporateurs

7.3 Fonctionnement du détendeur

8. Moteur d'entraînement

8.1 Puissance d'entraînement Pe du moteur

CALCULS ET CHOIX DES COMPOSANTS

Hypothèses

Humidité relative = 80%

Température extérieure (ambiante) T_{ext} = 30°c

Température intérieure (chambre froide) T_{int} = -4°c

Température d'introduction de l'eau T_{eau} = 25°c

Quantité de glace à produire par jour: 60kg

Dimensions de la chambre froide:

Longueur L = 50cm

Largeur l = 50cm

Hauteur H = 50cm

Bilan thermique

L'établissement du bilan thermique d'une installation a pour objet de déterminer la puissance frigorifique Φ_o du ou (des) compresseur(s) nécessaire pour assurer un bon fonctionnement de l'installation en conformité avec le programme établi ou imposé

par le cahier des charges régissant l'installation. Les autres constituants de l'installation sont ensuite calculés en fonction de la puissance à dissiper et des conditions de fonctionnement de l'installation.

Le bilan thermique est évalué pour une base de temps de 24 heures. Connaissant le temps de marche (14 heures) que l'on s'est fixé pour la machine, il est aisé ensuite d'en calculer la puissance frigorifique horaire.

Les différents facteurs à considérer pour l'établissement du bilan thermique sont:

1- Nature de l'isolant.

2- Epaisseur de l'isolant.

3- Température maximale de l'ambiant.

4- Température moyenne à l'intérieur de la chambre froide.

5- Dimensions extérieures.

6- Nature des denrées à entreposer ou à congeler.

7- Température avant et après réfrigération.

8- Masse des denrées à réfrigérer ou à congeler en 24 heures.

9- Quantité de chaleur due au service.

10- Temps de marche du compresseur en 24 heures.

2.1 PRODUCTION DE LA GLACE

2.1.1 Quantité de chaleur due à l'apport d'eau

$$Q_{eau} = M*Cp_{eau}*Dt + M*L$$

M est la quantité de glace à fabriquer par jour

A une pression voisine de 1 atm,

Cp_{eau} = 1cal/g°k = 4.18KJ/KG°k = chaleur massique de l'eau

Cp_{glace} = 2.11KJ/KG°K = chaleur massique de la glace

L = 80 cal/g = 335KJ/KG chaleur latente de l'eau.

Alors Q_{eau} = 60*[4.18*(25-0) + 335]

= 26370 KJ

On estime les pertes diverses à 10% (5 à 10%) de l'apport de chaleur dû à l'eau à congeler.

Ainsi Q_{totale} = 1.1*26370 = 29007 KJ

2.2 CHAMBRE FROIDE POUR CONSERVATION DE LA GLACE

2.2.1 Entrée de chaleur par les parois

$$Q_p = 24*K*S*Dt$$

Q_p est la quantité de chaleur traversant les parois en 24h;

S la surface extérieure totale de la chambre en m^2;

K le coefficient global de transmission thermique des parois en kilocalories par mètre carré par heure et par degré celsius d'écart;

Dt la différence de température en degré celsius entre la température ambiante et la température à l'intérieure de la chambre froide.

La surface totale extérieure est la double somme des trois produits suivants:

longueur * largeur

longueur * hauteur

largeur * hauteur

_ Coefficient K de transmission de chaleur: Cas d'une paroi

Il est donné par l'expression:

$$K(kcal/h.m^2{}^\circ c) = \frac{\lambda}{1/h_i + e/\lambda + 1/h_e}$$

où e est l'épaisseur de la couche isolante, e en mètre;

λ le coefficient de conductivité de l'isolant;

h_i coefficient d'échange superficiel interne ($kcal/m^2.h$)

h_e coefficient d'échange superficiel externe.

Mais pour une isolation équivalente à celle procurée par une épaisseur de 4cm de liège expansé pur et pour un écart connu entre la température ambiante T_{ext} et la température de la chambre froide T_{int}, le tableau donne les entrées horaires et journalières en kilocalories par heure et en kilocalories par jour rapportées au mètre carré de surface de paroi.

Ainsi, pour $Dt = T_{ext} - T_{int}$

$= 30°C - (-4°C) = 34°C$

$k = 24*K*Dt = 1080 kcal/m^2j$

2.2.2 **Surface de la chambre froide**

$S_{nette} = 6* (.50 * .50) = 1.50m^2$

On détermine usuellement la surface brute en majorant la surface nette de 20%. Le volume brute quant à lui est obtenu en majorant le volume net de 40 à 50%.

Ainsi $S = S_{brute} = 1.2*(1.5m^2) = 1.80m^2$

La quantité de chaleur due aux parois vaut alors:

$Q_p = k*S = 1080 * 1.80 = 1944$ kcal # 8126 KJ

Tableau 3

Entrées de chaleur horaires et journalières en kilocalories/heure et kilocalories/jour rapportées au mètre carré de surface de paroi. Service normal.

Δθ (1)	Isolation équivalente à celle procurée par une épaisseur de liège expansé pur de :													
	4 cm		6 cm		8 cm		10 cm		12 cm		16 cm		20 cm	
	fg/h	fg/24 h	fg/h	fg/24 h	fg/h	fg/24 h	fg/h	fg/24 h	fg/h	fg/24 h	fg/h	fg/24 h	fg/h	fg/24 h
10	13	312	9	216	7	168	5	120	4,5	108	3,5	84	3	72
12	16	384	11	264	8	192	7	168	5,5	132	4	96	3,5	84
14	19	456	12	288	10	240	8	192	6	144	5	120	4	96
16	21	504	14	336	11	264	9	216	7	168	5,5	132	4,5	108
18	24	576	16	384	12	288	10	240	8	192	6	144	5	120
20	26	624	18	432	13	312	11	264	9	218	6,5	158	5,5	132
22	29	696	19	456	15	360	12	288	9,5	228	7,5	180	6	144
24	31	744	21	504	16	384	13	312	10,5	252	8	192	6,5	156
26	34	816	23	552	17	408	14	336	11,5	276	8,5	204	7	168
28	37	888	24	576	19	456	15	360	12	288	9,5	228	7,5	180
30	39	936	26	624	20	480	18	384	13	312	10	240	8	192
32	42	1 008	28	672	21	504	17	408	14	336	10,5	252	8,5	204
34	45	1 080	30	720	23	552	18	432	15	360	11,5	276	9	216
36	47	1 128	31	744	24	576	19	456	15,5	372	12	288	9,5	228

(1) Δθ : Ecart entre la température ambiante extérieure (θa) et la température de la chambre froide (θf) : $\Delta\theta = \theta a - \theta f$.

2.2.3 Quantité de chaleur due à la glace à conserver

Q_{glace} = 60*(2.11*4) =506.4 KJ

2.2.4 Quantité de chaleur due au service

La quantité de chaleur due au service est fonction de la fréquence d'ouverture des portes.

On peut distinguer trois types de service:

1- Service fort: (ouvertures fréquentes des portes) auquel cas il faut ajouter 25% à la quantité de chaleur Q_p pénétrant par les parois.

2- Service normal: ouvertures à certaines heures de la journée. Dans ce cas on ajoute 15% à la quantité de chaleur pénétrant par les parois.

3- Service faible: ouvertures non fréquentes des portes. On ajoute 10% à la quantité de chaleur pénétrant par les parois. Ce dernier cas de figure correspond à notre situation et comporte diverses pertes à savoir les pertes dues au dégivrage, à la

ventilation, à l'évaporation, aux lumières, etc...

La perte par service vaut donc:

$$Q_s = .10 * 8126 = 812.6 \text{ KJ}$$

2.2.5 Apport total de chaleur

$$Q_{totale} = Q_p + Q_s + Q_{glace}$$

$$= 8126 + 812.6 + 506.4 = 9445 \text{ KJ}$$

$$Q_{totale} = \mathbf{9445KJ}$$

3 COMPRESSEUR

La quantité de chaleur ainsi évaluée doit être évacuée par le compresseur en 14 heures de fonctionnement. La puissance frigorifique théorique de celui-ci sera donc de:

chambre froide

$$P(\text{en watts}) = \frac{9445 \text{ KJ}}{14*3600} = 187.4$$

$$= 161.4 \text{ kcal/h}$$

Φ'_{01} = 161.4 kcal/h

Rendement = .674 ==> Φ_{01} = 139.61kcal/h # 240 kcal/h

Puissance frigorifique Φ_{01} = 240 kcal/h

Production de glace

$$P(w) = \frac{29007*1000}{14*3600} = 574.54$$

= Φ'_{02} = 494.104 kcal/h

Rendement = 0.674 ==> Φ_{02} = 733.1 kcal/h # 735 kcal/h

Puissance frigorifique Φ_{02} = 735 kcal/h

Puissance frigorifique totale

$\Phi_0 = \Phi_{10} + \Phi_{02}$ = 240 + 735 = 975 kcal/h

4 CONDENSEUR

Calcul de la puissance calorifique à évacuer au condenseur.

La quantité de chaleur à évacuer au condenseur peut être exprimée par la formule :

$$\Phi_k = \Phi_o \times k \quad (\text{Kcal/h})$$

Dans laquelle la

Φ_o représente la production frigorifique brute du compresseur en kcal/h.

k représente, compte tenu des condition de fonctionnement, l'équivalent de travail de compression exprimé en fonction de Φ_o. Les valeurs de k compte tenu des conditions de fonctionnement sont tabulées.

La température de condensation Te du fluide est en général de 12 à 15°c, supérieure à la température ambiante. Alors

Te = 30 + 15 = 45°c

Mais évaluons plutôt cette quantité de chaleur à évacuer au condenseur à l'aide des tableaux issus des catalogues de constructeurs.

Puissance frigorifique: Φ_o = 975 kcal/h # 1134 w

Température ambiante Ta = 30°c

Température d'évaporation Te = -14°c

Température de condensation Tc = 45°c

Tableau 6

- **Compresseurs refroidis par gaz aspiration**
- **Suction gas cooled compressors - Sauggasgekühlte Kompressoren**

Température d'évaporation Evaporating temperature Verdampf. Temp. °C	Température de condensation (°C) Condensing temperature (°C) Kondensationstemperatur (°C)						
	30	35	40	45	50	55	60
- 40	1.64	1.69	1.76	1.86	2.03	•	•
- 35	1.56	1.61	1.66	1.73	1.83	•	•
- 30	1.48	1.53	1.57	1.62	1.69	•	•
- 25	1.42	1.46	1.50	1.54	1.60	1.68	•
- 20	1.37	1.40	1.44	1.48	1.53	1.60	•
- 15	1.32	1.35	1.38	1.43	1.48	1.53	1.58
- 10	1.28	1.31	1.34	1.37	1.42	1.46	1.52
- 5	1.23	1.26	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45
0	1.20	1.22	1.25	1.28	1.32	1.36	1.39
+ 5	1.16	1.19	1.21	1.24	1.28	1.31	1.34
+ 10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.23	1.26	1.29

Tableau 7

Facteur fluide frigorigène - Refrigerant factor
Korrekturfaktor für Kältemittel

Fluide frigorigène/Refrigerant/Kältemittel	R 12	R 22	R 502
Facteur / Factor / Faktor	1.05	1	1.025

Tableau 8

Factor de ΔT — TD Factor — Korrekturfaktor für ΔT

ΔT (°C)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Facteur Factor Faktor	2	1.778	1.6	1.445	1.333	1.231	1.143	1.067	1	0.941	0.889	0.842	0.8

Tableau 9

Facteur température ambiante - Ambient temperature factor
Korrekturfaktor für verschiedene Lufteintrittstemperaturen

Température air ambiant Ambiant air temp. °C Lufteintrittstemp.	+ 15	+ 20	+ 25	+ 30	+ 35	+ 40	+ 45	+ 50
Facteur / Factor / Factor (1)	0.967	0.982	1	1.021	1.04	1.063	1.083	1.104

4.1 Estimation de la puissance calorifique à évacuer au condenseur

Pour une température d'évaporation de -14°c et une température de condensation de 45°c on a un facteur correctif de 1.43

Pc = 1134 x 1.43 = 1621w

4.2 Différence de température au condenseur

DT = 45 - 30 = 15°c

* Pression de base

La pression de base est la pression au condenseur affectée de divers facteurs: facteur de DT, facteur fluide frigorigène, facteur température ambiante, facteur d'altitude...
Ces différents facteurs sont donnés par les tableaux et valent respectivement: 1.067; 1 (R22); 1.021; 1 (o m) d'où la puissance de base

Pb = 1621 x 1.067 x 1 x 1.021 x 1 = 1766w

Puissance rapportée au catalogue ou puissance corrigée.

La puissance de base est donnée pour DT_n = 16 dans le catalogue. Il convient donc de rapporter notre puissance de base aux catalogues.

$Pb_n = Pb \times DT_n/DT = 1766 \times 16/15 = 1883.73w \# 1884w$

$Pb_n = 1884w \Rightarrow \Phi_k = 1620$ kcal/h

Température ambiante: Ta = 30°c

Température d'évaporation: Te = -14°c

Température de condensation: Tc = 45°c

Puissance au condenseur: Pb_n = 1884w

Fluide frigorigène: R22

Option 1: Groupe frigorifique unique avec compresseur hermétique accessible

Groupe frigorifique A 18 KJ 75 HMB (Danfoss) ou équivalent

5 MOTEUR_VENTILATEUR

Il a pour fonction de refroidir les ailettes du condenseur pendant la phase de congélation. Il est dans notre cas incorporé au groupe frigorifique choisi ci-dessus.

6 EVAPORATEURS

6.1 Evaporateur pour chambre froide

Nous optons pour un évaporateur refroidisseur de gaz à circulation forcée à tubes ailetés (genre plafonnier).

Pour de tels évaporateurs K varie entre 14 et 20 kcal/h.m_2.h.°C.

6.1.1 Surface d'échange

$$S = \frac{\Phi_{01}}{K*Dt} = \frac{165}{18*(-4-(-14))} = .916\ m^2$$

S # 92 cm²

6.1.2 Puissance à l'évaporateur

Notre température d'évaporation ne correspondant pas à celle du catalogue, il convient de déterminer le facteur adéquat de correction de puissance.

6.1.2.1 Diffférence de température Dt1

Il s'agit de la différence entre la température d'entrée de l'air et la température correspondant à la pression du réfrigérant à la sortie de l'évaporateur.

Dt1 = -4 - (-14) = 10

Facteur de correction (Dt1 = 10; fluide R22) = .81

6.1.2.2 Puissance de base P_b

P_b = 0.81*(240/.86) = 226w

Evaporateur plafonnier/mural

Puissance de base: 226w

Température de la chambre froide: -4°C

Température d'évaporation: -14°C

TABLEAU 10

Evaporateurs
Coefficients globaux de transmission : K

Groupe	Types		K : kcal/m²/h/°C
Refroidisseurs de liquides	A immersion	à serpentin	60 à 80 (1) 200 à 250 (2)
		à grilles	350 à 400 (2)
		intensifs	500 (2)
	Double tube et contre-courant		500 à 700
	A ruissellement		800 à 1 200
	Multitubulaires à calandres	horizontaux	400 à 600
		dry - ex.	800 à 1 000
		verticaux	700 à 1 200
	Plaques eutectiques	eau ou saumure	30 (1) 80 (2)
Refroidisseurs de gaz	Circulation d'air naturelle	tubes lisses	16 à 20
		tubes ailettés	6 à 8
		plaques eutectiques	5 à 7
	Circulation d'air forcée	tubes lisses	30 à 40
		tubes ailettés	14 à 20

(1) *Liquides non agités.*
(2) *Liquides agités mécaniquement.*

Tableau 11

Facteurs de correction de puissance

Capacity correction factors

Korrekturfaktoren für Kälteleistung

ableau **Table** **Tabelle**

Refrigerant Kältemittel		R 12					R 22					R 502				
ΔT: (°C)		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
Température d'évaporation (°C)	0 ↘ - 15	1.31	1.[illegible]	[illegible]	0.9[illegible]	0.81	1.32	1.14	1.00	0.89	0.81	1.32	1.14	1.00	0.90	0.81
	- 20	1.34	1.16	[illegible]4	0.93	0.85	1.31	1.14	1.00	0.89	0.81	1.32	1.15	1.00	0.90	0.82
Evaporating temperature (°C)	- 25	1.3[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.96	0.88	1.32	1.14	1.00	0.90	0.81	1.33	1.15	1.02	0.91	0.83
Verdampfungs-temperatur (°C)	- 30	1.4[illegible]	[illegible]	1.11	1.01	0.92	1.32	1.15	1.01	0.91	0.83	1.35	1.17	1.04	0.93	0.85
	- 35						1.34	1.16	1.02	0.93	0.85	1.38	1.20	1.08	0.97	0.89

(1) ΔT: Différence entre la température d'entrée de l'air et la température correspondant à la pression du réfrigérant à la sortie de l'évaporateur.

(1) ΔT: Temperature difference between the entering air temperature and the temperature corresponding to the refrigerant pressure at the cooler outlet.

(1) ΔT: Differenz zwischen der Lufteintritt-temperatur und der Temperatur entsprechend dem Kältemittel-Gesamtdruck am Sauganschluß.

* Flüssiges Kältemittel

Tableau 12

PUISSANCE FRIGORIFIQUE
CAPACITY
KÄLTELEISTUNG

Température évap
Evap temperature
Verdampf. Temp

−8 °C | **ΔT₁ 8 °C** (1) | Liquide Liquid Flüssig. **+30 °C**

Tableau **Table** **Tabelle**

Modèle Model Modell	xr 48		xr 52		xr 64		xr 69		xr 74		xr 93		xr 103	
Refrigerant Kältemittel	W	kcal/h	W	kcal/h	W	kcal/h	W	kcal/h	W	kcal/h	W	kcal/h	W	kcal/h
R 12	385	335	[illegible]	3[illegible]	505	435	535	460	575	495	710	610	775	665
R 22	395	340	420	36[illegible]	520	450	555	480	600	515	750	650	835	720
R 502	385	335	[illegible]	355	515	445	550	475	595	510	740	635	820	710

ΔT1

Tableau 13

Caractéristiques techniques

Tableau

Technical data

Table

Technische Daten

Tabelle

Modèles / Models / Modelle	Surface Ober-fläche	Volume circuit Rohr-inhalt	Air Luft		Projec. d'air Air throw Wurf-weite	Ventilateur - Fan - Ventilator 220-240 V/1/50-60 Hz				Poids net Net weight Netto Gewicht	Kit résist. dégivrage Defrost heater kit Abtauheiz-stäbe Kit 220 V/1	
						tr/min r.p.m.	rad/s	220 V-50 Hz				
	m^2	dm^2	m^3/h	m^3/s	m	min^{-1}		W	A	kg	W	A
xr 48	2.03	0.41	225	0.063	2	1350	141	30/5	0.23	7.7	400	1.8
xr 52	2.53	0.52	210	0.058	2	1350	141	30/5	0.23	8.0	400	1.8
xr 64	2.03	0.41	390	0.108	3	2500	262	80/18	0.5	7.7	400	1.8
xr 69	3.02	0.58	325	0.903	2	1350	141	30/5	0.23	9.5	600	2.7
xr 74	2.53	0.52	390	0.108	3	2500	262	80/18	0.5	8.0	400	1.8
xr 93	3.02	0.58	570	0.158	2.5	2500	262	80/18	0.5	9.5	600	2.7
xr 103	3.79	0.72	535	0.149	2.5	2500	262	80/18	0.5	10	600	2.7

Fluide frigorigène: R22

Dégivrage électrique + électroventilateur

6.2 Evaporateur à tambour

6.2.1 Ecart moyen logarithmique de température

$$DLMT = \frac{Dt_{max} - Dt_{min}}{\ln(Dt_{max}/Dt_{min})}$$

$Dt_{max} = 25 - (-14) = 39°C$

$Dt_{min} = 0 - (-14) = 14°C$

==> $DLMT = 24.40$

$$S(m^2) = \frac{\phi_{02}}{K*(DLMT)} \Longrightarrow S*K = \frac{\phi_{02}}{DLMT} = \frac{735}{24.40} = 30.14$$

$S*K(kcal/h°C) = 30.14$

L'évaporateur à tambour est un refroidisseur de liquide. C'est aussi un évaporateur à immersion. Son coefficient globalde transmission de chaleur varie entre 60 et 500 kcal/h.m².°C

6.2.2 **Diamètre du tambour**

Choisissons une surface de 25cm^2 compte tenu de l'espace disponible. Ce qui correspond à un coefficient global de transmission de chaleur de 120.55 kcal/h.m^2°C.

S = 3.14*d*l ==> d = S/(3.14*d)

d = 0.1989m # 20cm

d = 20cm

Diamètre extérieur du tambour: d_e = 20cm

Diamètre intérieur du tambour: d_i = 18cm

Puissance frigorifique: ϕ_{02} = 583.13 kcal/h

Matière: Acier inoxydable

Température de formation de la glace: 0°C

Température de l'eau à figer: 25°C

Fluide frigorigène: R22

Racleur et accessoires(boulons et écrous) associés

Option 2 Groupes frigorifiques séparés

Chambre froide

Groupe frigorifique avec compresseur hermétique accessible à un cylindre + condenseur à air + ventilateur associés;

Puissance frigorifique: 190 kcal/h;

Température d'évaporation: -14°C;

Température ambiante: 30°C;

Fluide frigorigène: R22.

Production de glace

Groupe frigorifique avec compresseur hermétique accessible à un cylindre + condenseur à air + ventilateur associé;

Puissa,ce frigorifique: 583.15 kcal/h;

Température d'évaporation: -14°C;

Température ambiante: 30°C;

Fluide frigorigène: R22.

6.2.3 Diamètre d'entraînement du tambour

Nous utiliserons pour ce dimensionnement le code ASME. Outil très utile de conception, il permet d'évaluer rapidement le

diamètre des arbres en utilisant une théorie de limitation statique basée sur le cisaillement maximal.

$$d = \left\{ \frac{5.1}{Sp} [(Cm*M)^2 + (Ct*T)^2]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

dans laquelle

Sp représente la contrainte admissible;

M: le moment fléchissant maximal;

T: le moment de torsion maximal.

$$Sp = Min[b*(0.18Sut, 0.30Sy)]$$

Sut: résistance à la rupture;

Sy: limite d'élasticité.

Acier inoxydable S20100 ==> Sut = 1070MPa

Sy = 380MPa

: masse volumique = 7930kg/m^3

Moment fléchissant maximal

M = 0.025*94.4 = 2.36N.m

Couple de torsion maximal

$T = (18.93 + 2 * 1.52)*d/2 = 10.985d \# 11d$

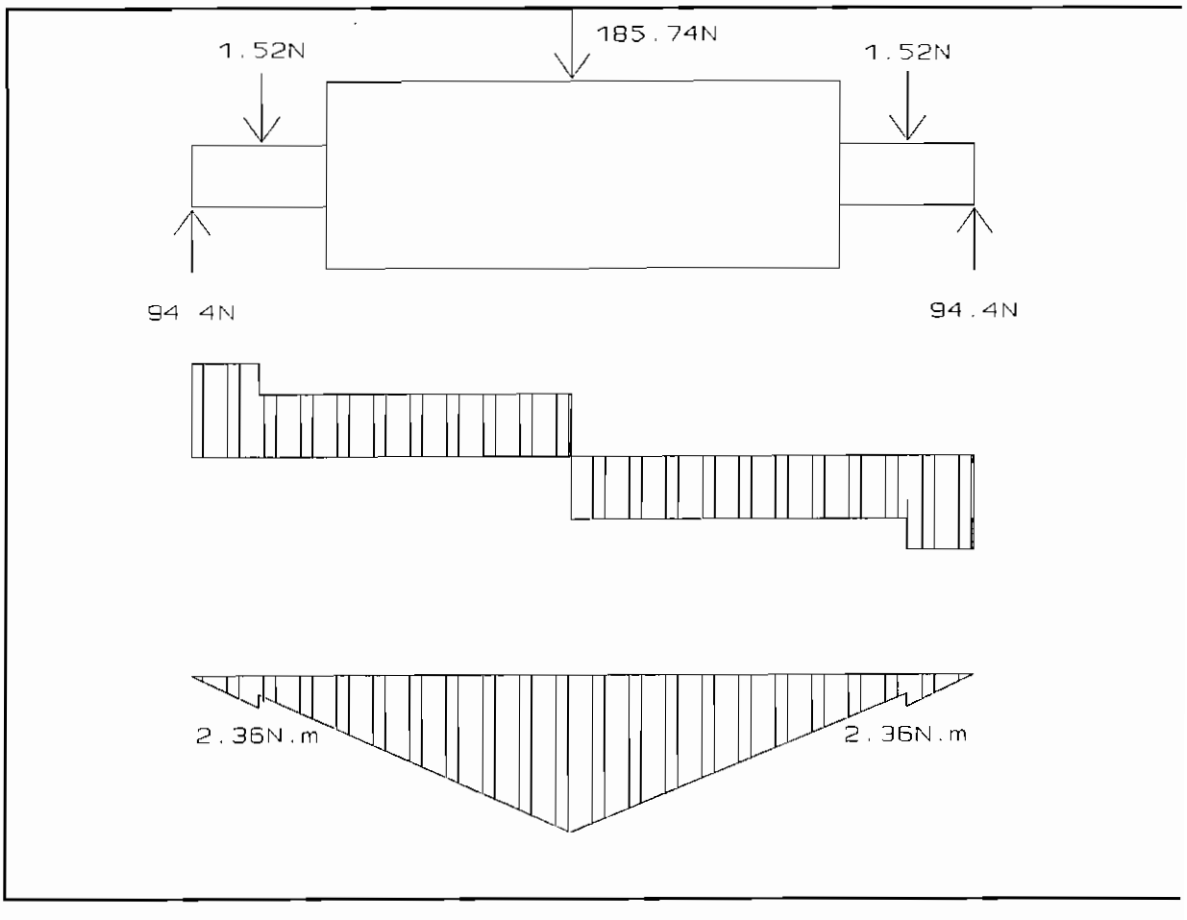
Sp	b	T	M	Cm	Ct
108MPa	0.75	11d	2.36N.m	1	1.5

Cm et Ct sont dess coefficients qui tiennent compte de la nature de la charge. Ils valent respectivement 1 et 1.5 pour une charge constante ou appliquée lentement.

$$d1 = \left\{ \frac{5.1}{108E6} [(1.5*2.36)^2 + (1*11d)^2]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

En résolvant de façon ittérative on peut retenir la valeur de:

$d = 6$ cm


1.52N
185.74N
1.52N
94 4N
94.4N
2.36N.m
2.36N.m

7 Détendeur thermostatique

Quand on observe le déroulement d'un cycle frigorifique, il est évident qu'un moyen quelconque doit être prévu pour régler le débit du fluide frigorigène dans l'évaporateur. Si trop peu de fluide y pénètre, il est rapidement évaporé, rendant inutile le reste de la surface d'évaporation. Au contraire, si trop de fluide rentre dans l'évaporateur, un peu de liquide passera sans être évaporé dans la conduite d'aspiration du compresseur.

7.1 Danger présenté par la présence de fluide liquide dans la conduite d'aspiration

Si le fluide frigorigène liquide atteint le compresseur, de sérieuses avaries peuvent survenir. Puisque le fluide liquide n'est pas compressible, sa présence à l'intérieur des cylindres du compresseur sera la cause des chocs qui peuvent se terminer par la rupture des pistons et des clapets.

Le liquide atteignant le compresseur en petite quantité provoque un bruit de refoulement gênant par lui-même . Tout bruit

anormal à l'intérieur du compresseur devra être expliqué et sa cause annulée sans délai. L'entrée de fluide liquide dans le compresseur doit être évité à tout prix.

7.2 **Alimentation des évaporateurs**

Plusieurs méthodes d'alimentation des évaporateurs en fluides frigorigènes ont été mises au point. La plus courant est celle qui utilise un détendeur thermostatique. Ce robinet fonctionne de sorte que le fluide commence à s'évaporer dès l'instant où il entre dans l'évaporateur, et qu'il le soit complètement avant de quitter l'évaporateur. C'est la méthode dite à détente sèche; principe même sur lequel est basé le fonctionnement du détendeur.

7.3 **Fonctionnement du détendeur**

Le fonctionnement du détendeur thermostatique est basé sur la surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène quittant l'évaporateur. Ainsi, à l'entrée du détendeur à T = 45°C on peut

lire au manomètre P = 1730 KPa. A la sortie du détendeur et à l'entrée de l'évaporateur, T = -14°C à une pression de 307 KPa, on a un mélange liquide vapeur. Sous l'influence des apports calorifiques extérieures, le liquide se vaporise, et au fur et à mesure que le mélange liquide vapeur progresse dans l'évaporateur, celui-ci s'appauvrit en liquide et s'enrichit en vapeur, les vapeurs émises par le fluide sont des vapeurs saturantes, la pression et la température du mélange restent constantes. L'objectif reste d'assurer une alimentation optimum de l'évaporateur à l'éviction des coups de liquide au compresseur en rendant solidaire la surchauffe des vapeurs à la sortie de l'évaporateur et le débit du détendeur. On obtient ainsi une surchauffe constante fonction des apports calorifiques extérieurs.

Détendeur thermostatique pour évaporateur à tambour

Puissance frigorifique: 735 kcal/h;

Pression amont: 1730 KPa;

Pression avale: 307 KPa;

Température d'évaporation: -14°C;

Fluide frigorigène: R22:

Détendeur thermostatique (pour évaporateur plafonnier/mural)

Puissance frigorifique: 240 kcal/h;

Pression amont: 1730 KPa;

Pression avale: 307 KPa;

Température d'évaporation: -14°C;

Fluide frigorigène: R22:

8 Moteur d'entraînement

Il assure, au moyen d'une transmission par courroies et d'un réducteur, l'entraînement du tambour évaporateurà une vitesse de rotation très lente. L'étanchéité, entre la partie fixe et la partie mobile de ce dernier, est obtenue par une boîte d'étanchéité (presse-étoupe) à bagues spéciales.

8.1 Puissance d'entraînement Pe du moteur

$$Pe\ (KW) = \frac{K*m*v}{6115*n}$$

P: puissance en KW du tambour;

v: vitesse en m/min; (2trs/min)

n: rendement du réducteur (n = 0.55 pour réducteur à vis);

m: masse en tonne du tambour;

K: coefficient de roulement (K # 20 pour galets acier montés sur roulements par extrapollation).

$$Pe = \frac{20*18.93E-3*1.256}{6115*0.55} = 0.141454E-3$$

Moteur électrique à courant continu: 220V - 50Hz;

Puissance nominale: 141.454MW

Réducteur à roulements + accessoires de fixation (bride);

Régime nominal:

-14°C à l'évaporation;

+45°C à la condensation.

CHAPITRE 3

. Appareils annexes

Accessoires du circuit frigorifique

1. Réservoir de fluide
2. Filtres déshydrateurs
   - 2.1 déshydrateur
     - 2.1.1 Humidité
     - 2.1.2 Acides nuisibles
     - 2.1.3 Particules étrangères, boues et produits de décomposition d'huile
   - 2.2 Filtres à impuretés
3. Voyant de liquide
4. Vannes d'arrêt à commande manuelle
5. Clapets de retenue
6. Séparateur d'huile
7. Echangeur de chaleur
8. Vannes magnétiques et thermostats
   - 8.1 Thermostats
   - 8.2 Vannes magnétiques
9. Régulateur de démarrage

ACCESSOIRES DU CIRCUIT FRIGORIFIQUE

Les appareils principaux précités n'étant pas pas parfaits, il devient alors indispensable, pour rendre l'installation apte à assurer le service désiré, de mettre en place entre les appareils principaux des appareils annexes dont le rôle est d'assurer une marche correcte de l'installation. En plus, toutes les installations frigorifiques ménagères ou commerciale, et de plus en plus d'installations industrielles fonctionnnent sans intervention humaine. L'alimentation en fluide frigorigène des évaporateurs, la surveillance de la température, du degré hygrométrique des chambres et leur maintien entre les limites fixées par avance pour une bonne conservation des denrées entreposées, sont confiés à des automates.

Il en est de même de la sécurité de marche de l'installation, du relèvement et de l'enrégistrement des températures,pressions et débits.

1 Réservoir de fluide frigorigène liquide

Quand un condenseur, ne possédant qu'une faible capacité de stockage de fluide est utilisé, un réservoir est installé pour collecter et maintenir le fluide à l'état liquide jusqu'à ce qu' il soit nécessaire au fonctionnement de l'installation frigorifique.

Occasionnellement le réservoir de fluide liquide est utilisé pour stocker la charge complète de fluide quand l'installation est arrêtée, ou quand les appareils du côté haute pression doivent être déposés pour réparation.

Un réservoir de fluide liquide n'est rien d'autre qu'un transmetteur en acier équipé d'une vanne d'entrée, d'une vanne de sortie avec tube plongeant et d'une soupape de sûreté.

2 Filtres déshydrateurs

L'humidité ou la vapeur d'eau, et les corps étrangers, créent des problèmes dans toutes les installations frigorifiques. L'eau peut geler dans les orifices du détendeur, l'humidité entraîne la corrosion des pièces métalliques et s'imprègne dans les bobines du moteur du compresseur (semi-hermétique). Cela peut conduire à un court-circuit dans le moteur ou à la formation des boues épaisses. D'autre part des particules peuvent être entraînées par l'huile de lubrification du compresseur et se loger dans les clapets, les rendant inopérants.

Divers procédés sont employés pour absorber la vapeur d'eau et éliminer les particules solides dans le fluide: le déshydrateur et le filtre.

2.1 Déshydrateur

Utilisé dans les conduites de liquide d'installations frigorifiques et de conditionnement d'air aux fluides frigorigènes fluorés, le déshydrateur **type DX** à cartouches

solides élimine efficacement:

2.1.1 **Humidité**

La cartouche solide adsorbe et retient l'humidité existant dans le circuit frigorifique, empêchant ainsi la formation de glace dans le détendeur. De même le risque de formation d'acide se trouve réduit.

2.1.2 **Acides nuisibles**

La cartouche emmagasine les acides nuisibles se produisant dans le circuit frigorifique, empêchant la corrosion.

2.1.3 **Particules étrangères, boues et produits de décomposition d'huile**

La cartouche solide élimine ces substances par un filtrage extrêmement poussé, assurant l'installation frigorifique contre les arrêts causés par l'obstruction des orifices de vannes, trous d'égalisation, etc.

Option 1 Groupe frigorifique unique

Puissance frigorifique: 975kcal/h;

Fluide frigorigène: R22;

Conduite de liquide: tube cuivre d = 8mm;

Choix: Déshydrateur DX 032 ou équivalent

Carter DX 032 n° de code 23U1200 + écrous union plastique d'étanchéité + raccord à braser de 8mm.

Option 2 2 Goupes frigorifiques

1 - Puissance frigorifique: 240kcal/h;

Fluide frigorigène: R22;

Conduite de liquide: tube cuivre d = 8mm;

Déshydrateur(carter+écrous union plastique d'étanchéité et raccord à braser).

2 - Puissance frigorifique: 735kcal/h;

Fluide frigorigène: R22;

Conduite de liquide: tube cuivre d = 8mm;

Déshydrateur(carter+écrous union plastique d'étanchéité et raccord à braser).

2.2 **Filtres à impuretés**

Ils s'utilisent sur les conduites à fluides frigorigènes, saumure, huile , gaz, etc. Ils sont généralement placés sur la tuyauterie de liquide de l'installation mais aussitôt après le déshydrateur et en amont de la vanne magnétique.

1 - filtre type FA 15 n° de code 6-0043 (DANFOSS) ou équivalent.
Accessoires: boulons, écrous et joints.

Caractéristiques techniques:

Fluide frigorigène: R22;

Pression d'essai max: 26.5 bar;

Surface filtrante: 25cm^2

(Montage directe sur vanne magnétique)

2 - filtre type FA 15 n° de code 6-0043 ou équivalent.
Accessoires: boulons, écrous et brides.

Caractéristiques techniques:

Fluide frigorigène: R22;

Pression d'essai max: 26.5 bar;

Surface filtrante: 133.3cm^2

(Montage sur tuyauterie)

3 Voyant de liquide

Un voyant de liquide est utilisé pour indiquer:

1°) L'état du fluide frigorigène dans la conduite de l'installation (des bulles de vapeur, par exemple, se manifestent en cas de sous-réfroidissement),

2°) la teneur en humidité du fluide frigorigène et

3°) le passage dans la conduite de retour d'huile du séparateur d'huile au compresseur.

Doté d'un indicateur d'humidité dont la teinte change en fonction de la teneur en humidité du fluide frigorigène, le voyant de liquide se monte de préférence, entre le déshydrateur et le détendeur (sur la conduite de fluide liquide).

Voyant Type SGI n° de code 14-0036 ou équivalent.

Caractéristiques techniques:

Dimensions en mm : 8*8

Fluides frigorigènes: R12, R22, R502.

Pression de service maximale: 21.5bar.

Pression d'essai maximale: 28 bar.

Température maximale: 60°C

4 Vannes d'arrêt à commande manuelle

Les vannes d'arrêt à commande manuelle sont prévues pour être montées sur les conduites de liquide, d'aspiration et de gaz chauds d'une installation frigorifique. Elles assurent de ce fait une fonction d'isolement et de dérivation.

1 - Aspiration : 2 vannes d'arrêt type - n° de code 9G0148(DANFOSS) ou éqivalent.

Raccord à braser : 12mm.

2 - Refoulement : 1 vanne d'arrêt type BM - n° de code 9G0128 (DANFOSS) ou équivalent.

Raccord à braser : 10mm.

3 - Liquide : 1 vanne d'arrêt type BM - n° de code 9G0108 (DANFOSS) ou équivalent.

Raccord à braser : 8mm.

5 Clapets de retenue

Le clapet de retenue est utilisé sur les conduites de fluide liquide, d'aspiration et de gaz chauds des installations de réfrigération, de congélation et de conditionnement d'air aux fluides frigorigènes fluorés (R12, R22, R502).

Le type NVR est pourvu d'un piston amortisseur spécial assurant un fonctionnement silencieux. Le clapet se prête bien au montage sur les conduites dans lesquelles les pulsations peuvent se produire.

6 **Séparateur d'huile**

Il s'utilise sur toutes les installations frigorifiques où l'on veut s'assurer que l'huile de graissage du compresseur retourne directement dans le carter de celui-ci par toutes conditions de marche.

Ainsi, l'huile de graissage du compresseur est empêchée de circuler avec le fluide frigorigène dans le circuit frigorifique.

On évite de ce fait:

_ la détérioration du compresseur par manque d'huile dans le carter,

_ la diminution du coefficient de chaleur des surfaces d'évaporation et de condensation par suite de la présence d'une pellicule d'huile.

L'utilisation d'un séparateur d'huile type OUB sur une installation frigorifique contribue à la durée de vie prolongée du compresseur et à l'utilisation totale de la capacité de l'évaporateur et du condenseur, ce qui donne un rendement amélioré.

En outre le séparateur d'huile assure l'amortissement des

pulsations et l'insonorisation du côté refoulement de l'installation.

Option 1 Groupe frigorifique unique

Séparateur d'huile

Puissance frigorifique: 975 kcal/h

Fluide frigorigène: R22

Température d'évaporation: -14°C;

Température de condensation: 45°C;

Raccord tube cuivre: d= 10mm

Option 2 2 groupes frigorifiques

2 séparateurs d'huile

1 - Puissance frigorifique: 735 kcal/h;

Fluide frigorigène: R22

Température d'évaporation: -14°C;

Température de condensation: 45°C;

Raccord tube cuivre: d= 10mm

2 - Puissance frigorifique: 240 kcal/h;

Fluide frigorigène: R22

Température d'évaporation: -14°C;

Température de condensation: 45°C;

Raccord tube cuivre: d= 10mm

7 Echangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur est prévu, en premier lieu, pour assurer la transmission de chaleur entre la conduite de liquide et celle d'aspiration d'une installation frigorifique.

Le but en est de récupérer le froid qui serait, sans l'échangeur, perdu à l'air ambiant par les conduites d'aspiration non isolées. Dans l'échangeur de chaleur, ce froid est utilisé pour sous-refroidir le fluide frigorigène, ce qui assure un meilleur rendement de l'évaporateur et un liquide exempt de vapeur en amont du détendeur.

En même temps, les gaz de fluides frigorigènes sont surchauffés, les condensations et les givrages sont évités.

En outre il est possible de régler le détendeur thermostatique sur une surchauffe minimale, ce qui permet un rendement maximal de l'évaporateur.

Echangeur de chaleur type HE.5 - n° de code 15D0001(Danfoss) ou équivalent.

Conduite de liquide : d = 8mm;

Conduite d'aspiration : d = 12mm.

8 Vannes magnétiques et thermostats

L'installation comporte deux évaporateurs opérant dans deux milieux différents donc à des températures différentes. L'évaporateur à tambour possède une capacité plus grande que l'évaporateur plafonnier. Ce phénomène pourrait occasionner un déséquilibre dans l'installation. Pour y rémédier, on peut utiliser en combinaison avec le détendeur, un thermostat et une vanne magnétique.

8.1 Thermostats

L'arrêt d'une machine frigorifique, lorsque la température désirée est obtenue dans l'enceinte refroidie, et sa remise en marche lorsque cette température est remontée à une valeur prédéterminée doivent se faire automatiquement. Les thermostats sont des appareils destinés à ouvrir un circuit électrique sous l'action d'une variation de température.

Thermostats RT7 - n° de code 17-5053 ou équivalent

Type de bulbe : sonde A.

8.2 Vannes magnétiques

Les vannes magnétiques encore appelées vannes solénoïdes ou électrovannes, fonctionnent suivant un principe magnétique. Elles ont pour rôle d'assurer ou d'interrompre l'alimentation en fluide frigorigène d'un circuit, en fonction de la mise sous tension ou hors tension de la bobine de commande. Cette mise sous tension ou hors tension étant obtenue à l'aide d'un auxiliaire automatique à contacts électriques (thermostats).

Vannes solénoïdes (montage sur conduite de liquide)

Option 1

Puissance : 975kcal/h

Conduite de liquide : 8mm

Pression différentielle: .05 bar

Option 2

1 - Puissance : 735kccal/h

Conduite de liquide : 8mm

Pression différentielle: .05 bar

2 - Puissance : 240kccal/h

Conduite de liquide : 8mm

Pression différentielle: .05 bar

9 Régulateur de démarrage

Le régulateur de démarrage est monté sur la conduite d'aspiration en amont du compresseur et s'utilise pour:

1 - La limitation vers le haut de la pression d'aspiration du compresseur.

Son but est de protéger le moteur du compresseur contre une surchauffe provenant d'une pression d'aspiration trop élevée lors de la mise en route après un arrêt prolongé (température élevée en chambre froide), et après les périodes de dégivrage. Il permet en outre d'utiliser un moteur moins puissant. En marche normale, le moteur moins puissant aura un meilleur rendement, ses dimensions étant mieux adaptées à la charge. L'augmentation du rendement signifie en même temps un moindre échauffement du moteur, ce qui a son importance notamment pour les compresseurs hermétiques et hermétiques accessibles refroidis par les vapeurs d'aspiration.

2 - Le maintien d'une différence constante et prédéterminée entre la température ambiante et la température d'évaporation lors de la réfrigération.

On évite ainsi une dessication de l'air ambiant.

Régulateur de démarrage

Puissance frigorifique : 975 kcal/h;

Fluide frigorigène : R22;

Température Maximale : 80°C;

Raccord : 12mm.

CHAPITRE 4

1 FLUIDES FRIGORIGENES

Un système de réfrigération constitué par l'évaporateur, le détendeur, le compresseur, le condenseur, le moteur, etc., est seulement une unité mécanique dont le rôle est de faciliter le changement d'état du fluide frigorigène, ce qui a pour effet d'absorber la chaleur à l'évaporateur et d'en rejeter au condenseur. C'est le fluide frigorigène qui accomplit le transfert.

L'étude des caractéristiques des fluides frigorigènes actuellement utilisés en réfrigération aidera à mieux comprendre la réfrigération elle-même.

1 - Chaleur latente de vaporisation très élevée;

2 - Point d'ébullition, sous 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 des tuyauteries de dimensions

réduites;

5 - Température critique très élevée;

6 - Pas d'action sur le lubrifiant employé conjointement avec l'huile;

7 - Composition chimique stable dans les conditions de fonctionnment de la machine frigorifique;

8 - Pas d'action sur les métaux composant le circuit (ainsi, par exemple l'ammoniac attaque l'aluminium). Pas d'action sur les joints;

9 - Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air;

10 - Sans effet sur la santé du personnel;

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 méthodes visuelles;

14 - Pas d'affinité avec les constituants de l'atmosphère;

15 - Etre d'un coup peu élevé et d'un approvisionnement facile.

Aucun des fluides employés ne possède l'ensemble de ces qualités. Le réfrigérant R12 est celui qui possède le plus grand nombre de qualités demandées à un fluide idéal. Comparé au R12,

le R22 nécessite une plus grande différence de pression entre l'aspiration et le refoulement, mais un débit volumique plus faible pour une même production frigorifique.

Le réfrigérant R22 - grâce à sa stabilité thermique - est particulièrement bien adapté aux installations frigorifiques ayant un condenseur à air.

1.2 DEBIT DE FLUIDES FRIGORIGENES

D'après la table des propriétés du fluide R22 saturé, on peut lire:
pour Te = -14°C (température à laquelle le fluide quitte l'évaporateur), He = 399.951 KJ/KG par interpollation;
pour Tc = 45°C (température à laquelle le fluide quitte le condenseur), Hc = 253.697KJ/KG.

L'effet frigorifique du cycle est la différence d'enthalpie entre le liquide et le gaz de début et fin de cycle. Donc, la différence 399.951 - 253.697 = 146.254KJ/KG de fluide frigorigène en circulation. Le débit de R22 nécessaire à notre système est la charge totale en KJ/h divisée par l'effet frigorifique de

chaque kilogramme de réfrigérant.

$$q_m = \frac{1.134*3600(KJ/h)}{146.254(KJ/KG)} = 27.91kg/h = 7.752g/s$$

q_m = 27.91kg/h = 7.752g/s

masse volumique du fluide à -14°C = 13.34kg/m^3

D'après le débit masse calculé ci-dessus, le compresseur devra pomper un débit volumique de:

$$q = \frac{7.752*10^{-3}kg/s}{13.34*(.674)kg/m^3} = 0.000862m^3/s = 0.862l/s \text{ ou } 3.101m^3/h$$

q = 3.101m^3/h

CHAPITRE 5

La tuyauterie

1. Tuyauteries en cuivre
2. La conduite de fluide liquide
3. La conduite de fluide d'aspiration
4. La conduite de refoulement
5. Détermination du diamètre des tuyauteries

   5.1 Fluides chlorofluorés

LA TUYAUTERIE

Pour des raisons tenant à une circulation correcte de l'huile tout au long du circuit et à une réduction des pertes de charge, les tuyauteries des circuits frigorifiques doivent être déterminées avec soin.

Les trois principales tuyauteries à dimensionner sont:

_la tuyauterie de refoulement: allant du compresseur au condenseur,

_la tuyauterie de fluide liquide: allant du condenseur à l'évaporateur via le détendeur,

_la tuyauterie d'aspiration: allant de l'évaporateur au compresseur.

1 Tuyauteries en cuivre

Les tubes utilisés pour la réalisation des tuyauteries frigorifiques doivent - quelle que soit leur qualité commerciale ultérieure - être étirés sans soudure et réalisés avec du cuivre pratiquement pur.

2 La conduite de fluide liquide

Le dimensionnement des conduites de fluide liquide est beaucoup moins critique que celui des autres canalisations du système. Cette conduite transporte le fluide frigorigène du condenseur au détendeur thermostatique. Le fluide et l'huile se mélangent immédiatement, aucun problème ne se pose pour la circulation de l'huile. Cependant, la perte de charge dans cette section mérite d'être considérée. Une perte de charge élevée réduit la pression de liquide à l'entrée du détendeur et peut influencer la dimension du détendeur. De plus, la perte de charge à l'intérieur d'une conduite de fluide liquide doit rester raisonnable pour conserver le sous-refroidissement et éviter la formation de gaz. Pour cette raison, il est souhaitable d'avoir un système compact et de réduire le plus possible la longueur des canalisations de façon à amener les pertes de charge à une valeur minimale.

Il est considéré comme raisonnable de limiter les pertes de charge dans les canalisations de fluide liquide à une valeur qui n'entraîne pas un changement de température de plus de 1°C.

Ce qui correspond approximativement, dans le cas des conduites de fluide liquide, à 41KPa pour le R22.

Quand on détermine les dimensions de la conduite de fluide liquide, on doit tenir compte de la vitesse de fluide liquide. Il est bon de limiter cette vitesse à 1.8m/s ou à moins. Des vitesses supérieures peuvent provoquer des coups de liquide par suite des bouchons de liquide créés lors de la fermeture d'appareils "tout ou rien" tel une vanne solénoïde.

La perte due à la hauteur hydrostatique est aussi à prendre en considération. On devra s'assurer que le liquide est suffisamment sous-refroidi pour empêcher la formation de gaz par suite de la perte de pression provoquée l'élevation de la colonne liquide de bas vers le haut.

La plupart des condenseurs modernes, tant à air qu'à eau, assurant un sous-refroidissement de l'ordre de 6 à 10°C, laissent toute latitude quant à la limitation des pertes de charge dans la conduite de fluide liquide.

3 La conduite d'aspiration

La conduite la plus délicate à dimensionner est la conduite d'aspiration qui véhicule le fluide frigorigène gazeux depuis l'évaporateur jusqu'au compresseur. La vitesse des gaz dans cette tuyauterie doit, d'une part être suffisamment élevée pour permettre un entraînement correct de l'huile en direction du compresseur, et ceci tant dans les tuyauteries horizontales que celles verticales où l'écoulement du fluide se fait du bas vers le haut; d'autre part, présenter une perte de charge aussi faible que possible afin de ne pas pénaliser la puissance produite par le compresseur, et celle à lui fournir.

Pour produire une même puissance frigorifique, toute perte de charge dans la conduite d'aspiration entraîne la nécessité pour le compresseur d'aspirer un volume de gaz réfrigérant plus important. Une perte de charge de 10KPa est raisonnable pour la conduite d'aspiration (aux basses températures).

La vitesse du gaz est une autre caractéristique à étudier quand on dimensionne des conduites d'aspiration. La vitesse minimale requise pour faire circuler l'huile dans les conduites

d'aspiration est de 2.5m/s. Quand la conduite d'aspiration est montante, des vitesses plus élevées sont nécessaires pour entraîner l'huile vers le haut. La vitesse minimale dans les parties de conduites verticales est de 5m/s. Les tuyauteries montantes doivent être calculées pour une puissance minimale, la vitesse d'écoulement des gaz doit être contrôlée par cette condition.

Enfin il faut tenir compte de la vitesse maximale. Il est nécessaire pour éviter tout bruit excessif, de limiter cette vitesse dans toutes les conduites d'aspiration à 20m/s.

4 La conduite de refoulement

Le dimensionnement des tuyauteries de refoulement qui conduisent le fluide gazeux du compresseur au condenseur, est à réaliser en utilisant les mêmes critères que pour les conduites d'aspiration.

La perte de charge dans la conduite de refoulement augmente le rapport de compression, qui à son tour augmente la puissance requise pour entraîner le compresseur. En même temps, le

rendement volumétrique chute si le rapport de compression augmente, ce qui se traduit par une réduction de la puissance du compresseur.

Bien que la perte de charge dans la conduite de refoulement ne soit pas aussi critique que celle de la conduite d'aspiration, la valeur maximale acceptée est de 41KPa pour le réfrigérant R22. Les mêmes vitesses de 2.5m/s dans les conduites horizontales et de 5m/s dans les parties de tuyauteries verticales sont à retenir. La vitesse maximale admissible, basée sur des niveaux sonores tolérables, est de 20m/s.

5 DETERMINATION DU DIAMETRE DES TUYAUTERIES

5.1 Fluides chlorofulorés

q_m = 3.101m^3/h soit .862m^3/s = débit de fluide frigorigène pompé au compresseur.

Cette détermination peut se faire à l'aide de tables et d'abaques.

Ces abaques établis pour les fluides R12 et R22, et pour des

longeurs de référence de 10m permettent de déterminer graphiquement les diamètres des tuyauteries pour une installation de puissance donnée et compte tenu des conditions de fonctionnement.

On considère comme acceptable dans cette méthode des pertes de charges comprises entre .10 et .15 bar (par 10m de longueur de tuyauterie). On peut ainsi rélever:

Conduite d'aspiration : 12mm;

Conduite de refoulement : 10mm;

Conduite de liquide : 8mm.

CHAPITRE 6

L'isolation

1. Isolation "froid"
2. Isolants à structure lamillaire
3. Isolants à structure poudreuse
4. Epaisseur de l'isolant

L'ISOLATION

La qualité essentielle d'une isolation thermique industrielle est son efficacité dans le temps.

Les principaux facteurs qui permettent d'obtenir cette qualité sont: **le pouvoir isolant et la résistance mécanique**. Le pouvoir isolant résulte du coefficient de conductivité à la température de service tandis que la résistance mécanique dépend de la nature chimique et de la structure. Il s'ensuit que le choix de l'isolant sera différent selon les gammes de températures et selon l'usage auquel il est destiné. Nous considérerons les isolants "froids" pour lesquels la température du fluide est inférieure à la température ambiante. Les isolations "chauds" sont celles pour lesquelles la température du fluide est supérieure à la température ambiante.

1 Isolation "froid"

Les isolations employées pour la conservation du froid peuvent se classer en deux grands groupes:

phénolique) ou de gaz lourds (H2S pour le verre mousse, fréon ou le CO2 pour le polyuréthanne). L'emploi des gaz lourds améliore le coefficient de conductivité de l'isolant, pour autant que le gaz ne diffuse pas au travers des parois cellulaires et qu'il ne se condense pas à la température de service.

Ces isolants ont comme caractéristique commune une bonne résistance à la compression (supérieure à 10^6 KPa) avec toutefois une réserve pour les mousses de synthèse: il faut que la masse volumique soit suffisante. Les isolants autre que le liège - qui de part la nature de son liant ne s'emploie pas pour des températures inférieures à 100°C - peuvent s'employer pour les températures industrielles les plus basses. Généralement, ils sont utilisés sous forme de coquilles ou de douelles collées entre elles et munies extérieurement d'un écran d'étanchéité chaque fois que l'on disposera des colles compatibles avec l'isolant et la température de service.

Il est à noter que si le verre de mousse est parfaitement étanche à la vapeur d'eau, il n'en est pas de même des joints, (ce qui justifie la nécessité d'un écran d'étanchéité).

Le polyuréthanne peut non seulement être utilisé en pièces

découpées ou moulées mais également en injection ou en projection.

2 Isolants à structure poudreuse ou lamellaire

Parmi ceux-ci on peut citer les poudres de kieselguhr, de perlite et de vermiculite expansées. Ces poudres s'emploient uniquement en vrac et sous double enveloppe parfaitement étanche. Très sensible à la vapeur d'eau, elles seront protégées de l'humidité de l'air atmosphérique par la présence d'un gaz neutre sous pression à l'intérieure de l'enceinte délimitée par la double enveloppe. Afin de ne pas trop pénaliser de conductivité par une augmentation de la convection, la surpression sera aussi réduite que possible.

L'avantage essentiel de ces isolants est leur prix de revient peu élevé. Toutefois l'emploi de la double enveloppe augmente considérablement leur prix; en général, ils ne seront utilisés que pour des réservoirs de stockage de grande capacité et dont les températures de service seront inférieures à -40°C.

3 Isolants à structure fibreuse

Pratiquement, seules les fibres minérales (verre, roche ou laitier) sont utilisées. Elles ont comme caractéristique une très grande résistance à la l'absorption de la vapeur d'eau et une faible résistance à la compression; par contre, elles sont compatibles avec les températures les plus basses.

En conséquence, elles pourront s'employer:

_ soit sous double enveloppe comme les isolants à structure poudreuse,

_ soit d'une manière classique en sous-couche ou avec renforcement important de l'écran d'étanchéité (écrans intermédiaires entre couches et écrans radiaux qui empêcheront tout cheminement de la vapeur d'eau).

Mais le polyuréthanne de part sa maniabilité s'adapte mieux à la situation.

4 Epaisseur de l'isolant

En général les déperditions sont calculées en fonction d'une

a°) Les isolants travaillant à une pression voisine de la pression atmosphérique

_ les isolants à structure cellulaire,

_ les isolants à structure poudreuse,

_ les isolants à structure fibreuse;

b°) Les isolants travaillant sous un vide très poussé afin d'annuler complètement les transferts de chaleur par convection (superisolants).

Isolants à structure cellulaire

Ces matériaux peuvent être d'origine:

_ **végétale comme le liège et le balsa,**

_ minérale comme le verre mousse

_ synthétique comme les mousses de polystyrène de polyuréthanne, de polychlorure de vinyle, phénoliques.

Les cellules peuvent être ouvertes ou fermées avec des parois étanches ou non au passage de gaz ou de vapeurs spécifiques. De cette perméabilité des parois découle le gaz de remplissage qui peut être de l'air (polystyrène, mousse,

déperdition maximum (10 frigories pour de volumes de chambres froides inférieures ou égaux à $15m^3$) admise sous forme d'un coefficient de transmission K imposé. L'épaisseur e est calculée en fonction de la conductivité thermique de l'isolant utilisé et de la différence de température entre la température ambiante et celle de la chambre froide. On peut aussi lire ces épaisseurs sur les abaques.

Ainsi e = 4cm pour les parois planes;

e = 1.5cm pour les tuyaux.

CHAPITRE 7

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La glace en écailles tel que nous l'avons conçue correspond aux besoins d'un grand nombre de secteurs commerciaux et industriels, parmi lesquels on peut citer:

DISTRIBUTION : conservation et mise en valeur des produits frais: poissonneries notamment, mareyeurs, supérettes...

COLLECTIVITES : hotellerie, restauration hopitaux...

INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES : fruis et légumes, charcuteries, boulangeries, patisseries industrielles...

INDUSTRIES DIVERSES : produits chimiques, colorants, médicaments...

La glace en écailles offre une grande surface de contact, d'où un refroidissement rapide et efficace. Elle peut être produite à partir d'eau douce comme à partir d'eau de mer, à terre comme à bord des bateaux. Son procédé de fabrication continue évite la perte par fusion et ne demande aucune main-doeuvrre supplémentaire.

Signalons cependant que, faute de temps, certains détails seront abordés ultérieurement dans la phase II - phase de

réalisation pratique - du projet. Il s'agit essentiellement:

- de l'approvisionnemnt en eau du tambour évaporateur par un système de réservoir à niveau constant;
- de la liaison de l'axe du tambour et de son moteur d'entraînement par roulements étanches et boîtes d'étanchéité à bagues spéciales.

REFERENCES BILBLIOGRAPHIQUES

1 - Installations frigorifiques. P. J. RAPIN

2 - Guide pratique de l'isolation frigorifique. P. J. RAPIN

3 - Formulaire du froid. P. J. RAPIN

4 - Commercial and Industrial Refrigeration. NELSON

5 - Manuel du frigoriste . Tome I et II. L. MIRONNEAU

6 - Applications frigorifiques. Tome 2. DANIEL COLLIN

7 - Modern Refrigeration Practice . Guy R. KING

8 - Refrigeration and Air Conditionning. LANGLEY

9 - Refrigeration and Air Conditionning. Goodherat WILLOX

10 - Cours de climatisation. G. PORCHER

11 - Procédés de climatisation. G. PORCHER. M. BRUN

12 - Techniques de l'Ingénieur, froid et énergies nouvelles. Volume B2

13 - TRANE: Manuel pratique de réfrigération. Compresseurs à pistons.

14 - Catalogues des constructeurs: COMEF, FRIGA-BOHN, FRIGO-FRANCE, DANFOSS, COPELAWELD.

15 - Thermodynamique appliquée. Notes de cours. E.P.T.

ANNEXES

TABLEAU /

Condenseurs Coefficients globaux de transmission : K			
Groupe	**Médium de condensation**	**Type**	**K : kcal/m²/h/°C**
A chaleur sensible	Air	Circulation naturelle	8 à 10
		Circulation forcée	20 à 25
	Eau	Immersion	200 à 250
		Double tube et contre-courant	600 à 800
		Multitubulaires (horizontaux)	600 à 1 000
A chaleur latente	Atmosphériques	Multitubulaires (verticaux)	700 à 1 200
		Ruissellement simple	200 à 250
		Ruissellement et contre-courant (Block et similaires)	700 à 1 000
	Évaporation forcée	Tubes lisses	200 à 300
		Tubes à ailettes	100 à 150

TABLE 2 - PROPRIETES DU FLUIDE R-22 SATURE

TEMP. DEG. °C	PRESSION kPa ABS	MASSE VOLUMIQUE kg x $10^3/m^3$ LIQ.	MASSE VOLUMIQUE kg x $10^3/m^3$ GAZ.	ENTHALPIE kJ/kg LIQ.	ENTHALPIE kJ/kg LATENTE	ENTHALPIE kJ/kg TOT. GAZ.	TEMP. DEG. °C
COL. 1	COL. 2	COL. 3	COL. 4	COL. 5	COL. 6	COL. 7	COL. 8
-52	98,04	1,44393	0,00280	142,899	240,068	382,967	-52
-50	84,39	1,43831	0,00308	144,959	238,962	383,921	-50
-48	71,28	1,43268	0,00339	147,029	237,840	384,869	-48
-46	78,75	1,42698	0,00372	149,109	236,704	385,813	-46
-44	86,82	1,42126	0,00407	151,200	235,551	386,751	-44
-42	95,55	1,41551	0,00445	153,301	234,381	387,683	-42
-40	104,95	1,40972	0,00486	155,414	233,195	388,609	-40
-38	115,07	1,40390	0,00530	157,537	231,992	389,529	-38
-36	125,94	1,39804	0,00578	159,671	230,771	390,442	-36
-34	137,61	1,39214	0,00626	161,816	229,532	391,348	-34
-32	150,11	1,38620	0,00679	163,972	228,274	392,247	-32
-30	163,46	1,38022	0,00736	166,140	226,998	393,138	-30
-28	177,76	1,37420	0,00796	168,318	225,703	394,021	-28
-26	192,99	1,36814	0,00860	170,507	224,388	394,896	-26
-24	209,22	1,36203	0,00928	172,708	223,054	395,762	-24
-22	226,48	1,35588	0,01001	174,919	221,700	396,619	-22
-20	244,83	1,34968	0,01077	177,142	220,325	397,467	-20
-18	264,29	1,34344	0,01158	179,376	218,929	398,305	-18
-16	284,93	1,33714	0,01244	181,622	217,512	399,133	-16
-14	306,78	1,33079	0,01334	183,878	216,073	399,951	-14
-12	329,88	1,32439	0,01430	186,147	214,612	400,759	-12
-10	354,30	1,31794	0,01530	188,428	213,129	401,555	-10
- 8	380,06	1,31143	0,01637	190,718	211,623	402,341	- 8
- 6	407,23	1,30486	0,01749	193,021	210,094	403,114	- 6
- 4	435,84	1,29823	0,01867	195,355	208,540	403,876	- 4
- 2	465,94	1,29154	0,01991	197,662	206,963	404,625	- 2
0	497,59	1,28479	0,02122	200,000	205,361	405,361	0
2	530,83	1,27797	0,02259	202,351	203,733	406,084	2
4	565,71	1,27108	0,02403	204,713	202,080	406,793	4
6	602,28	1,26412	0,02555	207,089	200,400	407,489	6
8	640,59	1,25708	0,02714	209,477	198,693	408,169	8
10	680,70	1,24997	0,02881	211,877	196,958	408,835	10
12	722,65	1,24277	0,03056	214,291	195,194	409,485	12
14	766,50	1,23550	0,03240	216,719	193,400	410,119	14
16	812,29	1,22813	0,03432	219,160	191,577	410,736	16
18	860,08	1,22068	0,03634	221,615	189,721	411,336	18
20	909,93	1,21313	0,03846	224,084	187,834	411,918	20
22	961,89	1,20548	0,04067	226,568	185,913	412,481	22
24	1016,0	1,19773	0,04300	229,068	183,957	413,025	24
26	1072,3	1,18987	0,04543	231,583	181,965	413,548	26
28	1130,9	1,18190	0,04798	234,115	179,935	414,050	28
30	1191,9	1,17381	0,05065	236,664	177,867	414,530	30
32	1255,2	1,16559	0,05345	239,230	175,758	414,987	32
34	1321,0	1,15724	0,05639	241,814	173,606	415,420	34
36	1389,2	1,14875	0,05946	244,418	171,410	415,828	36
38	1460,1	1,14012	0,06269	247,041	169,167	416,208	38
40	1533,5	1,13133	0,06607	249,686	166,875	416,561	40
42	1609,6	1,12237	0,06962	252,352	164,531	416,883	42
44	1688,5	1,11324	0,07335	255,042	162,133	417,174	44
46	1770,2	1,10392	0,07726	257,756	159,676	417,432	46
48	1854,8	1,09441	0,08137	260,497	157,158	417,655	48
50	1942,3	1,08468	0,08570	263,264	154,575	417,839	50
52	2032,8	1,07472	0,09025	266,062	151,921	417,983	52
54	2126,5	1,06452	0,09504	268,891	149,192	418,083	54
56	2223,2	1,05405	0,10010	271,754	146,383	418,137	56
58	2323,2	1,04330	0,10545	274,654	143,486	418,141	58
60	2426,6	1,03223	0,11110	277,594	140,495	418,089	60
62	2533,3	1,02082	0,11709	280,577	137,401	417,978	62
64	2643,5	1,00904	0,12345	283,607	134,194	417,802	64
66	2757,3	0,99684	0,13022	286,690	130,863	417,553	66

TABLE 3 – DETENDEURS SPORLAN – FLUIDE R-22

TYPES DE DETEN-DEURS	PUIS-SANCE NOMI-NALE kW	TEMPERATURE D'EVAPORATION °C											
		+4,44						+6,66					
		PERTE DE CHARGE DANS LE DETENDEUR, kPa											
		517	690	862	1034	1207	1379	517	690	862	1034	1207	1379
		PUISSANCES EN kW											
C-S	18	16	18	20	22	24	26	16	18	20	22	24	26
H	19	17	20	22	24	26	28	17	20	22	24	26	28
H	25	21	25	28	30	33	35	21	25	28	30	32	35
C-S	28	24	28	31	34	37	40	24	28	31	34	37	40
P H.	39	32	37	41	45	49	52	30	35	39	42	46	49
P.H.	56	46	53	60	65	71	76	44	60	57	63	68	72
P H.	70	68	78	87	96	103	110	60	69	77	85	92	99
O	35	31	35	39	43	46	50	27	32	36	39	42	45
O	53	46	53	59	65	75	75	43	50	56	61	66	71
O	70	68	78	87	96	103	110	60	69	77	85	92	98
O	141	123	142	159	174	187	200	119	137	153	167	181	193
O	246	222	257	287	314	340	362	216	250	279	306	330	352
M	74	65	76	84	93	100	107	64	74	83	90	98	104
M	91	81	93	104	114	123	132	79	91	102	112	121	129
M	120	103	120	134	146	158	169	101	116	130	142	154	164
M	148	128	148	165	181	196	209	123	142	159	174	189	202
V	183	158	183	204	224	242	258	146	169	189	207	223	239
V	246	222	257	287	314	340	362	216	279	279	306	330	352
V	352	305	352	390	429	464	496	292	338	376	411	447	478
W	475	433	503	563	615	665	710						
W	633	545	633	707	774	837	897						

TABLE 3 – FLUIDE R-22

TYPE DE DETENDEUR	TEMPERATURE D'EVAPORATION °C									
	+4,44					+6,66				
	PERTE DE CHARGE DANS LE DETENDEUR, kPa									
	517	690	862	1034	1207	690	862	1034	1207	1379
	PUISSANCES EN kW									
TCL 50H	1,5	1,8	2,0	2,1	2,3	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4
TCL 100H	3,1	3,5	3,9	4,2	4,6	3,4	3,7	4,2	4,6	4,9
TCL 200H	6,3	7,4	8,1	9,1	9,8	7,1	8,1	8,4	9,5	10,2
TCL 300H	10,9	12,7	14,1	15,5	16,9	12,3	13,7	15,1	16,2	17,3
TCL 400H	13,7	15,8	17,6	19,3	20,7	15,5	17,2	18,6	20,4	21,8
TCL 500H	16,9	19,3	21,4	23,6	25,7	18,6	21,1	22,9	24,5	26,4
TCL 700H	21,4	24,6	27,4	30,2	32,7	23,9	26,7	29,2	31,6	33,8
TCL 900H	29,5	34,1	38,0	41,8	45,0	33,1	36,9	40,4	43,6	46,8
TCL 1000H	32,0	36,9	41,1	45,4	48,9	35,9	40,1	44,0	47,5	50,7
TCL 1200H	36,9	42,5	47,5	52,0	56,3	41,1	46,1	50,6	54,5	58,4
TJL 1400H	41,8	48,5	54,1	59,4	64,0	47,1	52,4	57,7	62,2	66,5
TJL 1800H	54,1	62,6	70,0	76,6	82,7	60,9	67,9	74,2	80,2	85,8
TER 22H	66,8	77,4	86,5	94,6	102,3	74,9	83,7	91,8	99,2	106,2
TER 26H	79,1	91,4	102,3	111,8	121,0	88,6	99,2	108,6	117,1	125,5
TER 35H	106,5	123,1	137,5	150,8	162,8	119,2	133,3	146,3	157,9	168,8
TER 45H	137,1	158,2	176,9	193,8	209,2	153,3	171,6	188,1	202,9	216,9
TIR 55H	167,4	193,4	216,2	237,0	255,6	187,4	209,6	229,6	248,2	265,1
THR 75H	228,2	263,7	294,6	323,1	348,8	255,6	285,9	313,3	338,2	361,8
THR 100H	304,5	351,6	393,1	430,7	465,2	341,1	381,1	417,7	451,1	482,4

Les puissances des détendeurs sont basées sur du fluide frigorigène liquide à 37,8°C, entrant sans gaz dans le détendeur. Pour déterminer les puissances des détendeurs pour d'autres températures du fluide liquide, multiplier les puissances ci-dessus par les facteurs indiqués à la Table 9-1A pour le Fluide R-12, et à la Table 9-2A pour le Fluide R-22.

TABLEAU 4

Classification des régulateurs.

I APPAREILS DE CONDUITE	*a*) Mise en service	Contacteurs Discontacteurs Relais	
	b$_1$) Alimentation (fluide frigorigène)	Détendeurs	capillaires automatiques thermostatiques à flotteur
		Régulateurs de niveau Vannes magnétiques Vannes à étranglement thermostatique	
	b$_2$) Alimentation (fluides auxiliaires)	Vannes à eau	pressostatiques thermostatiques magnétiques
		Vannes à eau glacé ou à saumure	magnétiques motorisées
	c) Régulation	Thermostats Pressostats Vannes à pression constante Vannes à action brusque Hygrostats	basse pression
II APPAREILS DE PROTECTION	*a*) Circuit fluide frigorigène	Pressostats	basse pression haute pression différentiels
		Vannes de démarrage Régulateurs de capacité Détendeur thermostatique d'injection Clapets de retenue	
	b) Circuits annexes	Régulateurs de circulation Vannes à eau à interrupteur Relais thermiques Relais magnétothermiques	
III APPAREILS DE CONTROLE	Signalisation optique	Température Pression	Thermomètres Manomètres
		Humidité relative	Hygromètres Psychromètres
		Marche normale	Voyants lumineux
		Incidents fonctionnels	Voyants lumineux
	Signalisation sonore	Incidents fonctionnels	Klaxons Sonneries

Tableau 5

Constantes physiques des composés du groupe "Chloros Fluorés"

Appellation	R 11	R 12	R 13	R13 B1	R 14	R 21	R 22	R 113	R 114	R 115	R 502
Formule chimique	CCl_3F	CCl_2F_2	$CClF_3$	CF_3Br	CF_4	$CHCl_2F$	$CHClF_2$	$C_2Cl_3F_3$	$C_2Cl_2F_4$	C_2ClF_5	
Température d'ébullition (sous 1 atm) °C	+ 23,8	— 29,8	— 81,4	— 57,8	— 128	+ 8,9	— 40,8	+ 47,6	+ 3,6	— 38,7	— 45,6
Point de fusion °C	— 111	— 155	— 181	— 168	— 191	— 135	— 160	— 36,5	— 94	— 106	
Pression critique bars absolus	43,7	40	38,80	39,10	38,15	51,80	49,30	34,10	32,50	30,9	42,53
Température critique °C	198	112	28,9	67	45,5	+ 178,4	+ 96	+ 214	+ 145,7	+ 80	90,1
Rapport des chaleurs massiques : $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	1,136	1,137	1,145	1,135	1,220 à — 80 °C	1,175	1,184	1,080 à 60 °C	1,088	—	1,133
Masse volumique à + 20° C	1,487	1,329	1,298 à — 30 °C	1,802	1,316 à — 80 °C	1,378	1,213	1,575	1,472	1,430	1,284
Chaleur massique du liquide à + 20 °C kJ/kg	0,858	0,983	1,034	0,824	1,230	1,071	1,406	0,912	0,996	1,193	1,243
kcal/kg	*0,205*	*0,235*	*0,247 à — 30 °C*	*0,197*	*0,294 à — 80 °C*	*0,256*	*0,336*	*0,218*	*0,238*	*0,285*	*0,297*
Chaleur massique de la vapeur sous pression constante à + 20 °C kJ/kg	0,502	0,418	0,766	0,167	0,582	0,469	0,293	0,778	0,849	0,886	0,360
kcal/kg	*0,120*	*0,100*	*0,183 à — 30 °C*	*0,04*	*0,132 à — 80 °C*	*0,112*	*0,07*	*0,186*	*0,155*	*0,164*	*0,086*
Chaleur de vaporisation à température d'ébullition normale kJ/kg	182,04	165,18	148,44	118,77	136	242,14	234	146,77	137,27	126	177,80
kcal/kg	*43,5*	*39,47*	*35,47*	*28,38*	*32,49*	*57,86*	*55,92*	*35,07*	*32,8*	*30,1*	*42,48*
Toxicité groupe :	5	6	6	6	6	4/5	5	4/5	6	6	5
Utilisation	Conditionneurs d'air industriels et commerciaux.	Toutes installations industrielles et commerciales. Réfrigérateurs ménagers.	Installations spéciales à basses températures.	Installations spéciales à basse température.	Installations spéciales à très basses températures.	Conditionnement d'air pour ambiance très chaude.	Petits conditionneurs d'air. Installations industrielles. Laboratoires.	Pour compresseurs centrifuges.	Compresseurs rotatifs de réfrigérateurs ménagers. Installations spéciales de conditionnement d'air.	Pour compresseurs à pistons.	Conservation à basse température. Surgélation.

TABLE (– PUISSANCES POUR CONDUITE DE GAZ D'ASPIRATION (REFRIGERANT 22) ALLANT DE L'EVAPORATEUR AU COMPRESSEUR

En kW. Pour 40°C saturé de température de condensation et 4°C saturé de température d'évaporation. Pour d'autres conditions utiliser le facteur de correction de la Table

LONGUEUR EQUIVALENTE EN m	PRESSION TOTALE EN kPa	DIAMETRE DU TUBE EN mm ET POUCES												
		13	16	19	22	29	35	41	54	67	79	92	105	130
		1/2	5/8	3/4	7/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	5 1/8
2,50	2,50	2,81	4,79	8,21	12,83	25,09	44,85	70,83	147,52	261,09	411,35	613,97	881,81	1575,27
	5	3,82	7,01	12,11	18,49	37,82	65,87	103,85	219,90	392,98	602,75	898,32	1261,47	2398,33
	10	5,59	10,27	17,73	27,07	55,07	98,10	152,04	310,21	590,87	881,74	1315,22	1848,91	3376,87
	20	8,19	16,03	25,96	39,63	80,83	140,10	222,80	462,98	818,40	1290,95	1925,80	2704,03	4942,73
	30	10,24	18,79	32,45	49,53	100,77	175,93	278,21	578,82	1024,11	1613,48	2408,68	3378,57	6176,81
5	2,50	1,78	3,27	5,65	8,63	17,55	30,64	48,45	100,76	178,33	280,96	419,08	588,50	1075,94
	5	2,81	4,79	8,21	12,83	25,09	44,85	70,83	147,53	261,09	411,35	613,97	881,81	1575,27
	10	3,82	7,01	12,11	18,49	37,82	65,87	103,85	219,90	392,98	602,75	898,32	1261,47	2398,33
	20	5,59	10,27	17,73	27,07	55,07	90,10	152,04	310,21	590,87	881,74	1315,22	1848,91	3376,87
	30	7,00	12,83	22,17	33,83	68,83	120,10	190,03	395,21	699,49	1102,03	1642,60	2308,33	4220,75
10	2,50	1,22	2,23	3,87	5,89	12,00	20,92	33,09	68,87	121,80	191,90	286,24	401,96	734,89
	5	1,72	3,27	5,65	8,61	17,55	30,64	48,45	100,76	178,33	280,96	419,08	588,50	1075,94
	10	[illegible]	4,79	8,21	12,83	25,09	44,85	70,83	147,53	261,09	411,35	613,97	881,81	1575,27
	20	3,82	7,01	12,11	18,49	37,82	65,84	103,85	219,90	392,98	602,75	898,32	1261,47	2398,33
	30	4,79	8,76	15,14	23,11	47,01	82,07	129,79	269,84	477,21	752,21	1122,75	1578,83	2887,97
12,5	2,50	1,06	1,98	3,41	5,21	10,60	18,51	29,27	60,87	107,74	169,74	253,18	355,93	650,01
	5	1,58	2,89	5,00	7,63	15,52	27,10	42,85	89,12	157,74	248,51	370,66	520,53	951,87
	10	2,31	4,24	7,32	11,17	22,72	39,67	62,74	130,48	230,94	363,94	542,71	762,10	1392,33
	20	3,38	6,20	10,71	16,35	33,27	58,08	91,86	191,03	338,11	532,09	794,57	1115,76	2039,96
	30	4,22	7,75	13,39	20,44	41,58	72,59	114,80	238,78	422,80	665,77	993,07	1394,83	2549,80
15	2,50	0,97	1,79	3,09	4,71	9,59	16,74	26,48	55,06	97,46	153,54	229,02	321,81	587,99
	5	1,43	2,62	4,52	6,90	14,04	24,51	38,78	80,67	142,89	224,80	335,31	470,86	860,87
	10	2,09	3,83	6,62	10,10	20,56	35,89	56,75	118,03	208,90	329,12	490,83	689,38	1260,30
	20	3,06	5,61	9,69	14,78	30,10	52,54	83,09	172,81	305,89	481,87	718,76	1009,30	1845,32
	30	3,82	7,01	12,11	18,49	37,82	65,87	103,85	219,90	392,98	602,75	898,32	1261,47	2308,33
20	2,50		1,53	2,64	4,02	8,19	14,29	22,60	47,01	83,20	131,07	195,51	274,54	501,94
	5	1,22	2,23	3,86	5,89	12,00	20,92	33,09	68,87	121,80	191,90	286,24	401,96	734,89
	10	1,78	3,27	5,65	8,63	17,55	30,64	48,45	100,76	178,33	280,96	419,08	588,50	1075,94
	20	2,81	4,79	8,21	12,83	25,09	44,85	70,83	147,52	261,09	411,35	613,97	881,81	1575,27
	30	3,26	6,00	10,34	15,78	32,11	56,06	88,65	184,37	326,32	514,11	766,96	1076,87	1969,82
30	2,5		1,22	2,11	3,22	6,55	11,44	18,08	37,61	66,57	104,87	156,43	219,67	401,6
	5	0,91	1,79	3,09	4,71	9,59	16,74	26,48	55,06	97,46	153,54	229,02	321,81	587,99
	10	1,43	2,62	4,52	6,90	14,04	24,51	38,78	80,67	142,89	224,80	335,31	470,86	860,87
	20	2,09	3,83	6,62	10,10	20,56	35,89	56,75	118,03	208,90	329,12	490,83	689,38	1260,30
	30	2,81	4,79	8,21	12,83	25,09	44,85	70,83	147,52	261,09	411,35	613,97	881,81	1575,27
40	2,5		1,04	1,80	2,75	5,59	9,76	15,44	32,11	56,82	89,52	133,54	187,52	342,84
	5		1,53	2,64	4,02	8,19	14,29	22,60	47,01	83,20	131,07	195,51	274,54	501,94
	10	1,22	2,23	3,86	5,89	12,00	20,92	33,09	68,87	121,80	191,90	286,24	401,96	734,89
	20	1,78	3,27	5,65	8,63	17,55	30,64	48,45	100,76	178,33	280,96	419,08	588,50	1075,94
	30	2,23	4,09	7,08	10,78	21,93	38,29	60,55	125,93	222,89	351,16	523,76	735,62	1344,90
50	2,5		0,82	1,60	2,43	4,95	8,63	13,65	28,40	50,26	79,18	118,11	165,86	303,34
	5		1,35	2,33	3,56	7,24	12,64	19,99	41,58	73,59	115,93	172,93	242,84	443,97
	10	1,06	1,98	3,41	5,21	10,60	18,51	29,27	60,87	107,74	169,74	253,18	355,93	650,01
	20	1,58	2,89	5,00	7,63	15,52	27,10	42,85	89,12	157,74	248,51	370,66	520,53	951,87
	30	1,97	3,62	6,25	9,54	19,40	33,87	53,58	111,39	197,14	310,59	463,39	650,67	1189,40
60	2,5			1,44	2,20	4,47	7,81	12,35	25,68	45,47	71,63	106,84	150,04	274,31
	5		1,22	2,11	3,22	6,55	11,44	18,08	37,61	66,57	104,87	156,43	219,67	401,6
	10	0,91	1,79	3,09	4,71	9,59	16,74	26,48	55,06	97,46	153,54	229,02	321,81	587,99
	20	1,43	2,62	4,52	6,90	14,04	24,51	38,78	80,67	142,89	224,80	335,31	470,86	860,8
	30	1,78	3,27	5,65	8,63	17,55	30,64	48,45	100,76	178,33	280,96	419,08	588,50	1075,94
70	2,5			1,32	2,02	4,11	7,18	11,35	23,60	41,77	65,81	98,16	137,84	252,
	5		1,17	1,94	2,96	6,02	10,51	16,61	34,55	61,15	96,35	143,71	201,81	368,94
	10	0,80	1,64	2,84	4,33	8,81	15,38	24,32	50,59	89,54	141,06	210,41	295,47	540,2
	20	1,31	2,40	4,15	6,34	12,90	22,52	35,61	74,06	131,09	206,52	308,06	432,59	790,64
	30	1,64	3,01	5,19	7,92	16,12	28,14	44,51	92,57	163,84	258,12	385,02	540,66	988,44
80	2,5			1,23	1,88	3,82	6,67	10,54	21,93	38,81	61,15	91,21	128,09	234,
	5		1,04	1,80	2,75	5,59	9,76	15,44	32,11	56,82	89,52	133,54	187,52	342,84
	10		1,53	2,64	4,02	8,19	14,29	22,60	47,01	83,20	131,07	195,51	274,54	501,94
	20	1,22	2,23	3,86	5,89	12,00	20,92	32,09	68,87	121,80	191,90	286,24	401,96	734,89
	30	1,53	2,79	4,87	7,38	14,98	26,15	41,38	86,01	152,24	239,84	357,75	502,38	918,41
90	2,5			1,15	1,76	3,58	6,25	9,88	20,55	36,38	57,31	85,49	120,05	219,4
	5		0,98	1,69	2,58	5,24	9,15	14,47	30,09	53,26	83,91	125,16	175,78	321,31
	10		1,43	2,47	3,77	7,67	13,40	21,18	44,06	77,99	122,85	183,25	257,32	470,44
	20	1,14	2,09	3,62	5,52	11,23	19,61	31,01	64,50	114,16	179,88	268,20	376,74	688,7
	30	1,43	2,62	4,52	6,90	14,04	24,51	38,76	80,67	142,89	224,80	335,31	470,86	860,8
100	2,5			1,09	1,66	3,38	5,90	9,33	19,40	34,33	54,08	80,67	113,29	207,1
	5			1,60	2,43	4,95	8,63	13,65	28,40	50,26	79,18	118,11	165,86	303,34
	10		1,35	2,33	3,56	7,24	12,64	19,99	41,58	73,59	115,93	172,93	242,84	443,9
	20		1,98	3,41	5,21	10,60	18,51	29,27	60,87	107,74	169,74	253,18	355,93	650,
	30	1,35	2,47	4,27	6,51	13,25	23,13	36,58	76,08	134,65	212,14	316,43	444,35	812,4
120	2,5			0,99	1,50	3,06	5,33	8,44	17,55	31,05	48,92	72,98	102,48	187,3
	5			1,44	2,20	4,47	7,81	12,35	25,68	45,47	71,63	106,84	150,04	274,3
	10		1,22	2,11	3,22	6,55	11,44	18,08	37,61	66,57	104,87	156,43	219,67	401,6
	20		1,79	3,09	4,71	9,59	16,74	26,48	55,06	97,46	153,54	229,02	321,81	587,99
	30	1,22	2,23	3,86	5,89	12,00	20,92	33,09	68,87	121,80	191,90	286,24	401,96	734,89
140	2,5				1,38	2,81	4,90	7,76	16,12	28,53	44,95	67,04	94,15	172,
	5			1,32	2,02	4,11	7,18	11,35	23,60	41,77	65,81	98,16	137,84	252,
	10		1,17	1,94	2,96	6,02	10,51	16,61	34,55	61,15	96,35	143,71	201,81	368,94
	20		1,64	2,84	4,33	8,81	15,38	24,32	50,59	89,54	141,06	210,41	295,47	540,2
	30	1,12	2,05	3,55	5,41	11,01	19,22	30,40	63,22	111,90	176,30	262,97	369,28	675,1
160	2,5				1,30	2,61	4,60	7,30	14,99	26,51	41,76	62,37	87,48	159,94
	5			1,23	1,88	3,82	6,67	10,54	21,93	38,81	61,15	91,21	128,09	234,
	10		1,04	1,80	2,75	5,59	9,76	15,44	32,11	56,82	89,52	133,54	187,52	342,84
	20		1,53	2,64	4,02	8,19	14,29	22,60	47,01	83,20	131,07	195,51	274,54	501,94
	30	1,04	1,91	3,29	5,03	10,23	17,86	28,25	58,75	103,99	163,87	244,35	343,13	627,34

MANUEL DE REFRIGERATION TRANE

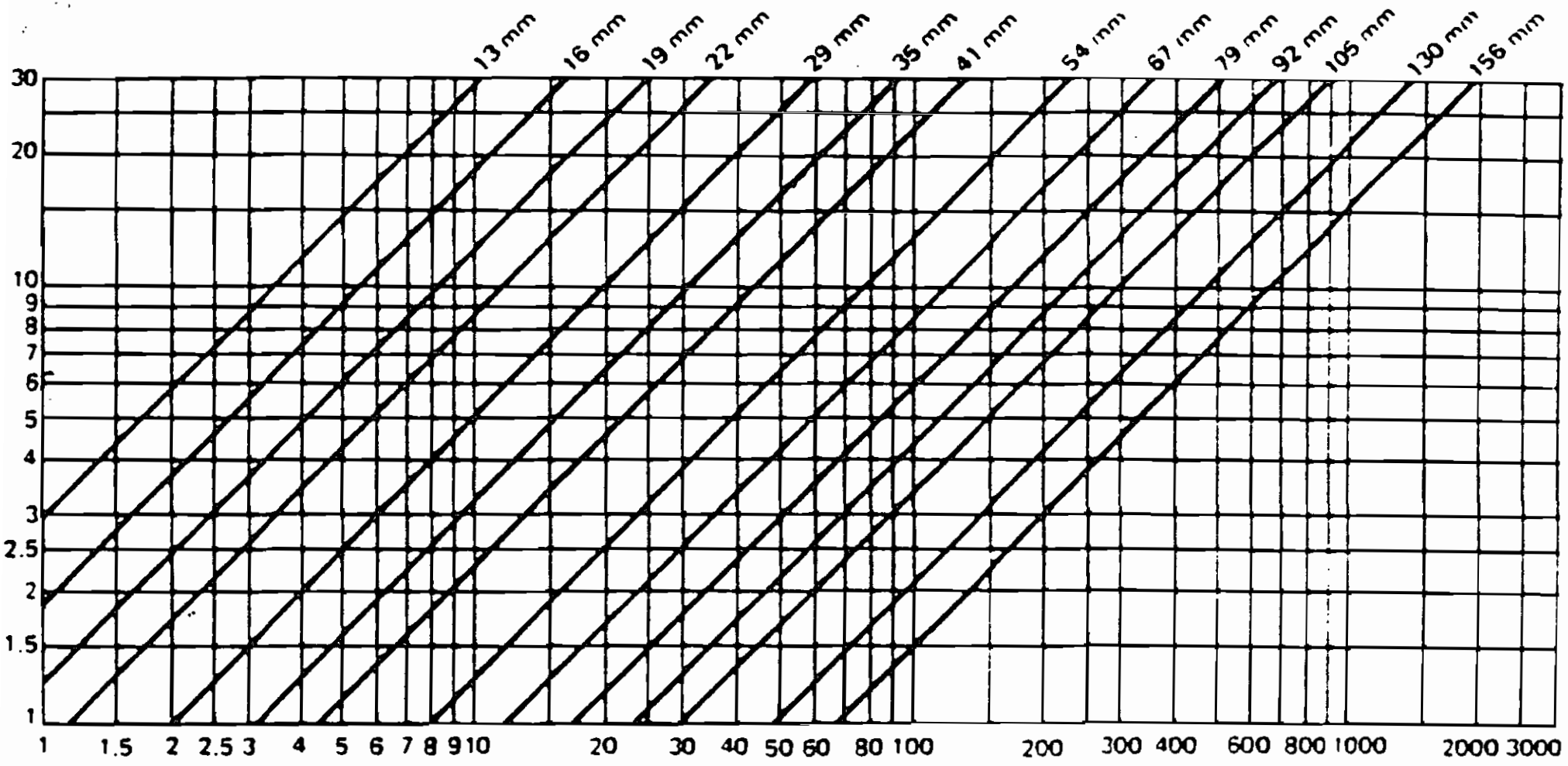
TABLE 7 – FACTEURS DE CORRECTION DE PUISSANCE POUR CONDUITES D'ASPIRATION, R-22

Applicables

TEMP. COND. °C	TEMPERATURE D'ASPIRATION °C																
	-35	-32	-29	-26	-23	-20	-18	-15	-12	-9	-7	-4	-1	+2	+4	+7	+10
29	2,13	2,00	1,87	1,75	1,65	1,56	1,45	1,37	1,28	1,20	1,13	1,07	1,02	0,96	0,91	0,87	0,84
32	2,19	2,05	1,92	1,80	1,69	1,60	1,49	1,41	1,31	1,23	1,16	1,09	1,04	0,99	0,93	0,89	0,86
35	2,25	2,11	1,97	1,84	1,73	1,64	1,53	1,44	1,35	1,26	1,19	1,12	1,06	1,01	0,95	0,91	0,88
38	2,31	2,17	2,02	1,89	1,78	1,68	1,56	1,48	1,38	1,30	1,22	1,15	1,09	1,04	0,98	0,94	0,90
41	2,38	2,22	2,08	1,94	1,83	1,73	1,61	1,52	1,42	1,33	1,25	1,18	1,12	1,06	1,00	0,96	0,92
43	2,45	2,29	2,14	2,00	1,88	1,78	1,65	1,56	1,46	1,37	1,29	1,21	1,15	1,09	1,03	0,98	0,94
46	2,52	2,36	2,21	2,06	1,94	1,83	1,70	1,61	1,50	1,41	1,32	1,25	1,18	1,12	1,06	1,01	0,97
49	2,61	2,44	2,28	2,13	2,00	1,88	1,75	1,66	1,55	1,45	1,36	1,28	1,22	1,15	1,09	1,04	1,00
52	2,70	2,53	2,36	2,20	2,07	1,95	1,81	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1,26	1,19	1,12	1,07	1,03
54	2,79	2,61	2,44	2,28	2,14	2,01	1,87	1,77	1,65	1,54	1,45	1,37	1,29	1,23	1,15	1,11	1,06
57	2,91	2,72	2,54	2,37	2,22	2,09	1,94	1,83	1,71	1,60	1,50	1,41	1,34	1,27	1,19	1,15	1,09
60	3,02	2,83	2,63	2,46	2,31	2,17	2,02	1,90	1,77	1,66	1,56	1,46	1,39	1,31	1,24	1,18	1,13
63	3,16	2,95	2,75	2,56	2,40	2,26	2,10	1,98	1,84	1,73	1,62	1,52	1,44	1,37	1,28	1,23	1,17

DIAGRAMME – VITESSES D'ASPIRATION DU FLUIDE GAZEUX R-22

Diamètre extérieur. Tube cuivre (mm)



Puissance en kW, pour une température d'aspiration de 4°C et une température de condensation de 40°C

Pour d'autres conditions de température, appliquer les facteurs de correction de la Table 16-8.

TABLE 9 – FACTEURS DE CORRECTION DES VITESSES D'ASPIRATION DU FLUIDE GAZEUX, R-22

Applicables au Diagramme

TEMP. COND. °C	TEMPERATURE D'ASPIRATION °C																
	-35	-32	-29	-26	-23	-20	-18	-15	-12	-9	-7	-4	-1	+2	+4	+7	+10
29	3,99	3,53	3,14	2,80	2,50	2,25	2,01	1,81	1,63	1,47	1,33	1,21	1,10	1,00	0,91	0,83	0,76
32	4,10	3,63	3,22	2,87	2,57	2,30	2,06	1,86	1,67	1,51	1,37	1,24	1,12	1,02	0,93	0,85	0,78
35	4,21	3,72	3,51	2,95	2,64	2,36	2,12	1,91	1,71	1,55	1,40	1,27	1,15	1,05	0,95	0,87	0,79
38	4,32	3,83	3,40	3,03	2,71	2,42	2,17	1,96	1,76	1,59	1,43	1,30	1,18	1,07	0,98	0,89	0,81
41	4,45	3,93	3,49	3,11	2,78	2,49	2,23	2,01	1,80	1,63	1,47	1,33	1,21	1,10	1,00	0,91	0,83
43	4,58	4,05	3,60	3,20	2,86	2,56	2,29	2,06	1,85	1,67	1,51	1,37	1,24	1,13	1,03	0,94	0,85
46	4,72	4,18	3,71	3,30	2,95	2,63	2,36	2,12	1,91	1,72	1,55	1,41	1,28	1,16	1,06	0,96	0,88
49	4,88	4,31	3,82	3,41	3,04	2,72	2,43	2,19	1,97	1,77	1,60	1,45	1,31	1,19	1,09	0,99	0,90
52	5,06	4,47	3,97	3,53	3,15	2,81	2,52	2,26	2,04	1,83	1,66	1,50	1,36	1,23	1,12	1,02	0,93
54	5,23	4,62	4,10	3,64	3,25	2,90	2,60	2,34	2,10	1,89	1,71	1,54	1,40	1,27	1,15	1,05	0,96
57	5,45	4,80	4,26	3,79	3,37	3,01	2,70	2,42	2,17	1,96	1,77	1,60	1,45	1,31	1,19	1,09	0,99
60	5,66	4,99	4,42	3,93	3,50	3,13	2,80	2,51	2,25	2,03	1,83	1,66	1,50	1,36	1,24	1,13	1,03
63	5,92	5,22	4,62	4,10	3,65	3,26	2,91	2,62	2,35	2,11	1,90	1,72	1,56	1,41	1,28	1,17	1,07

TABLE 10 – PUISSANCES POUR CONDUITE LIQUIDE (REFRIGERANT 22) ALLANT DU CONDENSEUR A L'EVAPORATEUR

En kW. Pour 40°C saturé de température de condensation et 4°C saturé de température d'évaporation.
Pour d'autres conditions utiliser le facteur de correction de la Table 16-2.

LONGUEUR EQUIVALENTE EN m	PRESSION TOTALE EN kPa	10 (3/8")	12 (1/2")	16 (5/8")	19 (3/4")	22 (7/8")	28 (1 1/8")	35 (1 3/8")	41 (1 5/8")	54 (2 1/8")	67 (2 5/8")	79 (3 1/8")	92 (3 5/8")	105 (4 1/8")
5	2,5	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,80	1753,61	2749,30	3590,38
	7,5	6,96	16,09	30,46	50,47	81,38	158,83	278,50	443,80	913,83	1588,33	2567,43	4025,21	5268,41
	10	10,18	23,58	44,59	73,80	119,12	232,54	407,74	649,88	1337,93	2325,46	3758,84	5893,28	7709,01
	20	14,91	34,48	65,38	108,10	174,41	340,40	596,87	951,43	1958,84	3404,06	5503,41	8628,22	11288,88
	30	18,63	43,10	81,66	135,23	217,98	425,81	746,11	1189,12	2448,31	4256,23	6878,31	10782,80	14108,37
	35	20,28	46,93	88,83	147,16	237,28	463,10	817,12	1294,38	2664,93	4631,72	7486,81	11737,88	15354,81
	40	21,83	50,48	95,59	158,40	256,34	498,48	874,01	1392,88	2867,81	4984,70	8057,40	12632,46	16524,62
	50	24,68	57,06	108,07	178,98	288,88	563,84	988,16	1576,07	3243,40	5635,50	9108,56	14281,88	18682,37
10	2,5	3,24	7,51	14,21	23,55	37,98	74,10	129,92	207,07	426,32	740,98	1197,75	1877,83	2456,40
	7,5	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
	10	6,96	16,09	30,46	50,47	81,38	158,83	278,50	443,80	913,83	1588,33	2567,43	4025,21	5268,41
	20	10,18	23,56	44,59	73,80	119,12	232,54	407,74	649,88	1337,93	2325,46	3758,84	5893,28	7709,01
	30	12,72	29,44	55,73	92,30	148,88	290,63	509,61	812,20	1672,16	2906,41	4698,03	7366,88	9634,93
	35	13,86	32,06	60,67	100,53	162,06	316,35	554,70	884,00	1820,13	3163,57	5113,71	8017,20	10487,44
	40	14,91	34,48	65,29	108,10	174,41	340,40	596,87	951,43	1958,84	3404,06	5503,41	8628,22	11288,88
	50	16,86	38,99	73,81	122,31	197,18	384,91	674,92	1076,07	2216,02	3849,33	6222,03	9754,80	12760,44
12,5	2,5	2,87	6,64	12,57	20,83	33,57	65,54	114,92	183,15	377,08	655,40	1059,41	1660,94	2172,88
	7,5	4,20	9,72	18,40	30,49	49,15	95,95	168,25	268,15	552,08	959,58	1551,07	2431,70	3181,01
	10	6,15	14,23	26,94	44,64	71,97	140,48	246,33	392,59	808,28	1404,88	2270,90	3560,31	4657,37
	20	9,01	20,84	39,44	65,36	105,38	205,68	360,66	574,79	1183,40	2056,88	3324,79	5213,80	6818,56
	30	11,28	26,04	49,30	81,68	131,68	257,08	450,76	718,38	1479,08	2570,73	4159,42	6516,89	8522,13
	35	12,28	28,35	53,68	88,93	143,34	279,81	490,63	781,96	1609,81	2798,18	4523,08	7091,28	9276,18
	40	13,19	30,51	57,78	95,66	154,20	301,15	528,02	841,54	1732,60	3011,42	4867,78	7631,80	9983,08
	50	14,91	34,48	65,28	108,18	174,41	340,40	596,87	951,43	1958,84	3404,06	5503,41	8628,22	11288,88
15	7,5	3,80	8,79	16,65	27,58	44,46	86,80	152,20	242,58	499,40	868,01	1403,08	2199,74	2877,50
	10	5,57	12,87	24,37	40,38	65,10	127,08	222,83	355,14	731,17	1270,84	2054,23	3220,61	4213,01
	20	8,15	18,85	35,68	59,13	95,31	186,08	326,28	519,83	1070,40	1860,61	3007,87	4718,28	6168,08
	30	10,18	23,58	44,59	73,80	119,12	232,54	407,76	649,88	1337,93	2325,88	3758,84	5893,28	7708,01
	35	11,08	25,64	48,54	80,43	129,68	253,11	443,82	707,38	1456,31	2531,20	4091,83	6414,88	8391,11
	40	11,93	27,59	52,28	86,58	139,54	272,40	477,64	761,28	1567,28	2724,18	4403,33	6903,53	9030,68
	50	13,48	31,20	58,08	97,87	157,77	307,97	540,01	860,88	1771,94	3079,80	4978,31	7804,88	10209,78
20	10	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
	20	6,96	16,09	30,46	50,47	81,38	158,83	278,50	443,80	913,83	1588,33	2567,43	4025,21	5268,41
	30	8,69	20,11	38,07	63,08	101,68	198,51	348,07	554,78	1142,13	1985,13	3208,88	5030,83	6580,88
	35	9,48	21,89	41,44	68,68	110,80	216,07	378,81	603,83	1243,18	2160,78	3492,77	5475,88	7163,12
	40	10,18	23,58	44,59	73,80	119,12	232,54	407,74	649,88	1337,93	2325,48	3758,84	5893,38	7708,01
	50	11,51	26,63	50,43	83,54	134,68	262,68	460,58	734,78	1512,83	2628,10	4248,77	6662,78	8718,84
30	10	3,80	8,79	16,68	27,58	44,46	86,80	152,20	242,58	499,40	868,01	1403,08	2199,74	2877,50
	20	5,57	12,87	24,37	40,38	65,19	127,08	222,83	355,14	731,17	1270,84	2054,23	3220,61	4213,01
	30	6,96	16,09	30,40	50,47	81,38	158,83	278,50	443,80	913,83	1588,33	2567,43	4025,21	5268,41
	35	7,57	17,51	33,15	54,94	88,56	172,88	303,14	483,13	994,88	1728,88	2794,80	4381,38	5731,30
	40	8,15	18,85	35,68	59,13	95,31	186,06	326,24	519,88	1070,40	1860,61	3007,87	4716,28	6168,08
	50	9,31	21,31	40,34	66,88	107,78	210,38	368,84	587,84	1210,23	2103,83	3400,28	5330,88	6973,47
40	10	3,24	7,51	14,21	23,55	37,98	74,10	129,92	207,07	426,32	740,98	1197,78	1877,83	2456,40
	20	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
	30	5,94	13,73	26,00	43,08	69,48	135,58	237,74	378,88	780,10	1358,88	2191,21	3436,15	4494,88
	35	6,48	14,98	28,30	46,88	75,60	147,58	258,78	412,43	849,13	1475,88	2385,63	3740,10	4892,58
	40	6,96	16,09	30,46	50,47	81,38	158,83	278,50	443,88	913,83	1588,33	2567,43	4025,21	5268,41
	50	7,88	18,18	34,44	57,08	91,88	179,87	314,88	501,82	1033,18	1796,73	2903,63	4550,81	5957,88
50	10	2,87	6,64	12,57	20,83	33,57	65,54	114,92	183,15	377,08	655,40	1059,41	1660,94	2172,88
	20	4,20	9,72	18,40	30,48	49,15	95,95	168,25	268,15	552,08	959,58	1551,07	2431,78	3181,01
	30	5,25	12,15	23,00	38,11	61,43	119,92	210,28	335,14	690,00	1199,70	1938,87	3039,28	3975,72
	35	5,72	13,22	25,03	41,48	66,87	130,54	228,88	364,79	751,08	1305,80	2110,10	3308,70	4327,48
	40	6,16	14,23	26,94	44,64	71,97	140,48	246,33	392,90	808,28	1404,88	2270,90	3560,31	4657,32
	50	6,96	16,09	30,46	50,47	81,38	158,83	278,50	443,88	913,83	1588,33	2567,43	4025,21	5268,41
60	10	2,60	6,01	11,37	18,84	30,37	59,28	103,95	165,68	341,10	592,87	958,33	1502,47	1965,30
	20	3,80	8,79	16,68	27,58	44,46	86,80	152,20	242,58	499,40	868,01	1403,08	2199,74	2877,50
	30	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
	35	5,17	11,96	22,64	37,52	60,49	118,08	207,05	329,98	679,38	1180,80	1908,77	2992,58	3914,88
	40	5,57	12,87	24,37	40,38	65,10	127,08	222,83	355,14	731,17	1270,84	2054,23	3220,61	4213,01
	50	6,29	14,55	27,55	45,88	73,60	143,67	251,93	401,51	826,64	1436,78	2322,48	3641,15	4763,02
75	10	2,35	5,52	10,44	17,31	27,90	54,47	95,50	152,21	313,37	544,67	880,43	1380,34	1805,63
	20	3,49	8,08	15,28	25,34	40,89	79,78	139,82	222,85	458,81	797,45	1289,03	2020,93	2643,59
	30	4,36	10,10	19,11	31,67	51,06	99,68	174,78	278,52	573,43	996,67	1611,08	2525,81	3304,06
	35	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
	40	5,11	11,83	22,39	37,10	59,81	116,75	204,71	326,27	671,73	1167,53	1887,24	2958,81	3870,45
	50	5,78	13,37	25,31	41,94	67,62	131,99	231,40	368,87	759,44	1319,98	2133,68	3345,17	4375,84
[illegible]	10	2,22	5,13	[illegible]	[illegible]	26,93	50,61	88,78	141,43	291,18	506,10	818,09	1282,59	1677,77
	20	3,24	7,51	14,21	23,55	37,98	74,10	129,92	207,07	[illegible]	[illegible]	1197,75	1877,83	2456,40
	30	4,06	[illegible]	17,74	[illegible]	47,44	92,61	162,38	258,80	532,82	[illegible]	1496,98	2346,98	3070,08
	35	4,41	10,21	19,32	32,03	51,64	100,80	176,75	281,70	579,97	1008,04	1629,43	2554,62	3341,72
	40	4,75	10,99	20,80	34,47	55,57	108,48	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
	50	5,37	12,42	23,52	[illegible]	62,81	122,68	215,08	342,78	705,87	1226,53	1982,56	3108,30	4066,09
[illegible]	10	[illegible]	4,81	9,10	15,07	24,30	47,43	83,17	132,56	272,92	474,36	766,77	1202,14	[illegible]
	20	[illegible]	7,04	13,32	22,07	35,58	69,45	121,77	194,18	399,58	[illegible]	1122,82	1760,04	[illegible]
	30	3,80	8,79	16,65	27,58	44,46	86,80	152,20	242,58	499,40	868,01	1403,08	2199,74	2877,50
	35	4,14	9,57	18,12	30,02	48,40	94,48	165,66	264,03	543,59	944,81	1527,23	2394,38	3132,10
	40	4,45	[illegible]	19,50	32,31	52,09	101,68	178,29	284,15	585,01	1016,81	1643,61	2576,84	3370,79
	50	5,03	11,65	22,04	36,53	58,89	114,95	201,57	321,25	661,40	1149,58	1858,23	2913,32	3810,84
[illegible]	10	1,96	4,53	8,58	14,22	22,92	44,76	78,40	[illegible]	257,55	447,65	723,60	1134,40	[illegible]
	20	2,87	6,64	12,57	20,83	33,57	65,54	114,92	183,15	377,08	655,40	1059,41	1660,94	2172,88
	30	[illegible]	8,28	15,71	26,03	41,96	81,91	143,63	228,91	471,30	819,16	1324,08	2075,86	2716,48
	35	3,90	9,03	17,10	28,37	45,67	89,18	156,36	249,18	[illegible]	891,61	1441,24	2259,57	2955,78
	40	4,20	9,72	18,40	30,49	49,15	95,95	168,25	268,15	552,08	959,56	1551,07	2431,70	3181,01
	50	4,75	10,99	20,80	34,41	55,57	108,40	190,22	303,10	624,17	1084,88	1753,61	2749,30	3590,38
[illegible]	10	[illegible]	4,08	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	71,08	113,10	[illegible]	404,04	654,58	1025,22	[illegible]
	20	2,80	[illegible]	11,17	[illegible]	[illegible]	[illegible]	103,18	166,18	341,10	[illegible]	[illegible]	1502,47	[illegible]
	30	[illegible]	7,51	14,21	[illegible]	[illegible]	[illegible]	129,92	207,07	426,32	[illegible]	[illegible]	1877,83	2456,40
	35	3,51	8,13	15,41	[illegible]	[illegible]	[illegible]	141,42	225,39	464,04	[illegible]	[illegible]	2043,90	2673,74
	40	[illegible]	[illegible]	16,65	[illegible]	[illegible]	[illegible]	152,20	242,58	[illegible]	[illegible]	1403,08	2199,74	2877,50
	50	[illegible]	[illegible]	18,82	[illegible]	[illegible]	[illegible]	172,07	274,24	564,81	981,30	1586,79	2488,98	3253,76

NOTE : LES VALEURS [illegible]

TABLE 11 - FACTEURS DE CORRECTION DE PUISSANCE POUR CONDUITES DE FLUIDE LIQUIDE, R-22

Applicables

TEMP. COND. °C	TEMPERATURE D'ASPIRATION °C																
	-35	-32	-29	-25	-23	-21	-18	-15	-12	-9	-7	-4	-1	+2	+4	+7	+10
29	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90
32	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92
35	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94
38	1,09	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96
41	1,13	1,12	1,11	1,09	1,08	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01	1,00	0,99	0,99
43	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02	1,01
46	1,20	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,04
49	1,24	1,22	1,21	1,20	1,19	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,07
52	1,28	1,27	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10
54	1,33	1,31	1,30	1,28	1,27	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,15	1,14
57	1,38	1,36	1,35	1,33	1,32	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,19	1,19	1,18
60	1,43	1,42	1,40	1,38	1,37	1,35	1,34	1,32	1,31	1,30	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22
63	1,50	1,48	1,46	1,44	1,43	1,41	1,39	1,38	1,36	1,35	1,33	1,32	1,31	1,30	1,28	1,27	1,26

TABLE 13 - PUISSANCES POUR CONDUITE DE GAZ CHAUD DE REFOULEMENT (REFRIGERANT 22) ALLANT DU COMPRESSEUR AU CONDENSEUR

En kW. Pour 40°C saturé de température de condensation et 4°C saturé de température d'évaporation. Pour d'autres conditions utiliser le facteur de correction de la Table 16-9.

LONGUEUR ÉQUIVALENTE EN m	PRESSION TOTALE EN kPa	DIAMÈTRE DU TUBE EN mm ET POUCES												
		12	16	19	22	29	35	41	54	67	79	92	105	130
		1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1 1/8"	1 3/8"	1 5/8"	2 1/8"	2 5/8"	3 1/8"	3 5/8"	4 1/8"	5 1/8"
5	5	3,91	6,90	12,10	18,70	38,29	87,01	104,43	218,01	387,29	809,22	909,47	1288,30	2310,63
	10	5,73	10,10	17,83	27,38	56,08	98,10	152,90	319,19	567,02	891,99	1331,59	1893,97	3382,90
	20	8,38	14,81	28,11	40,09	82,00	143,83	223,88	467,32	830,18	1308,89	1949,50	2714,38	4992,94
	30	10,49	18,63	32,83	50,10	102,99	179,81	279,70	584,07	1037,98	1632,14	2438,54	3392,50	6190,33
	35	11,40	20,28	35,91	54,53	111,87	195,40	304,84	638,79	1129,37	1778,59	2657,13	3692,87	6738,79
	40	12,27	21,83	38,22	58,69	120,18	210,29	327,79	684,18	1219,43	1911,94	2854,74	3974,00	7251,53
	50	13,88	24,68	43,21	66,38	135,87	237,79	370,54	773,84	1374,14	2161,80	3228,94	4493,01	8198,42
10	5	2,87	4,75	8,32	12,77	26,15	45,77	71,33	148,91	264,52	418,11	621,18	884,91	1578,21
	10	3,91	6,90	12,10	18,70	38,29	87,01	104,43	218,01	387,29	809,22	909,47	1288,30	2310,63
	20	5,73	10,10	17,83	27,38	56,08	98,10	152,90	319,19	567,02	891,99	1331,59	1893,97	3382,98
	30	7,18	12,73	22,78	34,77	70,07	122,61	191,10	398,93	708,98	1114,79	1664,21	2317,19	4228,17
	35	7,79	13,85	24,78	37,25	75,77	133,46	208,01	434,23	771,38	1213,97	1811,48	2522,17	4602,22
	40	8,38	14,91	28,11	40,09	82,00	143,83	223,88	467,32	830,18	1308,89	1949,50	2714,38	4992,94
	50	9,40	16,88	29,51	45,32	93,30	162,38	253,09	528,34	938,57	1478,41	2204,06	3068,81	5600,60
12,5	5	2,30	4,20	7,38	11,30	23,13	40,48	63,09	131,71	233,97	368,05	549,44	765,02	1395,93
	10	3,48	6,15	10,77	16,54	33,87	59,27	92,37	192,83	342,58	538,86	804,43	1120,05	2043,78
	20	5,08	9,01	15,77	24,22	49,58	86,77	135,24	282,32	501,53	788,93	1177,78	1639,85	2992,24
	30	6,33	11,20	19,71	30,27	61,79	108,49	169,03	352,88	626,82	986,03	1472,09	2049,52	3739,78
	35	6,89	12,25	21,40	32,75	67,48	118,05	183,98	384,08	682,79	1073,28	1602,34	2230,87	4070,48
	40	7,42	13,18	23,09	35,48	72,50	127,04	198,00	413,35	734,28	1155,07	1724,34	2400,87	4380,95
	50	8,38	14,91	26,11	40,09	82,08	143,83	223,88	467,32	830,18	1305,89	1949,50	2714,38	4992,94
15	5	2,14	3,80	6,68	10,22	20,93	36,62	57,07	119,14	211,65	332,93	497,02	692,02	1262,74
	10	3,13	5,57	9,74	14,98	30,64	53,61	83,58	174,43	309,87	487,44	727,68	1013,18	1848,78
	20	4,58	8,15	14,27	21,91	44,88	78,49	122,34	255,39	453,68	713,66	1065,39	1482,38	2706,74
	30	5,72	10,10	17,83	27,38	56,08	98,10	152,90	319,19	567,02	891,99	1331,59	1893,97	3382,98
	35	6,23	11,08	19,41	29,80	61,03	106,78	166,43	347,43	617,19	970,87	1449,38	2018,01	3682,29
	40	6,71	11,93	20,89	32,07	65,68	114,92	179,11	373,91	664,22	1044,88	1559,82	2171,80	3962,90
	50	7,58	13,48	23,61	36,26	74,25	129,93	202,50	422,73	750,90	1181,29	1763,49	2455,39	4480,37
20	5	1,82	3,24	5,68	8,72	17,88	31,28	48,72	101,71	180,67	284,21	424,29	590,75	1077,95
	10	2,87	4,75	8,32	12,77	26,15	45,77	71,33	148,91	264,53	416,11	621,19	864,91	1578,21
	20	3,91	6,90	12,10	18,70	38,29	87,01	104,43	218,01	387,29	809,22	909,47	1288,30	2310,63
	30	4,89	8,09	15,22	23,37	47,88	83,75	130,52	272,48	484,04	761,42	1136,69	1582,60	2887,80
	35	5,32	9,48	16,82	25,44	52,09	91,18	142,07	296,59	526,87	828,79	1237,28	1722,69	3143,41
	40	5,73	10,18	17,83	27,38	56,08	98,10	152,90	319,19	567,02	891,98	1331,59	1853,97	3382,98
	50	6,47	11,61	20,18	30,99	63,38	110,91	172,88	360,87	641,08	1008,42	1506,42	2096,06	3824,70
30	5	1,40	2,80	4,55	6,98	14,29	25,01	38,98	81,38	144,58	227,40	339,47	472,67	862,48
	10	2,14	3,80	6,68	10,22	20,93	36,62	57,07	119,14	211,65	332,93	497,02	692,02	1262,74
	20	3,13	5,57	9,74	14,98	30,64	53,61	83,58	174,43	309,87	487,44	727,68	1013,18	1848,78
	30	3,91	6,90	12,10	18,70	38,29	87,01	104,43	218,01	387,29	809,22	909,47	1288,30	2310,63
	35	4,38	7,57	13,28	20,38	41,88	72,94	113,87	237,30	431,55	663,12	989,99	1378,34	2519,08
	40	4,58	8,15	14,27	21,91	44,88	78,49	122,34	255,39	453,68	713,66	1065,38	1482,38	2706,74
	50	5,18	9,21	16,13	24,77	50,71	88,74	138,31	288,73	512,92	806,86	1204,90	1677,08	3060,18
40	20	2,87	4,75	8,32	12,77	26,15	45,77	71,33	148,91	264,52	416,11	621,18	864,91	1578,21
	30	3,34	5,94	10,40	15,98	32,69	57,20	89,15	186,11	330,61	520,07	776,38	1080,99	1972,40
	35	3,63	6,48	11,32	17,38	35,58	62,28	97,08	202,57	359,88	566,08	845,07	1176,63	2147,01
	40	3,91	6,90	12,10	18,70	38,29	87,01	104,43	218,01	387,29	809,22	909,47	1288,30	2310,63
	50	4,42	7,86	13,77	21,14	43,29	75,78	118,07	246,48	437,86	688,77	1028,23	1431,66	2612,38
50	20	2,30	4,20	7,38	11,30	23,13	40,48	63,09	131,71	233,97	368,05	549,44	765,02	1395,92
	30	2,89	5,25	9,20	14,13	28,91	50,59	78,85	164,61	292,42	460,00	686,71	956,14	1744,87
	35	3,21	5,72	10,01	15,37	31,47	55,07	85,83	179,18	318,30	500,70	747,47	1040,74	1899,04
	40	3,48	6,15	10,77	16,54	33,87	59,27	92,37	192,83	342,58	538,86	804,43	1120,05	2043,78
	50	3,91	6,90	12,10	18,70	38,29	87,01	104,43	218,01	387,29	809,22	909,47	1288,30	2310,63
60	20	2,14	3,80	6,68	10,22	20,93	36,62	57,07	119,14	211,65	332,93	497,02	692,02	1262,74
	30	2,67	4,75	8,32	12,77	26,15	45,77	71,33	148,91	264,52	416,11	621,19	864,91	1578,21
	35	2,91	5,17	9,05	13,90	28,41	49,82	77,64	162,08	287,93	452,93	676,19	941,44	1717,89
	40	3,13	5,57	9,74	14,98	30,64	53,61	83,58	174,43	309,87	487,44	727,68	1013,18	1848,78
	50	3,54	6,29	11,02	16,92	34,64	60,61	94,47	197,21	350,33	551,09	822,70	1145,48	2090,17
70	20	1,98	3,49	6,11	9,39	19,23	33,64	52,43	109,40	194,44	305,87	456,62	635,77	1160,09
	30	2,45	4,38	7,64	11,73	24,03	42,05	65,53	136,80	243,02	382,29	570,69	794,60	1449,92
	35	2,67	4,75	8,32	12,77	26,15	45,77	71,33	148,91	264,52	416,11	621,19	864,91	1578,21
	40	2,87	5,11	8,95	13,75	28,15	49,25	76,77	160,25	284,68	447,82	668,53	930,82	1698,48
	50	3,25	5,78	10,12	15,54	31,82	55,69	86,79	181,18	321,88	506,30	755,82	1052,37	1920,28
80	20	1,82	3,24	5,68	8,72	17,88	31,28	48,72	101,71	180,67	284,21	424,29	590,75	1077,95
	30	2,28	4,08	7,10	10,90	22,33	39,07	60,89	127,12	225,81	355,22	530,28	738,34	1347,25
	35	2,48	4,41	7,73	11,87	24,30	42,53	66,28	138,38	245,79	386,65	577,20	803,68	1466,45
	40	2,67	4,75	8,32	12,77	26,15	45,77	71,33	148,91	264,52	416,11	621,19	864,91	1578,21
	50	3,02	5,37	9,40	14,44	29,57	51,74	80,64	168,35	299,08	470,44	702,30	977,85	1784,25
90	20	1,71	3,04	5,33	8,18	16,75	29,30	45,68	95,33	169,34	266,38	397,67	553,69	1010,32
	30	2,14	3,80	6,68	10,22	20,93	36,62	57,07	119,14	211,65	332,93	497,02	692,02	1262,74
	35	2,33	4,14	7,24	11,12	22,78	39,88	62,12	129,69	230,37	362,39	541,00	753,25	1374,47
	40	2,50	4,49	7,80	11,97	24,51	42,90	66,86	139,57	247,93	390,01	582,22	810,69	1479,21
	50	2,83	5,03	8,81	13,54	27,72	48,50	75,59	157,79	280,31	440,94	658,25	916,51	1672,38
100	20	1,61	2,87	5,03	7,72	15,80	27,65	43,09	89,98	159,81	251,39	375,28	522,52	[illegible]
	30	2,02	3,59	6,28	9,64	19,75	34,58	53,88	112,41	199,71	[illegible]	469,08	653,05	[illegible]
	35	2,20	3,90	6,84	10,50	21,50	37,61	58,62	122,38	217,40	341,99	510,54	710,84	[illegible]
	40	2,30	4,20	7,38	11,39	23,13	40,48	63,09	131,71	233,97	368,05	549,44	765,02	1395,93
	50	2,67	4,75	8,32	12,77	26,19	45,77	71,33	148,91	264,52	416,11	621,19	864,91	1578,21
150	20	1,40	2,80	4,55	6,98	14,29	25,01	38,98	81,38	144,58	227,40	339,47	472,67	862,48
	30	1,82	3,24	5,68	8,72	17,88	31,28	48,72	101,71	180,67	284,21	424,29	590,75	1077,95
	35	1,99	3,53	6,18	9,50	19,44	34,03	53,03	110,71	196,66	309,36	461,83	643,02	1173,37
	40	2,14	3,80	6,68	10,22	20,93	36,62	57,07	119,14	211,65	332,93	497,02	692,02	1262,74
	50	2,42	4,30	7,52	11,55	23,66	41,40	64,52	134,70	239,28	376,41	561,93	782,39	1427,43

DIAGRAMME - VITESSES DE REFOULEMENT DU FLUIDE GAZEUX R 22

Diamètre extérieur. Tube cuivre (mm)

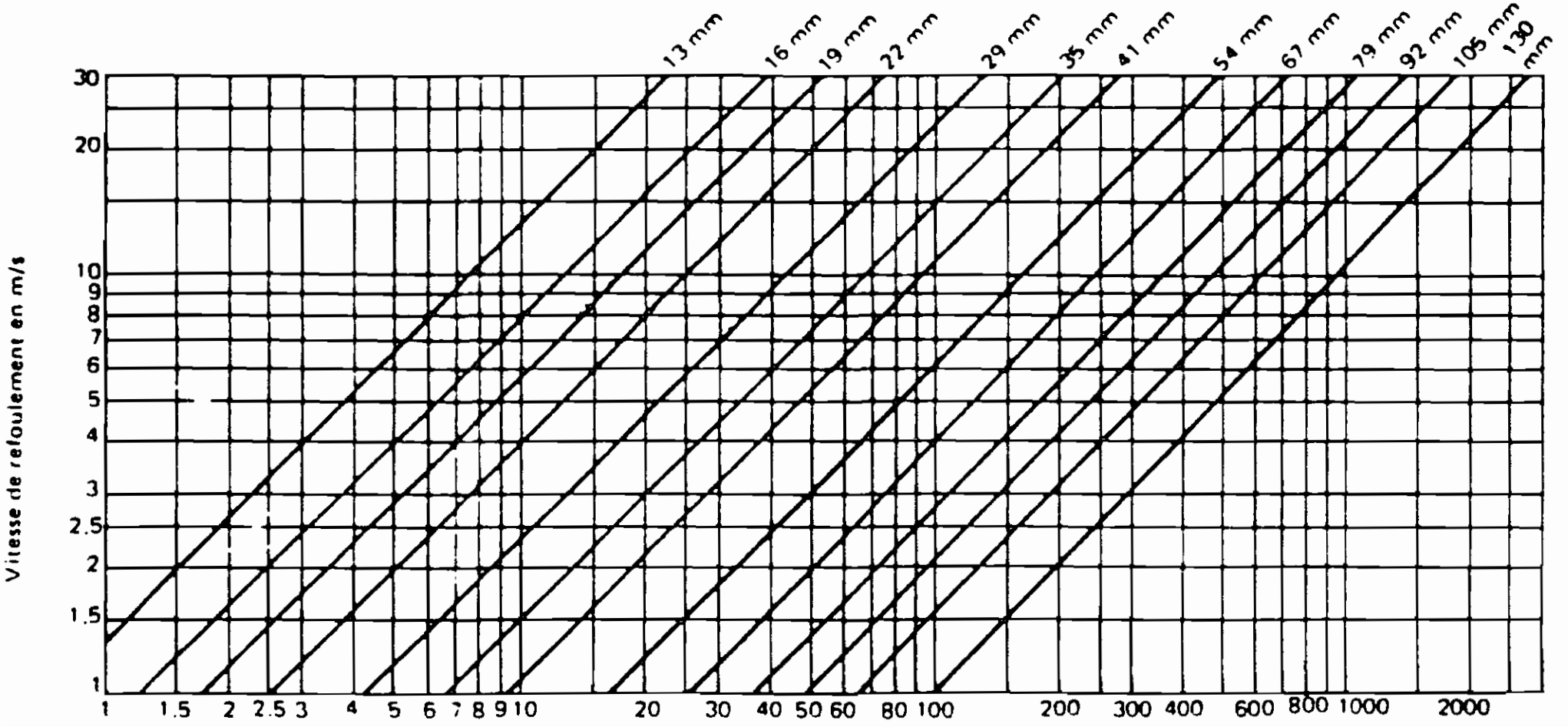


TABLE 14 FACTEURS DE CORRECTION DES VITESSES DE REFOULEMENT DU FLUIDE GAZEUX, R-22

Applicables au Diagramme 16-2

TEMP. COND. °C	TEMPERATURE D'ASPIRATION SATUREE °C																
	-34	-32	-29	-26	-23	-21	-18	-15	-12	-9	-7	-4	-1	+2	+4	+7	+10
29	1,70	1,64	1,59	1,54	1,49	1,46	1,42	1,38	1,35	1,31	1,28	1,26	1,23	1,21	1,18	1,17	1,15
32	1,63	1,58	1,52	1,48	1,44	1,40	1,36	1,32	1,29	1,26	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,12	1,10
35	1,57	1,51	1,47	1,42	1,38	1,34	1,30	1,27	1,24	1,21	1,18	1,15	1,13	1,10	1,08	1,07	1,05
38	1,52	1,46	1,42	1,37	1,33	1,29	1,26	1,22	1,19	1,16	1,13	1,11	1,08	1,06	1,04	1,02	1,01
41	1,47	1,42	1,37	1,33	1,29	1,25	1,21	1,18	1,15	1,12	1,09	1,07	1,04	1,02	1,00	0,98	0,97
43		1,37	1,33	1,29	1,25	1,21	1,17	1,14	1,11	1,08	1,05	1,03	1,01	0,98	0,96	0,95	0,93
46			1,29	1,25	1,21	1,17	1,14	1,10	1,08	1,05	1,02	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,90
49			1,26	1,22	1,18	1,14	1,11	1,07	1,05	1,02	0,99	0,97	0,94	0,92	0,90	0,89	0,87
52			1,24	1,19	1,16	1,12	1,08	1,05	1,02	0,99	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,85
54				1,17	1,13	1,09	1,05	1,02	0,99	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82
57				1,15	1,11	1,07	1,04	1,01	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81
60					1,09	1,05	1,01	0,98	0,95	0,92	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79
63						1,04	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,79	0,78

CALCUL ET POSE DES TUYAUTERIES

TABLEAU 15 – DIMENSIONS DES TUBES CUIVRE

DIAMETRES		EPAISSEUR DE PAROI	POIDS PAR METRE	SECTION DE L'ALESAGE	SURFACE DU TUBE PAR METRE	
EXTERIEUR mm	INTERIEUR mm	mm	kg	mm^2	EXTERIEUR $METRES^2$	INTERIEUR $METRES^2$
13(1/2)	11	1	0,3	95	0,04	0,03
16(5/8)	14	1	0,4	154	0,05	0,04
19(3/4)	17	1	0,5	227	0,06	0,05
22(7/8)	20	1	0,7	314	0,07	0,06
29(1-1/8)	26	1,5	1,0	531	0,09	0,09
35(1-3/8)	32	1,5	1,3	804	0,11	0,11
41(1-5/8)	38	1,5	1,7	1134	0,13	0,12
54(2-1/8)	50	2	2,6	1963	0,17	0,16
67(2-5/8)	63	2	3,7	3117	0,21	0,20
79(3-1/8)	75	2	4,9	4418	0,24	0,24
92(3-5/8)	87	2,5	6,4	5945	0,29	0,27
105(4-1/8)	99	3	8,0	7698	0,33	0,31
130(5-1/8)	124	3	11,3	12076	0,41	0,39
156(6-1/8)	148	4	15,2	17203	0,49	0,47

TABLE . . LONGUEURS EQUIVALENTES POUR ROBINETS ET ACCESSOIRES

Sur la base de conduites en tube cuivre avec raccordements à brides, évasés ou soudés.

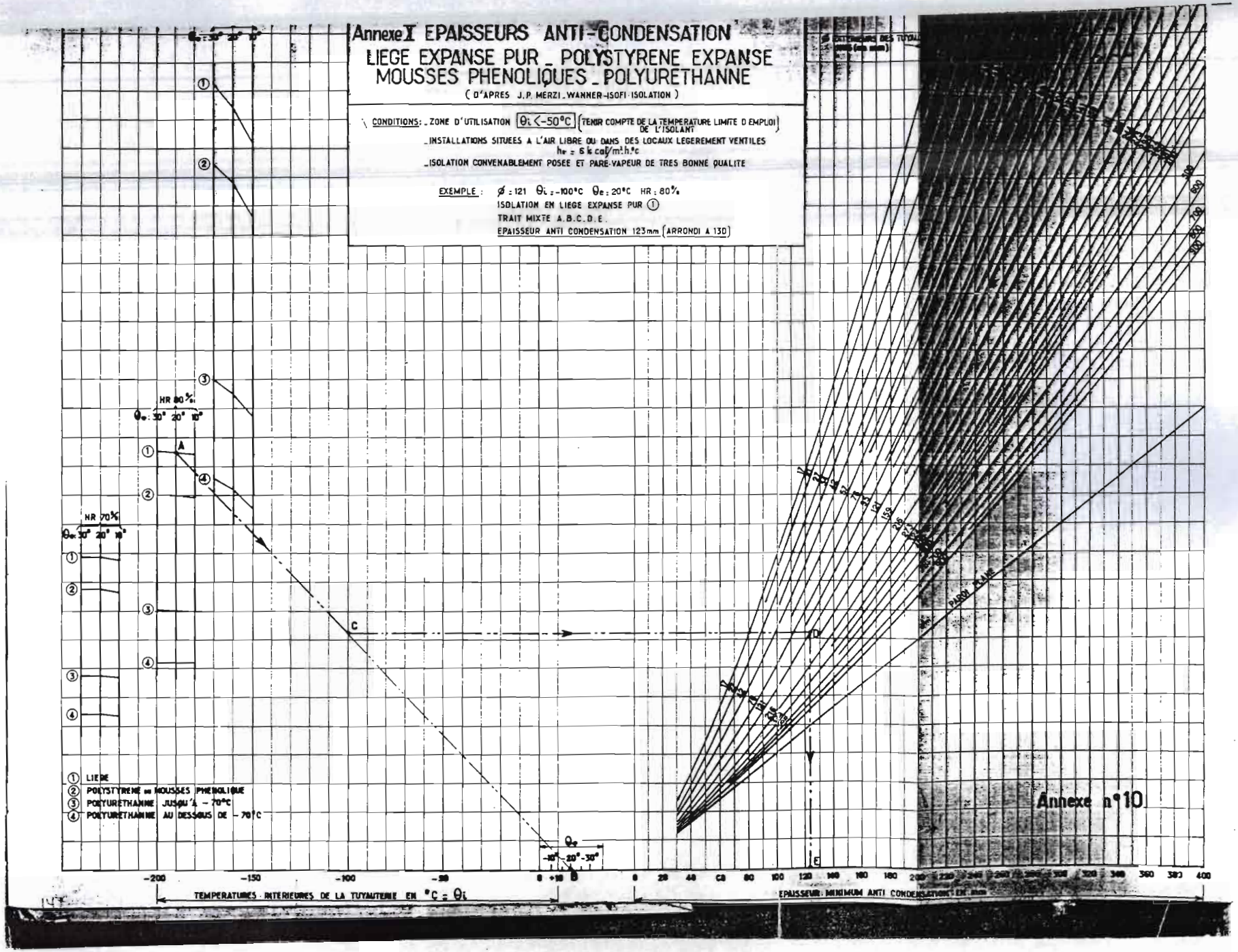
DIAM. EXT. TUBE mm	ROBINET A SOUPAPE ET ROBINET SOLENOIDE	ROBINET D'EQUERRE	COUDE A RAYON COURT	COUDE A GRAND RAYON	TE A PASSAGE DIRECT ET VOYANT	TE DE DERIV.
13(1/2)	21	7,3	1,4	1,0	0,5	2,0
16(5/8)	22	7,6	1,7	1,2	0,7	2,5
19(3/4)	23	7,6	2,0	1,4	0,9	3,0
22(7/8)	24	8,5	2,4	1,6	1,1	3,7
29(1-1/8)	27	8,8	0,8	0,6	0,8	2,4
35(1-3/8)	31	10,1	1,0	0,7	0,8	3,0
41(1-5/8)	35	10,4	1,2	0,8	0,9	3,7
54(2-1/8)	43	11,9	1,6	1,0	1,2	4,9
67(2-5/8)	48	13,4	2,0	1,3	1,4	6,1
79(3-1/8)	56	16,2	2,4	1,6	1,6	7,3
92(3-5/8)	66	20,1	3,0	1,9	2,0	9,1
105(4-1/8)	76	23,1	3,7	2,2	2,2	10,7
130(5-1/8)	89	29,3	4,3	2,7	2,4	12,8
156(6-1/8)	105	36,3	5,2	3,0	2,8	15,2

REPRODUIT AVEC L'AUTORISATION DE "THE AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE".

TABLE 16 – POIDS DE FLUIDE FRIGORIGENE DANS LES TUYAUTERIES

(en kg pour 30 metres de tuyauteries)

Dia. ext. (mm)	R-12			R-22		
	Tuyauteries Aspiration	Tuyauteries Refoulement	Tuyauteries de Liquide	Tuyauteries Aspiration	Tuyauteries Refoulement	Tuyauteries de Liquide
13	0,05	0,14	3,7	0,09	0,12	3,3
16	0,09	0,20	5,9	0,14	0,26	5,4
19	0,14	0,33	8,8	0,18	0,39	8,0
22	0,18	0,45	12,2	0,23	0,54	11,1
29	0,32	0,84	20,9	0,41	0,91	18,9
35	0,50	1,10	31,8	0,59	1,40	28,8
41	0,73	1,70	44,9	0,86	2,00	40,7
54	1,30	2,90	78,1	1,50	3,50	70,9
67	2,00	4,50	120,4	2,30	5,30	109,3
79	2,80	6,40	172,0	3,30	7,60	156,0
92	3,80	8,70	232,6	4,40	10,30	211,0
105	4,90	11,30	302,8	5,80	13,30	274,7
130	7,60	17,60	–	9,00	20,80	–
156	10,90	25,20	–	12,80	29,80	–


Annexe I EPAISSEURS ANTI-CONDENSATION
LIEGE EXPANSE PUR _ POLYSTYRENE EXPANSE
MOUSSES PHENOLIQUES _ POLYURETHANNE
(D'APRES J.P. MERZI _ WANNER-ISOFI-ISOLATION)
CONDITIONS: _ ZONE D'UTILISATION θi < -50°C (TENIR COMPTE DE LA TEMPERATURE LIMITE D EMPLOI DE L'ISOLANT)
_INSTALLATIONS SITUEES A L'AIR LIBRE OU DANS DES LOCAUX LEGEREMENT VENTILES
he = 6 k cal/m².h.°c
_ISOLATION CONVENABLEMENT POSEE ET PARE-VAPEUR DE TRES BONNE QUALITE
EXEMPLE : ∅ : 121 θi : -100°C θe : 20°C HR : 80%
ISOLATION EN LIEGE EXPANSE PUR ①
TRAIT MIXTE A.B.C.D.E.
EPAISSEUR ANTI CONDENSATION 123mm (ARRONDI A 130)
HR 80%
HR 70%
θe 30° 20° 10°
A
B
C
D
E
θi
-10° -20° -30°
① LIEGE
② POLYSTYRENE ou MOUSSES PHENOLIQUE
③ POLYURETHANNE JUSQU'A - 70°C
④ POLYURETHANNE AU DESSOUS DE - 70°C
PAROI PLANE
-200 -150 -100 -50 0 +10
TEMPERATURES INTERIEURES DE LA TUYAUTERIE EN °C = θi
0 20 40 60 80 100 120 160 180 200 300 320 340 360 380 400
EPAISSEUR MINIMUM ANTI CONDENSATION EN mm
Annexe n°10

Annexe XI EPAISSEURS ANTI-CONDENSATION

LIEGE EXPANSE PUR _ POLYSTYRENE EXPANSE MOUSSES PHENOLIQUES _ POLYURETHANNE

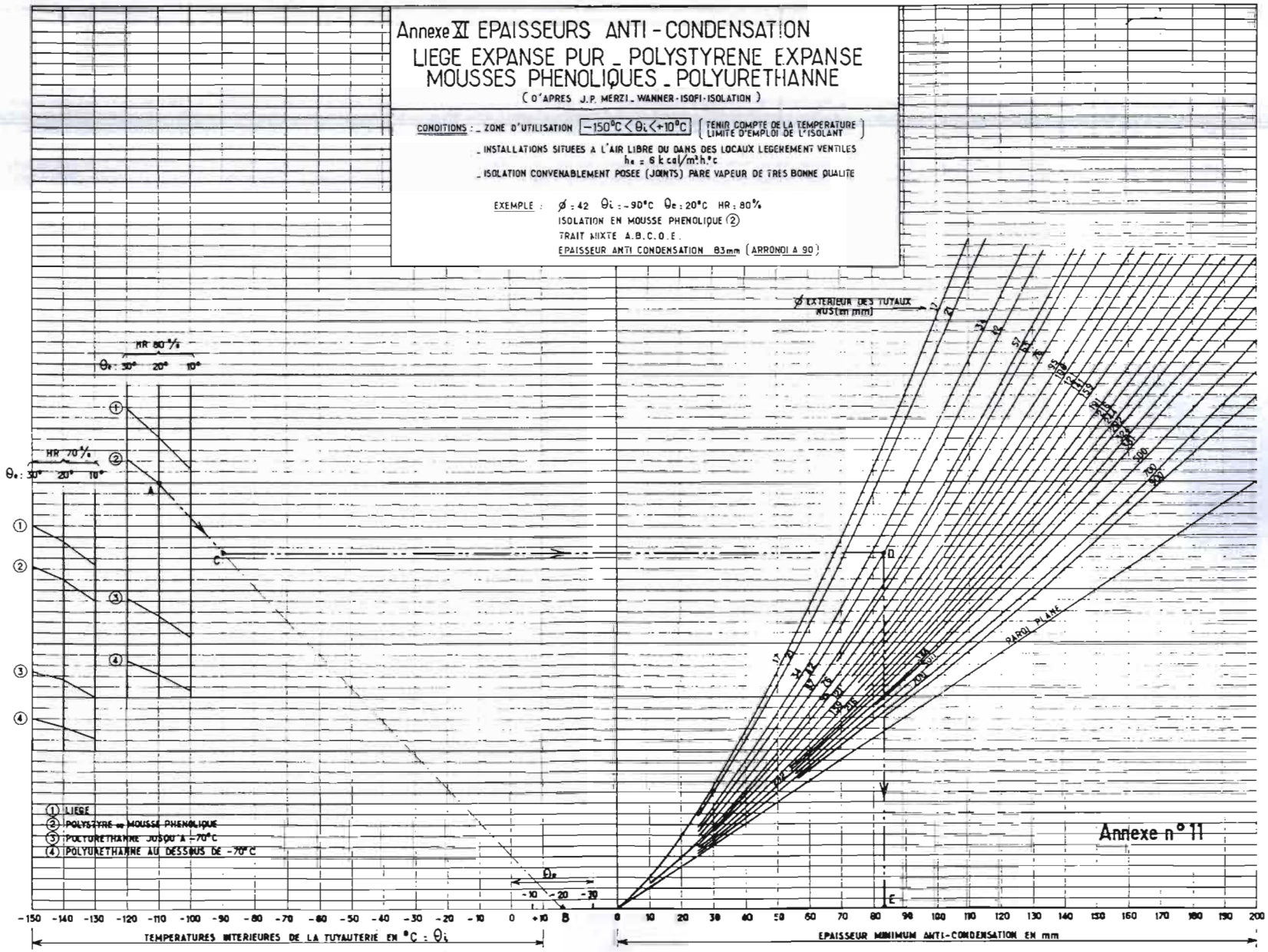
(D'APRES J.P. MERZI _ WANNER-ISOFI-ISOLATION)

CONDITIONS : _ ZONE D'UTILISATION $-150°C < \theta_i < +10°C$ (TENIR COMPTE DE LA TEMPERATURE LIMITE D'EMPLOI DE L'ISOLANT)

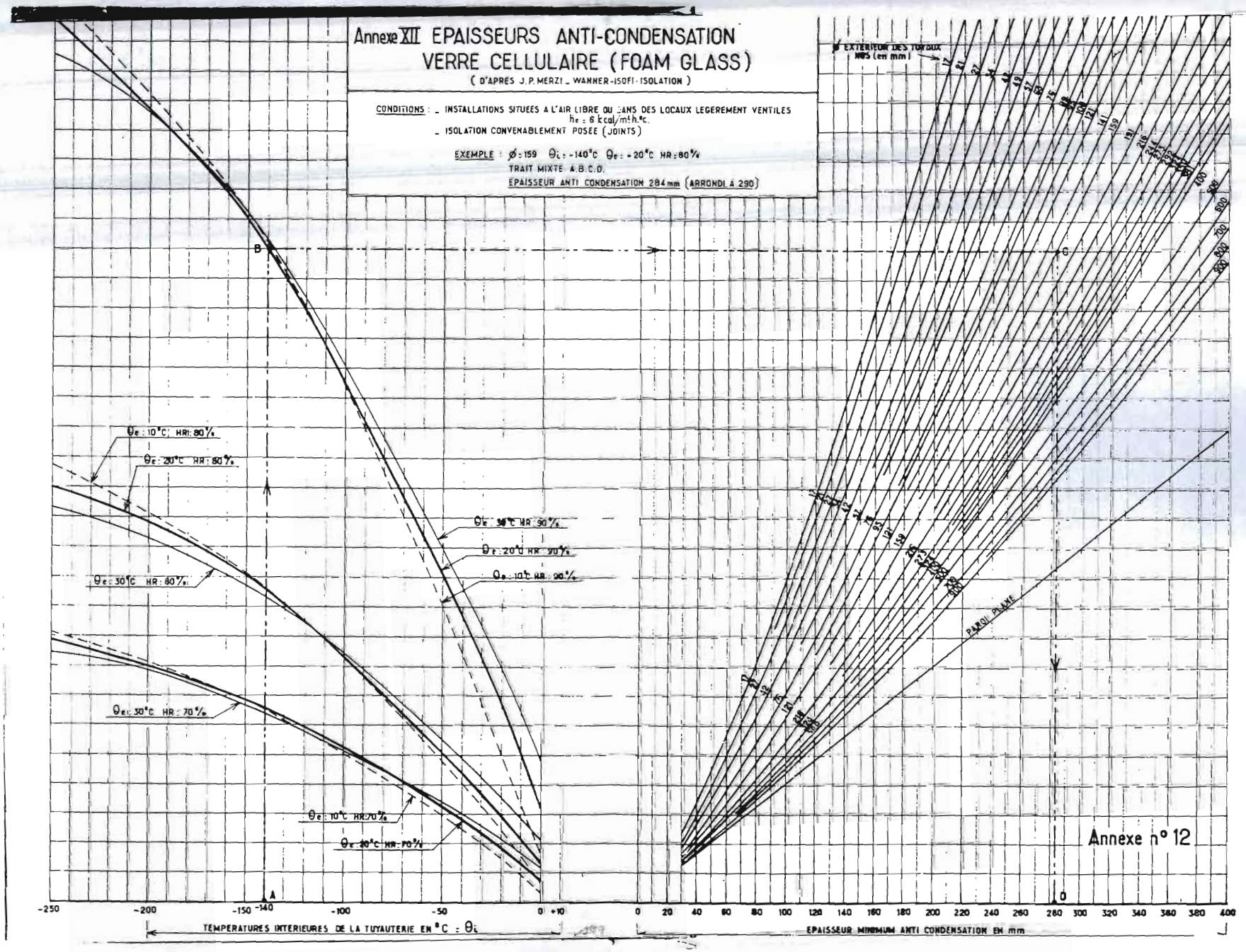
_ INSTALLATIONS SITUEES A L'AIR LIBRE OU DANS DES LOCAUX LEGEREMENT VENTILES
$h_e = 6$ k cal/m².h.°c

_ ISOLATION CONVENABLEMENT POSEE (JOINTS) PARE VAPEUR DE TRES BONNE QUALITE

EXEMPLE : $\varnothing = 42$ $\theta_i = -90°C$ $\theta_e = 20°C$ HR : 80 %
ISOLATION EN MOUSSE PHENOLIQUE ②
TRAIT MIXTE A.B.C.D.E.
EPAISSEUR ANTI CONDENSATION 83mm (ARRONDI A 90)



Annexe n° 11


Annexe XII EPAISSEURS ANTI-CONDENSATION
VERRE CELLULAIRE (FOAM GLASS)
(D'APRÈS J.P. MERZI - WANNER-ISOFI-ISOLATION)
CONDITIONS : - INSTALLATIONS SITUEES A L'AIR LIBRE OU DANS DES LOCAUX LEGEREMENT VENTILES
h_e = 6 kcal/m²h.°c.
- ISOLATION CONVENABLEMENT POSEE (JOINTS)
EXEMPLE : ∅ = 159 θ_i = -140°C θ_e = +20°C HR = 80%
TRAIT MIXTE A.B.C.D.
EPAISSEUR ANTI CONDENSATION 284 mm (ARRONDI A 290)
Ø EXTERIEUR DES TUYAUX NUS (en mm)
θ_e : 10°C HR: 80%
θ_e : 20°C HR : 80%
θ_e : 30°C HR : 80%
θ_e : 30°C HR : 90%
θ_e : 20°C HR : 90%
θ_e : 10°C HR : 90%
θ_e : 30°C HR : 70%
θ_e : 10°C HR : 70%
θ_e : 20°C HR : 70%
PAROI PLANE
A
B
C
D
-250 -200 -150 -140 -100 -50 0 +10
TEMPERATURES INTERIEURES DE LA TUYAUTERIE EN °C : θ_i
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400
EPAISSEUR MINIMUM ANTI CONDENSATION EN mm
Annexe n° 12