



ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGÉNERIE DE FORMATION

VERSION EXPERIMENTALE

RESUME THEORIQUE

&

GUIDE DE TRAVAUX DIRIGES

MODULE N°:19

CONCEPTION DES CHAMBRES FROIDES

SECTEUR : FROID ET GENIE THERMIQUE

**SPECIALITE : TECHNICIEN EN FROID COMMERCIAL ET
CLIMATISATION**

NIVEAU : TECHNICIEN

JUILLET 2003

Remerciements

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce Module de formation.

Pour la supervision :

GHRAIRI RACHID : Chef de projet du Secteur Froid et Génie Thermique

BOUJNANE MOHAMED : Coordonnateur de C D C du Secteur Froid et Génie Thermique

Pour l'élaboration :

Mr. Fouad BOUZAD

ISTA SAFI I

Pour la validation :

- **MR : Abdelilah MALLAK** : Formateur à l'ISGTF
- **MR: Mohamed BARZI** : Formateur à l'STA1 Marrakech
- **MR :Mustapha BRAHIMI** : Formateur à l' ISTA H. Ennahda Rabat
- **MR : Samir BELAID** : Formateur à l'ISTA Kénitra
- **MR. Lahcen TABATI** : Formateur à l'ISTA Kénitra
- **MR: Hassan BEZZAZ** : Formateur à l'STA1 Marrakech

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

**Monsieur Said SLAOUI
DRIF**

SOMMAIRE

	Page
<i>Présentation du module</i>	6
<i>Résumé de théorie</i>	
I. <i>Calcul du volume de la chambre froide</i>	8
I.1. <i>Condition d'entreposage des produits</i>	
I.2. <i>Condition climatique extérieur des villes du MAROC</i>	
I.3. <i>Calcul du volume de la chambre</i>	
II. <i>Détermination de l'épaisseur de l'isolation</i>	12
II.1 <i>Différents mode de transmission de la chaleur</i>	
II.2. <i>Coefficient de transmission thermique global</i>	
II.3. <i>Différents types d'isolant</i>	
II.4. <i>Evolution de la température à travers une paroi isolée</i>	
II.5. <i>Calcul de l'épaisseur de l'isolant</i>	
III. <i>Bilan thermique d'une chambre froide .</i>	31
III.1 <i>Nature des entrées de chaleur</i>	
III.2 <i>Apports par les parois</i>	
III.3 <i>Apports dus aux introductions des denrée.</i>	
III.4 <i>Apports dus au renouvellement d'air .</i>	
III.5 <i>Apports thermiques intérieur</i>	
III.6 <i>Bilan journalier</i>	
III.7. <i>Puissance frigorifique global</i>	
III.8 <i>puissance frigorifique à installer</i>	
III.9. <i>temps moyen de fonctionnement de l'installation</i>	
III.10. <i>donnes pour établir un bilan thermique</i>	
III.11. <i>Annexes : tableaux</i>	
IV. <i>Bilan Energétique</i>	52
IV.1. <i>Cycle frigorifique sur le diagramme enthalpique</i>	
IV.2. <i>Calcul du volume balayé du compresseur</i>	
IV. 3 <i>Calcul du travail développé par le compresseur</i>	
IV. 4 <i>Coefficient de performance de la machine</i>	
V. <i>Sélection des équipements</i>	54
VI. <i>Listes de matériels nécessaires</i>	55
<i>Evaluation de fin de module</i>	
<i>Liste bibliographique</i>	
<i>Annexes</i>	

MODULE :

Conception des chambres froides

Durée :120 heures

70% : théorique

30% : Travaux dirigées

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit préparer les éléments nécessaires pour la conception d'une chambre froide selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent

CONDITIONS D'EVALUATION

- A partir du thème du projet.
- Selon les besoins du client.

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Choix approprié de l'isolant
- Calcul précis du bilan thermique
- Calcul précis de l'épaisseur de l'isolation
- Calcul précis du volume de la chambre froide
- Sélection et dimensionnement adéquate des équipements
- Calcul précis du bilan énergétique

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT****PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU****CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- | | |
|--|---|
| <p>A. Calculer le volume de la chambre froide</p> <p>B. Déterminer l'épaisseur de l'isolation d'une chambre froide</p> <p>C. Calculer le bilan thermique d'une chambre froide</p> <p>D. Effectuer le bilan énergétique d'une installation (calculer le coefficient de performance de l'installation d'une chambre froide)</p> <p>E. Sélectionner et dimensionner les équipements de l'installation</p> <p>F. Réaliser les listes de matériels sélectionner</p> | <ul style="list-style-type: none">• Exactitude des dimension de la chambre froide<ul style="list-style-type: none">▪ longueur▪ largeur▪ hauteur interne et externe▪ hauteur utile▪ surface d'entreposage▪ volume utile• Epaisseur exacte de l'isolation des :<ul style="list-style-type: none">▪ murs▪ sol▪ plafond• Calcul exacte des apports thermiques :<ul style="list-style-type: none">▪ des produits▪ des parois : murs, sol et plafond▪ exploitations : éclairage, manutention et autres ..▪ autres ..• Calcul exacte du volume balayé• Calcul exacte du travail fourni pour produire du froid• Calcul exacte du coefficient de performance de l'installation (COP)• Choix pertinent des équipements d'une installation d'une chambre froide :<ul style="list-style-type: none">▪ équipements frigorifiques▪ appareillage électrique▪ appareils annexes u• Réalisation exacte des listes de matériels sélectionnés<ul style="list-style-type: none">▪ équipements frigorifiques▪ appareillages électriques |
|--|---|

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-PERCEVOIR OU SAVOIR-ETRE JUGES PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à calculer le volume de la chambre froide le stagiaire doit :

1. . connaître les conditions d'entreposage des produits
2. connaître les .condition climatique des villes du MAROC

Avant d'apprendre à déterminer l'épaisseur de l'isolation d'une chambre froide, le stagiaire doit :

3. . connaître différents mode de transfert de la chaleur
4. connaître différent .coefficient de conductibilité thermique des principaux matériaux
5. connaître. différent coefficient de conductivité thermique des fluides
6. connaître différent isolant thermique utilisé dans la construction des chambres froides

Avant d'apprendre à effectuer le bilan thermique d'une chambre froide le stagiaire doit :

7. .avoir des notions de quantité de chaleur

Avant d'apprendre à effectuer le bilan énergétique d'une installation le stagiaire doit :

8. . savoir exploiter du diagramme de MOLLIER

Avant d'apprendre à sélection des équipements le stagiaire doit :

9. .connaître les critères de sélection des équipements
10. savoir utiliser la documentation des constructeurs

Avant d'apprendre à sélection des équipements le stagiaire doit :

11. .savoir formuler des bons de commande

COMPETENCE :

Réaliser la conception des chambres froides

PRESENTATION :

- Ce module de compétence particulière se déroule selon le planning de formation..

DESCRIPTION :

L'objectif de ce module est de faire acquérir la maîtrise de la conception des chambres froides .

CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT :

- Clarté
- Explication exacte et logique des éléments nécessaires pour la conception des chambres froides
- Détermination de l'ensemble des supports calorifiques
- Calcul du bilan énergétique
- Sélection des organes de l'équipement

Fiche de répartition du module par précisions

Durée Totale :36h

Evaluation :2h

Module : Conception des Chambres Froides

I. Calcul du volume de la chambre froide**I.1. Conditions d'entreposage des produits et condition climatique extérieure :****Tableau N° 1 : densité d'entreposage des différentes marchandises en chambre froide (non palettisées)**

Nature des marchandises	Densité moyenne en Kg/m² de surface brute sur 1m de haut	Hauteur de gerbage en m Hg	Densité moyenne en Kg/m²	Observations
		H (salle) : Hg + 0,50m	H salle : 3,25 à 3,50 H empilage 2,50 à 2,75	D'après Vassogne
Viandes fraîches (voir pour détail tableau n° 49)				
- en ½ carcasses : bovins.....			250 à 400 Kg	Accrochées sur rail à H = 4,00m
...			150 à 200 Kg	H = 2,60 à 3,00m
- en quartiers : bovins.....			150 à 200 Kg	H sur rail BN 2,5 à 3 ou sur crochets
.....			120	-
- petit bétail : moutons.....			180 à 300	-
.....			150	
- Veaux				
- Porcs				
Divers en cases grillagées				
Viandes congelées				
- en vrac : gros bétail	330	2,50 à 3,00		
- moutons	250	2,50 à 3,00		
- désossées en caisses	600	4,80		Caisses Intendance 65 × 35 × 18 P = 25 kg
Volailles – Gibiers				
- fraîches en paniers	150 à 200	3,00		
- congelées en caisses	250 à 345	3,00 à 3,70		
- en caisses de 20 à 25 poulets	310 à 350	3,00 à 3,70		
Charcuterie				
- saucissons frais	200			5 couches superposées 40 à 50kg par couche H salle : 4,00 à 4,50
- salaison humide			500	H = 3,00
- jambons frais			600	H = 3,00
- jambons secs			500	H = 3,00
- jambons en cuves				
Abats				
- accrochés			150 à 250	H = 3,00
- sur crochets disposés sur chariot au sol			250 à 300	

Oeufs				
- frais.	1 800 oeufs	4,00		
- en caisses à alvéoles			2 600 à 3000 oeufs	<i>En canadienne</i>
- en caisses d'origine			2 640 oeufs	10 000 œufs = 2,8 m ²
- congelés en bidons	700 kg	3,00	3 600 œufs	
- congelés en plaques et mis en cartons standards...	650			
.....				
Fruits				
- en billots	250			
- en cagettes	300			
- pêches en plateaux normalisés...	250	4,00		
- abricots en plateaux	200	3,00		
Fruits congelés				
- cagettes de 10 kg	100	3,50		
- cartons de 30 kg	100	3,50		
- fruits congelés	500	4,80		
Agrumes	350	4,50		
	245 à 250			
- poires (en caisses)	300	4,50		
- pommes (en caisses)	250	4,50		
- dattes et figues	430	4,00	1 600	H = 4,00
- châtaignes couplées en sacs	345 à 360	3,00		
Légumes				
- frais			600	H = 3,00
- secs			1 000	H = 3,00
- artichauts et choux-fleurs (en paniers)	195	2,00		
- pommes de terre (en sacs)	280	2,00		
- bulbes à fleurs (en plateaux)	175	2,50		
- oignons (en sacs)	250	3,00	750	H = 3,00
.....				
Fruits sur navire				
- bananes en caisses			750	
- en cales	200			
Poissons		2,00		
- frais en glace.....	300			100 kg de glace pour 300 kg de poissons, glace en plus pouvant atteindre 100 kg de glace pour 150 kg de poissons dans les pays tropicaux

I.2. Condition Climatique Extérieur des Villes du MAROC

AICVM

CONDITIONS CLIMATIQUES DE BASE

MAROC

Groupement du Maroc Fréquence : 10 jours par an Mise à jour juillet 1984

Ville	Altitude Latitude Longitude		Eté			Hiver	
			Ts	Th	Amplitude Journalière	Ts	Amplitude Journalière
Agadir	19 30°23' 9°34'	m N W	35°	22,8°	6,1°	4°	9,4°
Al Hoceima	13,6 35°11' 3°51'	m N W	32°			6°	
Casablanca	58,4 33°34' 7°40'	m N W	29°	23,5°	7°	5°	9,3°
Essaouira	78 31°31' 9°47'	m N W	26°			9°	
Fès Saïs	578,7 33°56' 4°59'	m N W	39°	24,1°	16,6°	1°	8°
Ifrane	563,7 33°30' 5°10'	m N W	32°			5°	
Kasba Tadla	504,2 32°36' 5°15'	m N W	43°			2°	
Kénitra	15,4 34°18' 5°36'	m N W	33°		9,1°	3°	9,7°
Larache	48,9 35°11' 5°08'	m N W	34°			4°	
Marrakech	465,7 31°37' 3°02'	m N W	42°	24,4°	16,9°	3°	10,8°
Meknès	549,4 33°53' 5°32'	m N W	38°	24,1°	13,8°	2°	7,9°
Midelt	1515 32°41' 4°44'	m N W	35°		16,3°	2°	10,5°
Nouasseur	199,3 33°20' 7°36'	m N W	34°	23,5°	12,4°	3°	11,7°
Ouarzazate	1136 30°56' 6°54'	m N W	40°	20,7°	15,2°	1°	12,3°

Oujda	459,9 34°48° 1°56°	m N W	37°	24°	15,8°	0°	11,4°
Rabat	65 34°00° 6°50°	m N W	32°	23,5°	9,3°	5°	9°
Safi	44,7 32°17° 9°14°	m N W	35°	22,5°	10,2°	4°	10,1°
Tanger	14,7 35°43° 5°54°	m N W	32°	23,8°	9,5°	5°	6,8°
Taza	510 34°13° 4°00°	m N W	39°			2°	
Tetouan	451 35°35° 5°24°	m N W	33°	23,5°	9°	5°	7,6°

I.3. Calcul de volume

$$V_{ch} = E/g_v \text{ (m}^3\text{)}$$

V_{ch} : volume de charge

E : Capacité de la chambre (T)

g_v : coeff de charge T/m³.

Viande congelée	g_v	=	0,35 T/ m ³ .
Viande suspendu	g_v	=	0,25 T/ m ³
Poisson en caisse	g_v	=	0,45 T/ m ³
Beurre	g_v	=	0,70 T/ m ³
Œuf	g_v	=	0,26 T/ m ³
Pomme en caisse	g_v	=	0,36 T/ m ³
Orange	g_v	=	0,45 T/ m ³

$$F_{ch} = V_{ch}/H_{ch}$$

F_{ch} = surface de charge

H_{ch} = hauteur de charge (0,5 à 0,6 m entre plafond et charge)

$$F_{CF} = F_{ch}/\beta$$

F_{CF} = surface réelle de la C.F.

β = coeff d'utilisation

Pour : 100m² → 0,70 à 0,75

100 - 400m² → 0,75 à 0,80
 400 m² → 0,80 à 0,85

II. Détermination de l'épaisseur de l'isolation

II.1. Différents modes de transmission de la chaleur.

a. Modes de transmission de la chaleur

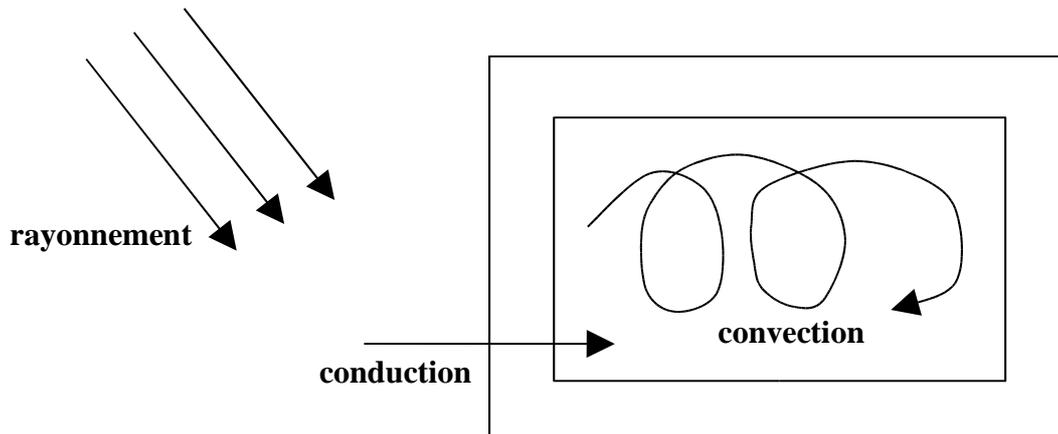
Entre deux corps, de température, se produit un flux thermique : l'énergie calorifique est transportée du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

La transmission de chaleur s'effectue de trois façons :

Par conduction : la chaleur se propage des régions les plus chaudes vers les régions les plus froides sans déplacement apparent de la matière.

Par convection : tout corps porté à une température émet un rayonnement qui transporte de l'énergie calorifique et qui peut se propager dans le vide absolu.

Par rayonnement : Tout corps porté à une température émet un rayonnement qui transporte de l'énergie calorifique et qui peut se propager dans le vide absolu.



b. Transmission de la chaleur par conduction

b.1. Mécanisme

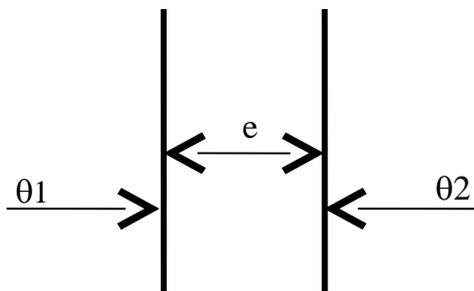
La transmission de chaleur par conduction a lieu dans un seul et même corps lorsque ses parties présentent des températures différentes. Si nous plongeons l'extrémité d'une tige d'acier dans un foyer la température de la tige serait régulièrement décroissante de l'extrémité chaude à l'extrémité froide. Les particules portées à haute température sous l'action de la flamme réchauffent les particules voisines plus froides en se refroidissant. Il y a propagation de la chaleur de proche en proche à travers le métal sans déplacement de matière. L'effet du chauffage ne devient sensible à l'extrémité froide que si celui-ci dure suffisamment longtemps.

b.2. Coefficient de conductibilité

Tout matériau permettant la propagation de la chaleur par conduction est dit conducteur thermique. Les métaux sont tous de bons conducteurs thermiques. L'argent, le cuivre et l'aluminium étant parmi les meilleurs. Par contre d'autres corps offrent une grande résistance à la propagation de la chaleur par conduction. Ce sont les isolants thermiques.

Tous les corps qui emmagasinent de l'air comme, le duvet, la laine, les fourrures, le liège, les laines minérales, les matériaux expansés (polystyrènes et polyuréthane) sont aussi des isolants thermiques. Assurant la jonction entre les conducteurs thermiques et les isolants thermiques nous trouverons beaucoup d'autres corps tels que les bois, le verre, la porcelaine, de nombreuses matières plastiques, qui sans être des isolants thermiques propagent beaucoup moins la chaleur que les métaux.

Ces considérations nous amènent à conclure que, de même que chaque corps possède une chaleur massique qui lui est propre et qui permet de déterminer la quantité d'énergie calorifique qu'il faut lui fournir pour faire varier sa température, chaque corps offre à la propagation de la chaleur une résistance qui lui est propre, et il doit être possible de déterminer pour chacun d'eux la quantité de chaleur qu'il transmettra dans des conditions déterminées. Cette quantité de chaleur dépend du coefficient de conductibilité λ du corps considéré.

b.3. Loi de Fourier

Si l'on considère un mur plan, de section S , d'épaisseur e et de coefficient de conductibilité λ , dont les deux faces sont portées à des températures θ_1 et θ_2 , la puissance thermique Q le traversant est donné par la relation de Fourier.

$$Q = \lambda \cdot (S/e) \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

Q	λ	S	e	$\theta_1 - \theta_2$
W	$W/m \cdot ^\circ C$	m^2	m	$^\circ C$
$kcal/h$	$kcal/m \cdot ^\circ C \cdot h$	m^2	m	$^\circ C$

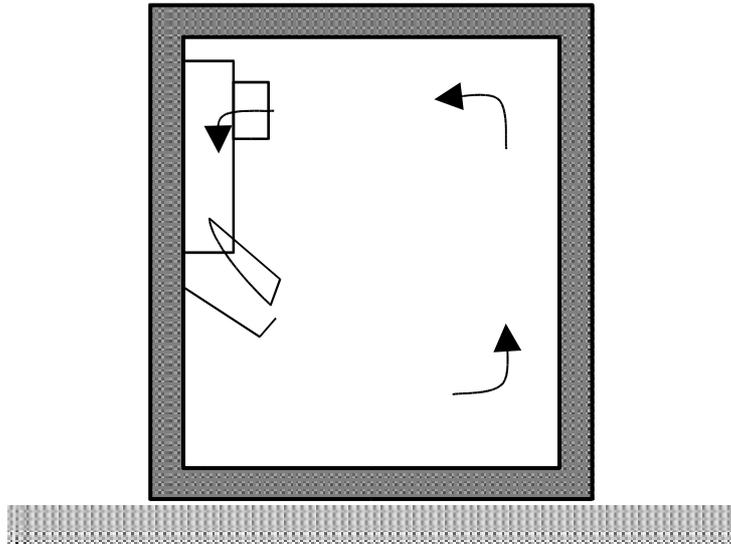
Définition :

Le coefficient λ représente la quantité de chaleur, par mètre carré, traversant un 1 mètre d'épaisseur de « corps » ou de fluide, pour une différence de température de $1^\circ C$ entre les faces de ce corps ou de ce fluide pendant 1h.

c. Transmission de la chaleur par convection**c.1. Mécanisme**

Dans les fluides (liquides ou gaz) les différences de température régnant au sein de la masse du fluide provoquant des variations de densité. Ces différences de densité provoquent au sein même du fluide des mouvements de convection, qui ont pour effet de tendre à égaliser les températures des divers points de la masse fluide par substitution réciproque de particules du fluide au contact des surfaces solides qu'il baigne. Elles s'y réchauffent ou s'y refroidissent suivant que la température de la paroi est supérieure ou inférieure à la température moyenne du fluide.

Les mouvements de convection sont donc des facteurs essentiels de transmission de chaleur entre un solide et un fluide.



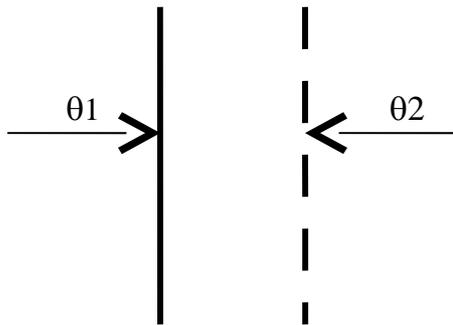
Les mouvements de convection pouvant être naturels ou provoqués artificiellement nous distinguerons la convection naturelle et la convection forcée.

Il y aura convection naturelle si les mouvements du fluide sont engendrés uniquement par les différences de densité dues aux différences de températures régnant au sein de la masse fluide. Ces mouvements sont généralement lents. Il y a convection forcée lorsque les mouvements sont engendrés par des actions extérieures telles que l'action d'un ventilateur ou le tirage d'une cheminée. Ils seront donc plus ou moins rapides.

c.2. Coefficient de convection

Le flux calorifique transmis par convection entre un solide et un fluide qui le baigne dépend de nombreux facteurs : différence de température entre fluide et paroi, vitesse de déplacement du fluide, conductivité, viscosité, masse, chaleur massique du fluide, nature, forme, dimension de la paroi. Les lois de la transmission par convection α est défini comme étant :

La quantité de chaleur qui passe en une heure d'une surface de un mètre carré au milieu ambiant lorsque la différence de température entre la surface et le milieu ambiant est de un degré Celsius.

c.3. Loi de Newton

Si on considère une surface S à la température uniforme θ_1 en contact avec un fluide dont le coefficient de convection est α , la puissance thermique Q échangée entre le fluide et la surface est donné par la relation de Newton :

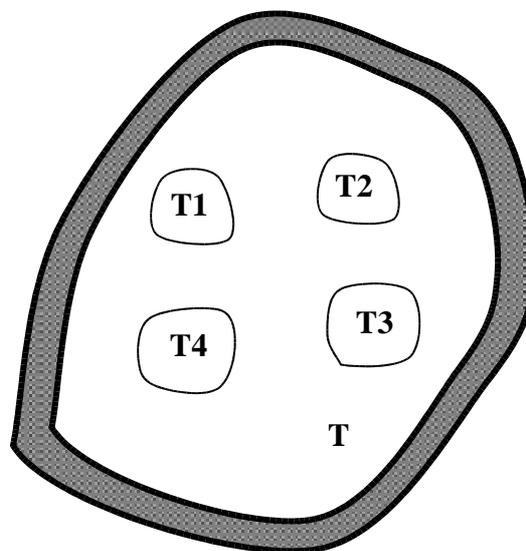
$$Q = \alpha (\theta_1 - \theta_2) S$$

Q	α	S	$\theta_1 - \theta_2$
W	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	m^2	$^\circ C$
$kcal/h$	$kcal/m^2 \cdot ^\circ C \cdot h$	m^2	$^\circ C$

d. Transmission de la chaleur par conduction**d. 1. Mécanisme :**

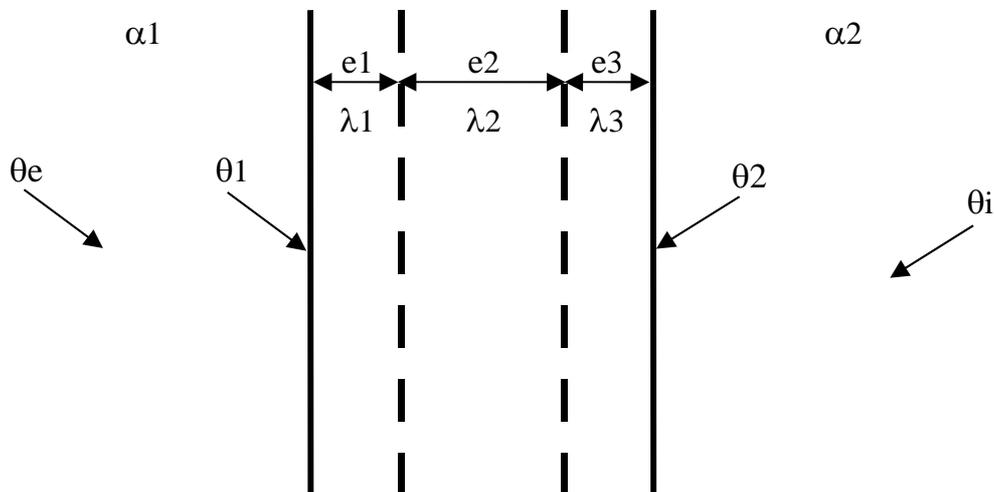
Considérons une enceinte fermée où règne le vide absolu, parfaitement calorifugée extérieurement et contenant quatre corps aux températures absolues T_1, T_2, T_3, T_4 , la paroi étant à la température initiale T .

Nous constatons au bout d'un certain temps que toutes les températures sont identiques.



La chaleur s'est échangée sans intermédiaire matériel. Il y a eu rayonnement thermique. Tous les corps émettent à toute température un rayonnement thermique. Ce rayonnement se transmet en ligne droite dans l'espace et peut être absorbé par un autre corps matériel. La partie non absorbée du flux calorifique est réfléchiée par le corps récepteur. C'est par rayonnement que nous parvient la chaleur du soleil ; les rayons thermiques traversant les espaces intersidéraux sans être absorbés. L'énergie calorifique rayonnée par un corps dépend de sa température et de l'état de sa surface extérieure. Les divers corps se comportent de manière très différentes vis-à-vis de l'émission, ou de l'absorption du rayonnement solaire par exemple : certains corps sont très absorbants, le « corps noir » absorbe intégralement toute l'énergie où il reçoit. Certains corps sont très réfléchissants, par exemple, l'aluminium poli.

II.2. Coefficient de transmission thermique global



Considérons un mur de surface S constitué de trois éléments distincts d'épaisseur respective e_1 , e_2 et e_3 et de coefficient de conductibilité λ_1 , λ_2 et λ_3 . Les deux parois extérieures portés aux températures θ_1 et θ_2 sont en contact avec deux fluides dont les coefficients de convection sont α_1 et α_2 . La puissance thermique échangée entre les deux fluides est donnée par la relation générale :

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta\theta$$

avec $\Delta\theta = \theta_e - \theta_i$

K est le coefficient global d'échange dont les unités sont : $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ou $kcal/m^2 \cdot ^\circ C \cdot h$
Il se calcule avec la formule suivante :

$$K = 1 / [(1/\alpha_1) + (e_1/\lambda_1) + (e_2/\lambda_2) + \dots + (e_n/\lambda_n) + (1/\alpha_2)]$$

II.3 Différents types d'isolants

(Coefficient de conductibilité thermique λ)

Les isolants calorifiques sont des matériaux mauvais conducteurs de chaleur. Dans la technique du froid ils sont utilisés pour réduire les apports de chaleurs, en provenance de l'extérieur, vers les enceintes à basse température (Chambre froides, réservoirs de liquides à basse température, canalisation froide, etc.)

COEFFICIENT DE CONDUCTIBILITE THERMIQUE DES MATERIAUX :

TYPE	ρ (kg/m ³)	λ	
		W / m. C	Kcal/m.h. C

1,31. Pierres et terre comprimée (1)

1,311. Pierres lourdes.

Granites-----	2500 < ρ < 3000	3,5	(3,0)
Gneiss-----	2400 < ρ < 2700		
Basaltes-----	2800 < ρ < 3000	2,9 2,1	(2,5) (1,8)
Silex-----	2600 < ρ < 2800		
Porphyries-----	1400 < ρ < 2600	2,9 22	(2,5) (1,9)
Laves-----	2100 < ρ < 2400	1,7 1,4	(1,5) (1,2)
Ardoise-----	2700	1,05	(0,9)
		0,95	(0,8)

1,312. Pierres calcaires.

Classées suivant la norme NF B 10-101

-Pierres froides (marbre)-----	< ρ < 2590 2500 < ρ < 2580		
-Pierres dures-----	2160 < ρ < 2340		
-Pierres fermes-----	1840 < ρ < 1650	1,05	(0,9)
-Pierres fermes-----	1650 < ρ < 1840		
-Pierres tendres n° 3-----	1470 < ρ < 1640		
-Pierres tendres n° 2-----		1,15	(1,0)

1,313. Grès et meulières.

Provisoirement les caractéristiques des grès et des meulières seront considérées comme identiques à celles des pierres calcaires de même masse volumiques.

Les grès courants correspondent aux calcaires durs.
Les meulières courantes correspondent aux calcaires fermes.

1,314. Blocs de terre comprimée.

1,32. Terre cuit.

La masse volumique variant de 1700 à 2100 kg/m³ la conductivité thermique peut varier de 1,0 à 1,35

W/m.°C (0,85 à 1,15 kcal/m.h.°C)

la valeur moyenne à utiliser

est-----

Pour les terres cuites allégées de masse volumique

1700 < ρ < 1900	1,75	(1,5)
	1,4	(1,2)

180 < ρ < 2000	1,15	(1,0)
------------------------	------	-------

inférieure à 1800 kg/m ³ , on se reportera aux documents d'agrément du C.S.T.B.		1,4	(20)
1,33. Bétons	2200 < ρ < 2400	0,8	(0,7)
1,331. Bétons de granulats lourds siliceux, silico-calcaires granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-301.	1700 < ρ < 2100	0,7	(0,6)
1,331.1. Béton plein----- -----	1600 < ρ < 1900		
1,331.2. Béton caverneux----- -----			
toutefois sur une justification d'une composition calcaire d'au moins 50% et d'une masse volumique inférieure à 1900 kg/m³, on adoptera la valeur-----	2200 < ρ < 2400		
1,332. Bétons de granulats lourds de laitier de hauts fourneaux (granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-302) les conductivités thermiques donnée ci-dessous ne sont applicables qu'aux laitiers du Nord et de la Lorraine (indice basicité compris entre 1,2 à 1,4).	2100 < ρ < 2300		
1,332.1. Bétons pleins : -Avec sable de rivière ou de carrière----- -Avec laitier granulé (granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-306)-----	1600 < ρ < 2000		
1,332.2. Bétons caverneux bétons comportant au moins 10% de sable de rivière-----			

TYPE	ρ (kg/m³)	λ	
		W / m.° C	Kcal/m.h. °C

1,333. Bétons de granulats légers.

1,333.1. Béton de pouzzolane ou de laitier expansé à structure caverneuse. Granulats conformes aux spécifications des NF P 18-310 et 18-311.

Masse volumique apparents des granulats en vrac 750 kg/m³ environ :

-Avec éléments fins ou

sable-----

Sans éléments fins, ni

sable-----

1,333.2. Béton de cendres volantes frittées.

Masse volumique apparente des granulats en vrac 650 kg/m³ environ .

1,333.3. Béton de ponce naturelle.

Masse volumique apparente des granulats en vrac 600 kg/m³ environ.

1,333.4. Béton d'argile expansé.

Les valeurs indiquées ci-dessous correspondent à la fabrication de l'usine de Watt en (Nord). Les masses volumiques des granulats sont les suivantes :

Classe 0/3 mm (fines d'argile expansé) 650 kg/m³ + 10%

Classe 3/10 mm : 450 kg/m³ + 10%

Classe 10/20 mm : 400 kg/m³ + 10%

Béton plein avec sable de rivière, sans fines d'argile expansée

Béton plein avec fines d'argile expansée et sable de rivière

Béton plein avec fines d'argile expansée, sans sable de rivière

Béton caverneux (sans fine d'argile expansée, ni sable de rivière) à dosage normal en ciment

Béton caverneux ne nécessitent qu'un faible dosage en ciment

Remarque : Les compositions de béton indiquées ci-dessous sont données à titre indicatif ; en cas de non correspondance entre la composition et la masse volumique sèche on ne tiendra compte, pour fixer la conductivité thermique utile du béton, que de la masse volumique sèche.

1,334. Béton de granulats très légers.

1,334.1. Béton de perlite ou de vermicule grade 3

1400 < ρ	0,52	(0,45)
<1600	0,44	(0,38)
1200 < ρ < 1200	0,35	(0,30)
1000 < ρ < 1200	0,35	(0,30)
1000 < ρ < 1200	0,46	(0,40)
950 < ρ < 1150		
	0,85	(0,75)
	0,7	(0,6)
	0,46	(0,40)
	0,35	(0,30)
1400 < ρ < 1600	0,26	(0,22)
1200 < ρ < 1400		
1000 < ρ < 1200		
800 < ρ < 1000		
600 < ρ < 800		
	0,31	(0,27)
	0,24	(0,21)
	0,21	(0,18)
	0,33	(0,28)
	0,29	(0,25)
	0,26	(0,22)
600 < ρ <	0,23	(0,20)

(de 3 à 6 mm) coulé en place : dosage :3 / 1 dosage :6 / 1	800 400 < ρ < 600		23
1,334.2. Plaques de béton de vermicule fabriqués en usine-----	400 < ρ < 500	0,16	(0,14)
1,365. Bétons cellulaires traités à l'autoclave (confirme aux documents d'agrément du C.S.T.B.) Masse volumique nominale : 800----- Masse volumique nominale : 700----- Masse volumique nominale : 600----- Masse volumique nominale : 500-----	750 < ρ < 850 650 < ρ < 750 550 < ρ < 650 450 < ρ < 550	0,16 0,14 0,12	(0,14) (0,12) (0,10)
1,336. Bétons de bois.			
1,336.1. Béton de copeaux de bois (conforme aux documents d'agrément du C.S.T.B.)----- -----	450 < ρ < 650		
1,336.2. Béton de fibres de bois (fibragglos)	500 < ρ < 600 400 < ρ < 500 300 < ρ < 400		

TYPE	ρ (kg/m³)	λ	
		W / m. C	Kcal/m. h.°C

1,34. Mortiers d'enduits et de joints.	1,15	(1,00)
1,35. Amiante-ciment et amiante-ciment cellulose.		
1,351. Amiante-ciment.	0,95	(0,80)
	0,65	(0,55)
1,352. Amiante-ciment cellulose.	0,46	(0,40)
	0,35	(0,30)
1,36. Plâtres (2).		
1,361. Plâtre sans granulats.		
-« Gâché serré » ou « très serré » (pièces préfabriquées)-----	0,70	(0,60)
-Courant d'enduit-----	0,46	(0,40)
1,362. Plâtre avec granulats légers.		
Perlite tout venant ou vermicule grade 2 (de 1 à 2 mm)	0,34	(0,29)
1 volume pour 1 de plâtre-----	0,26	(0,22)
2 volume pour 1 de plâtre-----		
1,37. Fibres minérales.	0,041	(0,035)
Panneaux semi-rigides et matelas de feutres souples, en laine de roche Ou de verre, d'usage courant dans le bâtiment----		
1,38. Végétaux.		
On caractérise généralement les végétaux par leur densité « normale » ou « nominale », qui est la masse volumique du matériau sec à l'air, correspondant pour les bois naturels à une humidité de 15% en masse		
-Définition et détermination obtenues suivant les spécifications des normes B 51-002 et B51-004	0,23	(0,20)
Cette densité est donc plus élevée que la masse volumique sèche indiquée dans la 2, colonne.	0,15	(0,13)
1,381. Bois naturels définis (3) conformément à la norme NF B 51-002 :	0,15	(0,13)
-Feuillus mi-lourds (chêne, hêtre dur , frêne, fruitiers). Masse volumique	0,12	(0,10)
« normale » 500 à 600 kg/m ³ -----		
-Résineux très lourds (pitchpin). Masse volumique >700 kg/m ³	0,052	(0,045)
-Feuillus légers (tilleul, bouleau, érable, frêne, chêne, hêtre tendre).	0,29	(0,050)
Masse volumique « normale » 500 à 650 kg/m ³ ---		
-Résineux mi-lourds (pin sylvestre, pin maritime).	0,20	(0,18)

Masse volumique « normale » 500 à 600 kg/m ³ -----	0,058	26 750)
-Résineux légers (sapin, okoumé). Masse volumique « normale » 400 à 500 kg/m ³ ----- feuillus très légers (peuplier, okoumé). Masse volumique <500 kg/m ³	0,065	(0,055)
1,382. Bois naturels spéciaux (3) -Balsa----- -Bois lourds-----		
1,383. Panneaux de fibres de bois définis conformément au projet de norme B 51-100 -Panneaux « durs et extra- durs »----- -Panneaux « tendres » dits aussi « isolants »----- -Panneaux « tendres spéciaux » asphaltés dans la masse, dits aussi « isolants spéciaux »-----		
1,384. Panneaux de particules ligno-cellulosiques agglomérés définis conformément au projet de norme B 51-200		

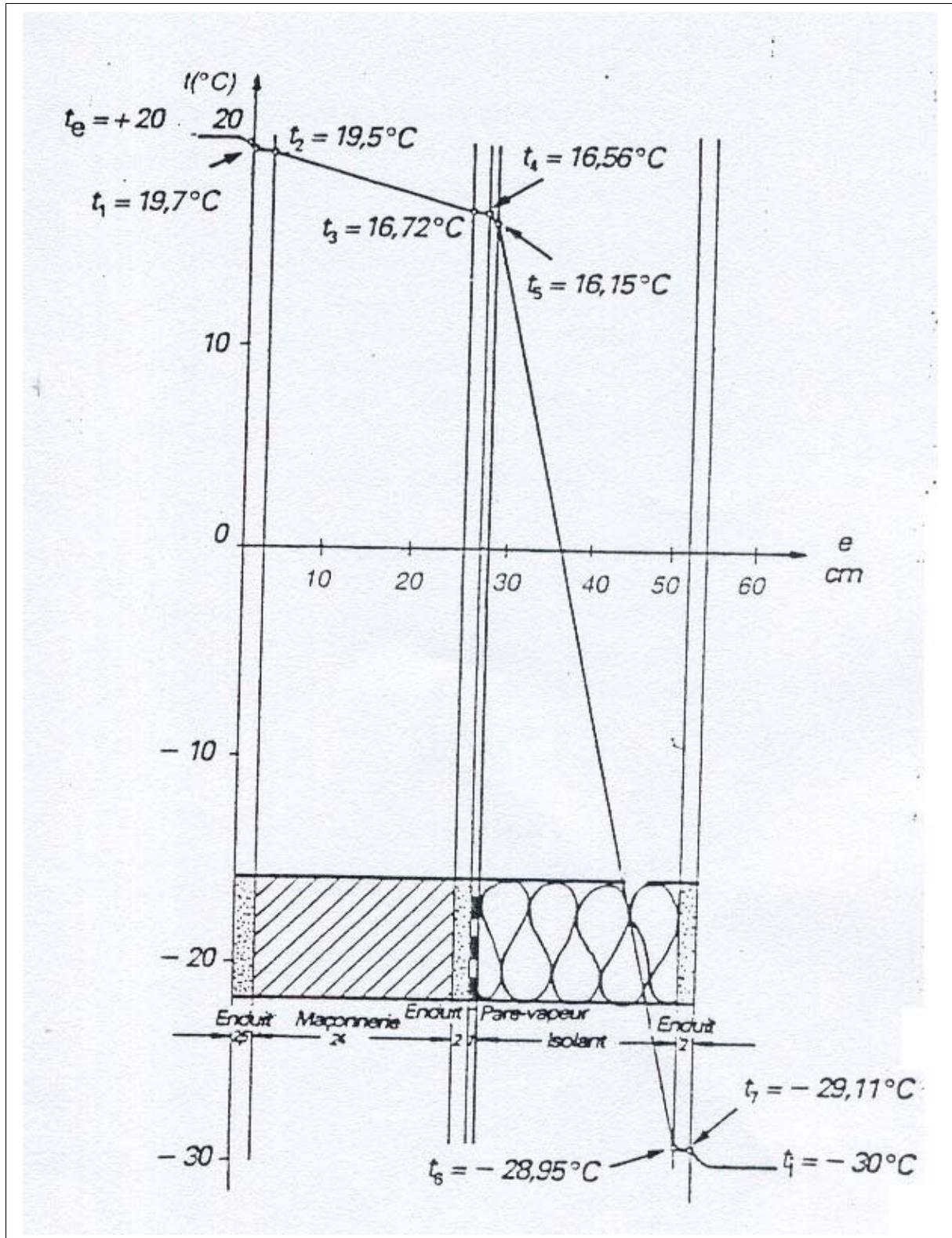
TYPE	ρ (kg/m³)	Λ	
		W / m. C	Kcal/m. h.°C

1,384.1. Panneaux de particules de bois pressés à plat. Masse volumique nominale 600 à 700-----	550 < ρ < 650	0,15	(0,13)
1,384.2. Panneaux de particules de bois extrudés. Masse volumique nominale 600 à 700-----	550 < ρ < 650	0,16	(0,14)
1,384.3. Panneaux de particules de lin. Masse volumique nominale 700-----		0,14	(0,12)
Masse volumique nominale 600-----		0,12	(0,10)
Masse volumique nominale 500-----	600 < ρ < 700	0,10	(0,09)
Masse volumique nominale 400-----		0,055	(0,072)
Masse volumique nominale 300-----	500 < ρ < 600	0,078	(0,063)
1,385. Panneaux contre-plaqués définis conformément à la norme B 50-004 On adoptera comme caractéristiques de ces panneaux celles des bois de même masse volumique	410 < ρ < 500 320 < ρ < 410 230 < ρ < 320	0,10	(0,085)
1,386. Liège.		0,043	(0,037)
-Comprimé-----		0,043	(0,041)
-Expansé pur-----		0,034	(0,037)
-Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétique-----			
1,387. Paille comprimée.	500 100 < ρ <		
1,388. Varech (voir 1,48).	150	0,042	(0,036)
1,39. Matières plastiques alvéoles. Non hygroscopiques, suivant la densité-----	150 < ρ < 250 100 < ρ < 150	0,040 0,037	(0,034) (0,023)
1,3(10) Produits hydrocarburés.		0,70	(0,60)
1,3(10) 1. Asphalte pur----- Asphalte sablé-----		0,15	(1,0)
1,3(10) 2. Bitume Cartons feutres et chapes souples imprégnées---	50 < ρ < 100 25 < ρ < 50 10 < ρ < 25	72	(62)
1,3(11) Métaux		52	(45)
fer pur-----	2100	56	(48)
Acier-----		230	(200)
Fonte-----		160	(140)
-----		380	(330)
Aluminium-----		110	(95)
Duralumin-----	1000 à 1100	35	(30)
Cuivre-----	7870	112	97)
Laiton-----	7780	1,15	(1,0)
Plombe-----	7500	0,19	(0,16)

Zinc-----	2700	0,14	29 12)
	2800	0,14	(0,09)
1,3(12) Verre-----	8930	0,058	(0,050)
	8340		
1,3(13) Vermiculites agglomérées aux silicates-----	11340		
	7130		
1,3(14) Mousse de verre	2700		
1,3(15) Matériaux en vrac			
	400 < ρ <		
	500		
	300 < ρ <		
	400		
	200 < ρ <		
	300		
	50		

TYPE	ρ KG / M ³	λ	
		W / m.°C	Kcal/m.h.°C
<i>Polystyrène classe</i> 1	11	0,044	(0,038)
<i>Moulé</i> ~  3	15	0,042	(0,036)
<i>(Sipror)</i> ~	18		
~ 4	25	0,039	(0,034)
<i>Polystyrène thermo-</i>	14	0,041	(0,035)
<i>Comprimé-soudé</i>	18	0,038	(0,033)
<i>(Uni mat)</i>	23	0,036	(0,031)
<i>Polystyrène extrudé</i>	30	0,035	(0,030)
	38	0,029	(0,025)
<i>P.V.C.</i>	30	0,031	(0,027)
	42	0,034	(0,029)
<i>Polystyrène continu</i>	35	0,029	(0,025)
<i>Polystyrène discontinu</i>	35	0,030	(0,026)
	50	0,033	(0,028)
<i>Polystyrène (valeur provisoire)</i>	30 à 100	0,044	(0,038)
	125	0,050	(0,043)
<i>Mousse de verre</i>	135	0,055	(0,047)
	160	0,063	(0,054)

II.4. Evolution de la Température à Travers une Paroi Isolée



II.5. Exemples de calcul

Dans les trois systèmes d'isolation :

- a) - isolation traditionnelle ;
- b) - isolation intégrée ;
- c) - enceinte métallique étanche,

on trouvera ci-après pour une enceinte-type de 3500 m³ environ, l'évaluation totale des déperditions maxima (c-à-d dans les plus mauvaises conditions d'écart de température) :

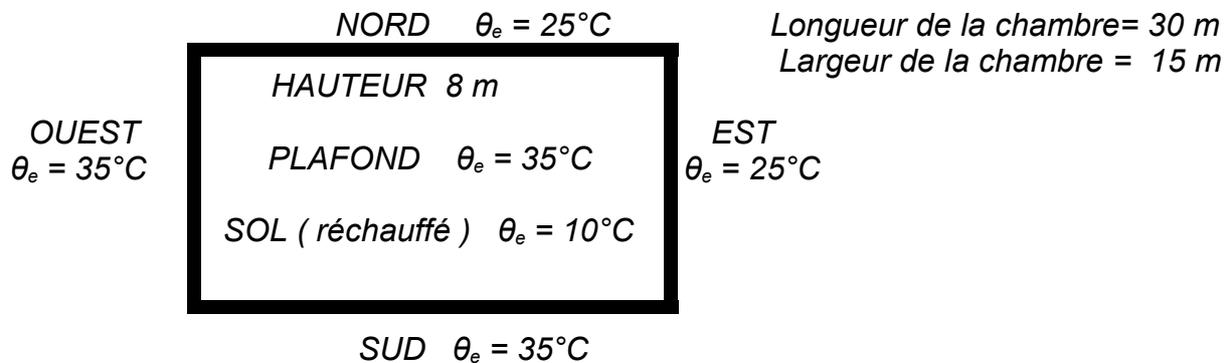
a) Chambre froide classique

Isolée en polystyrène (ou styrofoam)

$\lambda=0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

A partir d'un flux de 7 W/m²

- sol : $\Delta\theta=40^\circ\text{C}$, $e=0,20 \text{ m}$
- plafond : $\Delta\theta= 65^\circ\text{C}$, $e=0,32 \text{ m}$
- murs O et S: $\Delta\theta=65^\circ\text{C}$, $e=0,32 \text{ m}$
- murs E et N : $\Delta\theta=55^\circ\text{C}$, $e=0,28 \text{ m}$



Chambre froide type de 3500 m³ environ à -30°C (surface extérieure totale :1620 m²)

On fait le calcul à partir d'un λ pratique de 0,039 W/(m²K) soit une majoration de 11% environ. Le flux thermique total de déperditions s'établit comme suit :

- plafond :
 $450 \text{ m}^2 \times 65^\circ\text{C} \times (0,039/0,32) \cong 3560 \text{ W}$
 - sol :
 $450 \text{ m}^2 \times 40^\circ\text{C} \times (0,039/0,20) \cong 3510 \text{ W}$
 - murs S et O :
 $360 \text{ m}^2 \times 65^\circ\text{C} \times (0,039/0,32) \cong 2850 \text{ W}$
 - murs N et E :
 $360 \text{ m}^2 \times 55^\circ\text{C} \times (0,039/0,28) \cong 2760 \text{ W}$,
- soit un total de 12680 W.

Il y correspond un flux unitaire moyen de pertes de :
 $12680/1620 = 7,8 \text{ W}/\text{m}^2$.

b) Isolation intégrée, panneaux préfabriqués

On part là d'un λ pratique de $0,025 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ et d'un $\Delta\theta$ uniforme, sur les murs, de valeur moyenne 60°C pour simplifier l'approvisionnement.

L'isolation du sol reste la même :

- plafond : $\Delta\theta = 65^\circ\text{C}$, $e = 0,22 \text{ m}$

- murs : $\Delta\theta = 60^\circ\text{C}$, $e = 0,20 \text{ m}$

Épaisseurs largement supérieures à celles couramment fabriquées. La majoration pratique de λ est alors, il est vrai, un peu plus faible (meilleure continuité de l'isolant fabriqué en usine, réduction des joints).

Le flux total de pertes sera :

- plafond :

$$450 \text{ m}^2 \times 65^\circ\text{C} \times (0,025/0,22) \cong 3320 \text{ W}$$

- sol :

$$450 \text{ m}^2 \times 40^\circ\text{C} \times (0,039/0,20) \cong 3510 \text{ W}$$

- murs S et O :

$$360 \text{ m}^2 \times 65^\circ\text{C} \times (0,025/0,20) \cong 2920 \text{ W}$$

- murs N et E :

$$360 \text{ m}^2 \times 55^\circ\text{C} \times (0,025/0,20) \cong 2480 \text{ W},$$

soit au total : 12230 W.

Il y correspond un flux unitaire moyen de pertes de :

$$12230/1620 = 7,5 \text{ W}/\text{m}^2.$$

c) Enceinte métallique étanche (ISOMETAL)

Murs et plafonds sont isolés en fibre de verre

$$\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m K})$$

- plafond : $e = 0,30 \text{ m}$

$$450 \text{ m}^2 \times 65^\circ\text{C} \times (0,035/0,30) \cong 3410 \text{ W}$$

- sol :

comme précédemment 3510 W

- murs S et O : $e = 0,28 \text{ m}$

$$360 \text{ m}^2 \times 65^\circ\text{C} \times (0,035/0,28) \cong 2930 \text{ W}$$

- murs N et E : $e = 0,28 \text{ m}$

$$360 \text{ m}^2 \times 55^\circ\text{C} \times (0,035/0,28) \cong 2480 \text{ W}, \text{ soit un total de } 12330 \text{ W}.$$

Il y correspond un flux unitaire moyen de pertes de : $12330/1620 = 7,6 \text{ W}/\text{m}^2$.

Toutes ces évaluations ne tiennent compte ni des maçonneries, ni des revêtements, ni des coefficients de transmission externe et interne. Mais comme déjà dit les λ théoriques sont majorés d'environ 10%. Et volontairement, l'isolation n'entre pas en ligne de compte, ces épaisseurs étant à ce jour et malgré une certaine évolution, considérées encore comme excessives par la plupart des utilisateurs (sauf en ce qui concerne les enceintes type Isometal du fait du prix très bas de l'isolant : fibres de verre).

Exercices**1) Calcul de coefficient global de transmission thermique K**

Soit une paroi plane composite et de l'évolution de la température à l'intérieur de la paroi.

Nous partons de l'exemple de la paroi verticale extérieure d'un entrepôt frigorifique traditionnel réalisée de l'extérieur vers l'intérieur comme suit :

- un enduit de protection aux intempéries d'épaisseur $e_1=2,5$ cm et de coefficient de conduction thermique $\lambda_1=0,87$ W/m K ;
- un mur en maçonnerie de brique d'épaisseur $e_2=24$ cm et de coefficient de conduction thermique $\lambda_2=0,60$ W/m K ;
- un enduit intermédiaire d'épaisseur $e_3=2$ cm et de coefficient de conduction thermique $\lambda_3=0,87$ W/m K ;
- un pare-vapeur d'épaisseur $e_4=1$ cm et de coefficient de conduction thermique $\lambda_4=0,17$ W/m K ;
- un isolant thermique (polystyrène expansé) d'épaisseur $e_5=24$ cm et de coefficient de conduction thermique $\lambda_5=0,037$ W/m K ;
- un enduit de protection interne aux chocs d'épaisseur $e_6=2$ cm et de coefficient de conduction thermique $\lambda_6=0,87$ W/m K ($t_{ex}=+20^\circ\text{C}$, $t_{int}=-30^\circ\text{C}$)

Solution : $1/K=1/h_e+\sum e_j/\lambda_j+1/h_{ei}$

h : coefficient d'échange par convection entre l'air et la paroi

Pour un entrepôt frigorifique on estime que h_e est proche de 23 et h_i proche de 8.

On a donc :

$$1/h_e=1/23=0,043 ;$$

$$1/h_i=1/8=0,125.$$

$$\sum e_j/\lambda_j=0,25/0,87+0,24/0,60+0,02/0,87+0,01/0,17+0,24/0,037+0,02/0,87$$

Par conséquent on a $1/K=7,192$ m²K/W, d'où $K=0,139$ W/m²K.

2) Soit une chambre froide de construction dite traditionnelle :

- un mur d'appui en parpaings pleins, d'épaisseur $e_1=0,2$ m et conductivité thermique $\lambda_1=1,15$ W/m²°C ;
- un matériau isolant d'épaisseur $e_2=0,2$ m et $\lambda_2=0,035$ W/m²°C ;
- un induit de ciment d'épaisseur $e_3=0,02$ m et $\lambda_3=1,7$ W/m²°C ;

On considère $\theta_{ext}=25^\circ\text{C}$ et $\theta_{int}=-25^\circ\text{C}$. Admettons respectivement, pour les coefficients de transmission thermique superficiels : $h_{ext}=15$ W/m²°C, et $h_{int}=5$ W/m²°C.

Calculer :

a) la résistance thermique totale de la paroi ;

b) le coefficient global d'échange de cette paroi.

Solution :

a) - pour la convection extérieure : $1/h_{ext}=1/15=6,66 \cdot 10^{-2}$ m²°C/W

- pour le mur d'appui : $e_1/\lambda_1=0,2/1,15=17,39 \cdot 10^{-2}$ m²°C/W

- pour l'isolant : $e_2/\lambda_2=0,2/0,035=571,4 \cdot 10^{-2}$ m²°C/W

- pour l'induit : $e_3/\lambda_3=0,02/1,7=1,18 \cdot 10^{-2}$ m²°C/W

- pour la convection intérieure : $1/h_{int}=1/5=20 \cdot 10^{-2}$ m²°C/W,

donc la résistance thermique totale de la paroi :

$$R_t=(6,66+17,39+571,4+1,18+20) \cdot 10^{-2}=616,63 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2\text{°C/W}$$

b) le coefficient global d'échange de cette paroi :

$$K=1/6,1663=0,162 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

III . BILAN THERMIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE

INTRODUCTION

Le bilan thermique est nécessaire aux calculs d'une installation frigorifique. Cette installation doit être prévue pour conserver des denrées ou autres produits dans de bonnes conditions de stockage, température, hygrométrie, ventilation.

Le bilan thermique permet de déterminer les apports thermiques journaliers. Il faut, afin d'effectuer les calculs, obtenir les éléments nécessaires.

III.1. NATURE DES ENTREES DE CHALEUR

Nous distinguerons les différents apports suivants :

- Apports par les parois
- Introduction des denrées
- Apports dus au renouvellement d'air
- Apports thermiques intérieurs
 - personnel
 - travail des ventilateurs
 - éclairage
 - divers
 - machines

III.2. APPORTS PAR LES PAROIS Q1

a) Généralités

la chaleur se déplace toujours d'un corps chaud vers un corps froid.

Isoler une paroi consiste à freiner le débit du flux thermique.

Pour un écart de température donné le flux thermique au travers d'une paroi est constant.

b) Transfert de chaleur par les parois

$$\Phi = 24 K S \Delta T \times 3,6$$

K : coefficient de transmission $W/m^2\text{°C}$

S : surface en m^2 de paroi

ΔT : écart entre température extérieure et intérieure en °C

24: nombre d'heures par jour

Φ : $\text{kJ}/24\text{h}$

Calcul de la surface :

On prendra toujours les dimensions extérieures.

Calcul du ΔT :

$$\Delta T = T_e - T_i$$

T_i = température intérieure de la chambre froide (température des produits).

T_e = température extérieure aux parois.

Prendre la ou les températures données par le cahier des charges.

Moduler le ΔT en fonction des conditions d'ensoleillement, d'exposition, implantation, couleur.

Pour chaque paroi :

- Les conditions d'exposition ne sont pas identiques.
- Les températures extérieures peuvent être différentes.
- Le coefficient K peut être différent.
- Il faut calculer les déperditions pour chaque paroi.

c) Total des entrées par les parois

$$Q_1 = Q_{10} + Q_{11} + \dots + Q_n$$

Q_n entrée de chaleur pour la paroi n en $KJ/jour$.

Tableau 1 : Températures extérieures

Température extérieure avec exposition principale à l'ombre	+25°C
Température avec exposition principale au soleil	+30°C
Température intérieure	+20°C à +25°C
Cave partiellement enterrée	+20°C
Cave complètement enterrée	+15°C
Sous la toiture d'un bâtiment	+35°C à +40°C
Sol sous une chambre froide	+15°C
Sol contre les murs d'une chambre froide	+18°C

Tableau 2 : Correction à ajouter au ΔT en fonction de la nature et de l'exposition de la surface extérieure.

Nature de la surface extérieure	Est	Sud	Ouest	Toit plat
Parois et toit en couleur foncée	4,4 K	2,8 K	4,4 K	11 K
Surfaces en teintes moyennes, par exemple bois, ciment, colorées en rouge, vert ou gris	3,3 K	2,2 K	3,3 K	8,3 K
Surface de couleurs claires, par exemple pierre blanche, ciment, de couleur blanche	2,2 K	1,0 K	2,2 K	5 K

III.3 APPORTS DUS AUX INTRODUCTIONS DES DENREES Q2

L'apport thermique est proportionnel à :

- la masse m en kg/jour
- la chaleur massique C en $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$
- l'écart de température entre la température d'introduction et la température de stockage dT en $^\circ\text{C}$.
- la chaleur latente C_1 de congélation en kJ/kg
- la chaleur de respiration C_a en kJ/kg 24h .

III.3.1 CONSERVATION Q2.1

Température de stockage supérieure ou égale à 0°C

$$Q2.1 = m_i C dT + m_s C_a$$

$Q2.1$ en kJ/jour

m_i masse de produit introduit en kg/jour

m_s masse de produit stocké en kg

C chaleur massique en $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$

C_a chaleur de respiration en kJ/kg jour

III.3.2 CONGELATION Q2.2

Congélation ou surgélation de produit. ($T_i \lll 0^\circ\text{C}$)

$$Q2.2 = m C_1 dT_1 + m C_1 + m C_2 dT_2$$

$Q2.2$ en kJ/jour

m masse de produit introduit en kg/jour

C_1 chaleur massique avant congélation $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$

C_1 chaleur latente au point de congélation $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$

C_2 chaleur massique après congélation $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$

dT_1 écart de température entre température entrée et température de congélation $^\circ\text{C}$

dt_2 écart de température entre température de congélation et température stockage

NOTA : C_1 et C_2 sont différents et $C_1 > C_2$.

III.4. APPORTS DUS AURENOUVELLEMENT D'AIR Q3

Pour de bonnes conditions de conservation, il est nécessaire de renouveler d'air dans les chambres froides. Ce renouvellement d'air peut s'effectuer naturellement par le service, ouvertures normales des portes pour l'exploitation de la chambre froide, par extraction mécanique si le service ne suffit pas.

a) calcul simplifié

on prend un pourcentage des entrées de chaleur par les parois.

Service normal : 15 % de Q1

Service fort : 25 % de Q1

b) Calcul normal

Le renouvellement d'air est déterminé à partir :

- du volume de la chambre froide
- de la température de stockage
- de la température extérieure
- du nombre de renouvellement d'air par jour

La chaleur apportée par l'air peut se déduire à partir du diagramme de l'air humide ou de tableaux adaptés.

$$Q3 = n V \varphi \Delta h$$

Q3 en kj/jour

V volume d'air renouvelé en m³

Δh différence d'enthalpie entre air extérieure et air intérieure en kj/kg

φ masse air volumique en kg/m³

n nombre en renouvelé / jour

III.5. APPORTS THERMIQUES INTERIEURS Q4**III.5.1 APPORT DE CHALEUR PAR LE PERSONNEL Q4.1**

Toute personne dégage de la chaleur, et cette quantité dépend de l'activité de la personne et de la température du local.

Ces quantités sont données par des tableaux.

$$Q4.1 = P n t .3600$$

Q4.1 en kj/jour

P puissance calorifique émise par personne en kw

n nombre de personnes intervenantes

t temps d'intervention en heures/jour

III.5.2 APPORT DE CHALEUR PAR LA VENTILATION Q4.2

$$Q4.2 = P t .3600$$

Q4.2 en kj/jour

P puissance des ventilateurs kw

t temps de fonctionnement en heures/jour

III.5.3 APPORT DE CHALEUR PAR L'ECLAIRAGE Q4.3

Puissance d'éclairage par m² de surface au sol est de l'ordre de 5 à 10 w/m².

$$Q4.3 = P S t \cdot 3600$$

Q4.3 en kj/jour

P puissance d'éclairage installée en kw/m²

S surface au sol en m²

t temps d'éclairage en heures/jour

III.5.4 APPORTS DIVERS Q4.4

Toute machine fonctionnant à l'intérieure de la chambre froide dégage de la chaleur (manutention, résistances électriques,...).

$$Q4.4 = P t \cdot 3600$$

Q4.4 en kj/jour

P puissance des appareils kw

t temps de fonctionnement en heures/jour

III.6 BILAN JOURNALIER Qt

Le bilan journalier est donc la somme de tous les apports thermiques existants.

$$Qt = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + 10 \text{ à } 15 \% Q'$$

Qt est exprimé en Kj/jour

- pertes non calculables : $Q' = Q1 + Q2 + Q3 + Q4$

III.7 PUISSANCE FRIGORIFIQUE GLOBALE Φ_0

Une journée de fonctionnement d'une installation frigorifique est composée de :

- l'évacuation des entrées de chaleur journalières.
- le dégivrage des évaporateurs, fonte de la glace remise à température de l'enceinte si nécessaire.
- une réserve de temps de fonctionnement pour absorber une charge thermique supplémentaire.

III.8 PUISSANCE FRIGORIFIQUE A INSTALLER

$$\Phi_0 = Q_t / t \cdot 3600$$

Φ_0 en kw

Q_t en kj/jour

t temps de fonctionnement de l'installation en h/jour

III.9 TEMPS MOYEN DE FONCTIONNEMENT D'UNE INSTALLATION

Réfrigération	14 h à 16 h	par jour
Congélation (CF)	16 h	par jour
Tunnel	4 h	par cycle

(congélation ou refroidissement)

Dans tous les cas s'assurer des contraintes du cahier des charges ou celles propres aux produits à traiter.

III.10. DONNEES POUR ETABLIR UN BILAN THERMIQUE**III.10.1 A ETUDIER POUR**

NOM : ACTIVITE :
ADRESSE : LIEU D'IMPLANTATION :

III.10.2 PRODUITS

NATURE :
APPLICATION : conservation, réfrigération, maturation, congélation
autres =
DUREE : CHARGE STOCKABLE (kg/m²)
INTRODUCTIONS : journalières, périodiques, saisonnières (kg)
SERVICE :

III.10.3 TEMPERATURES

TEMPERATURE INTERIEURE : HYGROMETRIE :

TEMPERATURE ENTREE PRODUIT : TYPE EMBALLAGE :

TEMPERATURE EXTERIEURE : HYGROMATRIE :

TEMPERATURE SOL : PLAFOND : PAROIS :

III.10.4 ENCEINTE ISOTHERME

DIMENSIONS INTERIEURES (L*I*H) :

DIMENSIONS EXTERIEURES (L*I*H) :

ISOLATION SOL NATURE : EPAISSEUR :

PLAFOND NATURE : EPAISSEUR :

PAROIS NATURE : EPAISSEUR :

ACCES PORTES NATURE : EPAISSEUR :
DIMENSIONS I*H :

III.10.5 APPORTS INTERNES

ECLAIRAGE : MANUTENTION : DIVERS :

III.10.6 FEUILLE DE CALCUL

POSTES	FORMULES	DONNEES	CALCUL	APPORT KJ/24 H
PAROIS SOL PLAFOND MURS PORTES	$K S \Delta T$			
			S/TOTAL 1	
DENREES	$m C \Delta T$ $m C_a$ $m C_l$			
			S/TOTAL 2	
RENOUV. D'AIR	$V \rho \Delta h$			
			S/TOTAL 3	
APPORTS INTERNES PERSONNEL VENTLATION ACLAIrage DIVERS	$P n t$ $P t$ $P s t$ $P t$			
			S/TOTAL 4	
TOTAL				
TEMPS DE FONCTIONNEMENT				
PUISSANCE FRIGORIFIQUE HORAIRE fonct.			Q Total/Tps.	

III.11. ANNEXES : TABLEAUX

TABLEAU 1 FLUX THERMIQUE USUEL
 TABLEAU 2 PUISSANCE CALORIFIQUE APPORTEE PAR LES PERSONNES
 TABLEAU 3 RENOUELEMENT D'AIR
 TABLEAU 4 QUANTITE DE CHALEUR A ENLEVER A L'AIR EXTERIEUR
 TABLEAU 5 DENSITES D'ENTREPOSAGE
 TABLEAU 6 DENREES – CARACTERISTIQUES
 TABLEAU 7 COURBE HUMIDITE RELATIVE - dT EVAPORATEUR
 TABLEAU 8 ECARTS DE TEMPERATURE RECOMMANDES POUR EVAPORATEURS A ALLETTES.

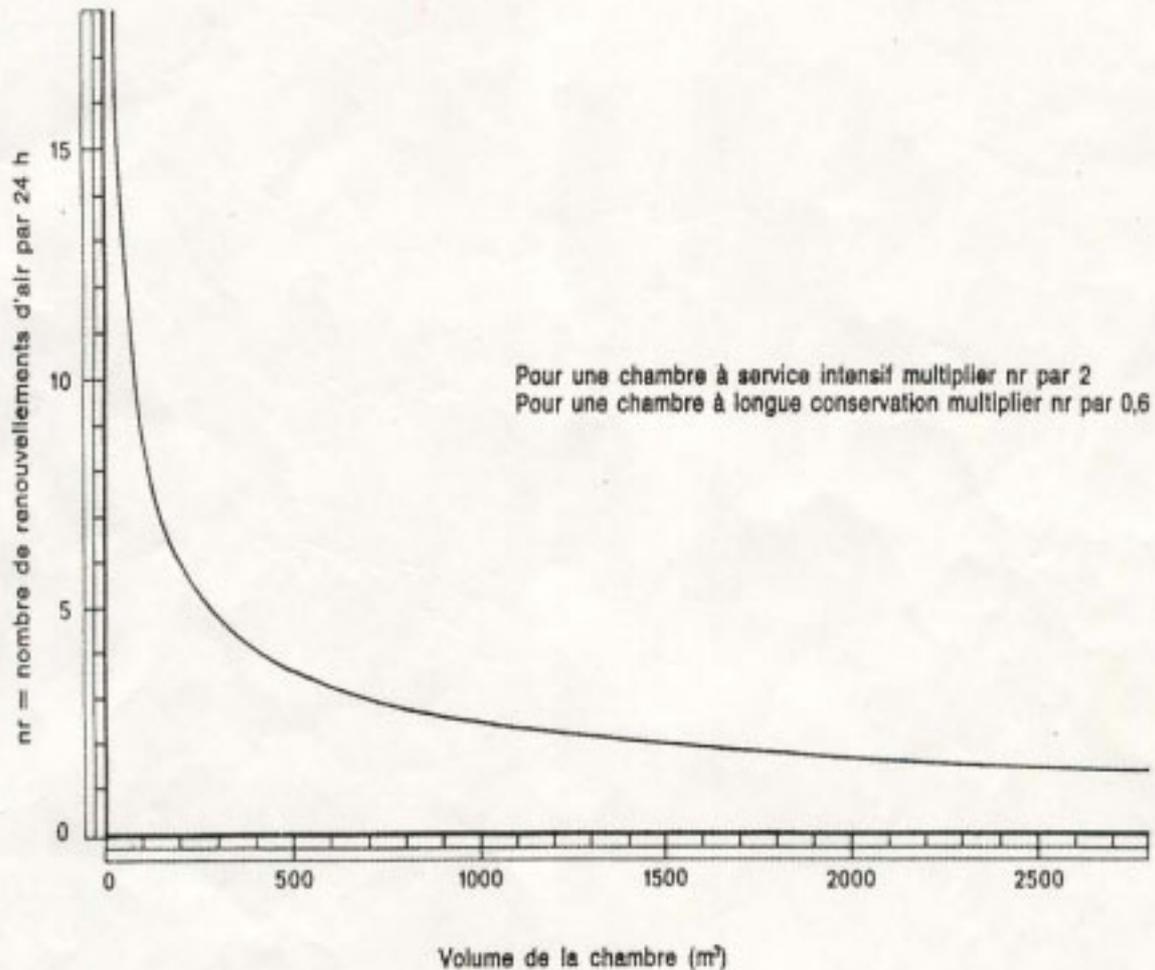
TABLEAU 1 : FLUX THERMIQUE USUEL

REFRIGERATION $\theta_i = 0^\circ\text{C}$	$\varphi = 8 \text{ w/m}^2$	$K \text{ dT} = 8$
CONGELATION $\theta_i = -20^\circ\text{C}$	$\varphi = 6 \text{ w/m}^2$	$K \text{ dT} = 6$
STATION FRUITIERE	$\varphi = 10 \text{ w/m}^2$	$K \text{ dT} = 10$

TABLEAU 2 : PUISSANCE CALORIFIQUE APPORTEE PAR LES PERSONNES

Température de la chambre (°C)	Puissance dégagée par personne (W)
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

TABLEAU 3: RENOUELEMENT D'AIR PAR 24 HEURES
des ouvertures de portes et aux
infiltrations.



Volume de la chambre (m ³)	Renouvellement d'air journalier		Volume de la chambre (m ³)	Renouvellement d'air journalier		Volume de la chambre (m ³)	Renouvellement d'air journalier	
	-	+		-	+		-	+
2,5	52	30	20	16,5	22	100	6,8	9
3,0	47	63	25	14,5	19,5	150	5,4	7
4,0	40	53	30	13,0	17,5	200	4,6	6
5,0	35	47	40	11,5	15,0	250	4,1	5,3
7,5	28	39	50	10,0	13,0	300	3,7	4,8
10,0	24	32	60	9,0	12,0	400	3,4	4,4
15,0	19	26	80	7,7	10,0	500	3,0	3,6

TABLEAU 4: QUANTITE DE CHALEUR A ENLEVER
A L'AIR EXTERIEUR. kcal/m³

TEMPERATURE Intérieure de l'enceinte refroidie, en °C	TEMPERATURE et HUMIDITE RELATIVE de L'AIR EXTERIEUR :														
	+5°C	+8°C	+10°C	+13°C	+15°C	+18°C	+20°C	+23°C	+25°C	+28°C	+30°C	+33°C	+35°C	+38°C	+40°C
	80%	75%	70%	70%	65%	65%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
+ 20	-	-	-	-	-	-	-	1	3,1	5,6	7,1	10,2	12,5	16,5	19,1
+ 18	-	-	-	-	-	-	-	2,1	4,4	6,9	8,6	11,5	14,1	17,9	20,5
+ 15	-	-	-	-	-	-	1,8	4,2	6,2	8,8	10,7	13,5	16,1	19,9	22,4
+ 13	-	-	-	-	-	1,5	3	5,5	7,5	10,1	12	14,9	17,5	21,4	23,9
+ 10	-	-	-	-	1,6	3,4	4,8	7,3	9,3	11,6	14	17	19,6	23,5	25,9
+ 9	-	-	-	-	2,2	4	5,4	7,9	9,9	12,1	14,6	17,7	20,2	24,3	26,8
+ 8	-	-	-	1,7	2,6	4,6	6	8,5	10,5	12,5	15,2	18,3	20,9	24,8	27,3
+ 7	-	-	-	2,3	3,3	5,2	6,6	9,1	11	13,8	15,9	18,9	21,5	25,4	27,9
+ 6	-	-	1,4	2,9	3,9	5,7	7,2	9,7	11,6	14,4	15,5	19,6	22,2	26,1	28,6
+ 5	-	1,2	2	3,4	4,4	6,2	7,7	10,3	12,1	15	17,2	20,2	22,8	26,8	29,3
+ 4	-	1,7	2,6	3,9	4,9	6,7	8,3	10,8	12,7	15,5	17,7	20,8	23,4	27,2	29,8
+ 3	-	2,2	3,2	4,5	5,4	7,2	8,8	11,4	13,2	16,1	18,2	21,4	23,9	27,7	30,2
+ 2	1,2	2,7	3,7	5	5,9	7,7	9,3	11,9	13,8	16,7	18,7	22	24,5	28,3	30,9
+ 1	1,8	3,2	4,2	5,5	6,4	8,3	9,9	12,5	14,4	17,1	19,4	22,6	25	28,9	31,5
0	2,3	3,7	4,7	6	6,9	8,8	10,5	13	15	17,6	20	23,2	25,6	29,5	32
- 1	2,8	4,2	5,2	6,4	7,4	9,4	11	13,5	15,6	18,4	20,5	23,8	26,1	30	32,5
- 2	3,3	4,7	5,7	6,9	7,9	9,7	11,6	14,1	16,1	18,9	21	24,4	26,7	30,6	32,9
- 3	3,8	5,2	6,1	7,4	8,4	10,4	12,1	14,6	16,6	19,4	21,5	25	27,2	31,2	33,4
- 4	4,3	5,7	6,6	7,9	8,9	10,9	12,6	15,2	17,1	20	22	25,4	27,8	31,8	34
- 5	4,8	6,2	7,2	8,4	9,4	11,5	13,1	15,7	17,6	20,5	22,5	25,8	28,3	32,3	34,6
- 6	5,3	6,6	7,6	8,9	9,9	12	13,6	16,2	18,1	21	23	26,3	28,8	32,8	35,2
- 7	5,7	7,1	8	9,4	10,4	12,5	14,1	16,7	18,6	21,5	23,5	26,8	29,3	33,3	35,8
- 8	6,2	7,6	8,5	9,8	10,9	13	14,6	17,2	19,2	22,1	24	27,3	29,9	33,9	37,1
- 9	6,6	8	8,9	10,4	11,4	13,5	15,1	17,7	19,7	22,6	24,5	27,8	30,4	34,4	37,8
- 10	7,1	8,5	9,4	10,7	11,8	14	15,6	18,2	20,2	23,1	25	28,3	30,9	34,9	38,3
- 13	8,4	9,8	10,8	12,3	13,2	15,4	17,1	19,7	21,7	24,6	26,5	30	32,5	36,7	40,1
- 15	9,3	10,7	11,7	13,2	14,2	16,4	18,1	20,7	22,6	25,6	27,5	30,9	33,5	37,8	41,1
- 18	10,3	12	13	14,5	15,5	17,8	19,6	22,2	24,1	27	29	32,2	35,1	39,4	42,3
- 20	11,5	12,9	13,9	15,4	16,4	18,7	20,5	23,1	25,1	28	30	33,2	36,1	40,6	43,9
- 23	12,8	14,1	15,2	16,7	17,7	20,1	21,9	24,5	26,5	29,4	31,5	34,8	37,7	42,2	44,5
- 25	13,8	15	16,1	17,6	18,6	21	22,8	25,5	27,5	30,4	32,4	35,7	38,7	43,2	46,7
- 28	14,9	16,3	17,4	18,8	19,8	22,3	24	26,8	28,9	31,8	33,9	37,2	40,3	45	48,2
- 30	15,7	17,1	18,3	19,6	20,6	23,2	24,9	27,7	30,1	32,8	34,9	38	41,3	46	49,3
- 33	16,9	18,3	19,5	20,8	21,9	24,4	26,2	29	31,4	34,1	36,2	39,9	42,8	47,4	50,9
- 35	17,8	19,1	20,5	21,7	22,7	25,2	27	29,8	32,5	35,2	37,2	40,6	43,8	48,4	52,1

Température de la chambre froide		Volume massique de l'air m ³ /kg	Température de l'air extérieur						
			+ 10 °C + 20 °C + 25 °C		+ 30 °C		+ 35 °C		
°C	HR		Humidité relative en %						
			90	70	60	50	60	50	60
+ 5	90	0,785	3,3	8,9	11,8	14,3	16,6	19,4	22
0	—	0,775	5,8	11,7	14,6	17,2	19,6	22,5	25,1
- 10	—	0,748	10,8	17	20	22,7	25,1	28	30,8
- 15	—	0,73	13,2	19,4	22,6	25,4	27,8	30,4	33,6
- 20	—	0,72	15,4	21,6	25	27,8	30,3	32,8	36,2
- 25	—	0,70	18	24,6	27,8	30,8	33,3	36,5	39,4
- 30	—	0,685	21,5	26,8	30,2	33	35,8	39	42

TABLEAU 5: DENSITES D'ENTREPOSAGE

	Emballage	Densité d'entreposage en m ³ pour 1000 kg		Emballage	Densité d'entreposage en m ³ pour 1000 kg
Huile	tonneaux	1,5-1,7	Bil	en vrac	1,3
Jaunes d'œuf	tonnelets	1,8	Bois, en bûches, d'arbres feuillus	—	2
Jaunes d'œuf	bidons	1	Bois, en bûches de conifères	—	3
Jute	balles	1,8-3,1	Bois, tronc d'arbre, hêtre	en vrac	1,7
Laine (pressée)	balles	2,1-3,6	Bois, tronc d'arbre, chêne	en vrac	1,2
Laine (non pressée)	balles	7	Bois, tronc d'arbre, teck	en vrac	1
Lait	caisses	1,2	Boissons gazeuses	tonnelets	1,5
Lard (salé)	lôts	1,5	Bouteilles (vides)	caisses	2,5
Laites	caisses	2,4	Boyaux	tonneaux	2
Lentilles	sacs	1,7	Cacahuètes (décortiquées)	sacs	1,2-1,7
Léger	balles	7-8	Cacahuètes (non décortiquées)	sacs	2,3-2,7
Lin	balles	2-3	Cacao	sacs	2,1-2,3
Macaronis	caisses	5,2	Café (décortiqué)	sacs	1,7-2,5
Mais	sacs	1,4-1,5	Café (non décortiqué)	sacs	2,3
Malt	tonneaux	2,4	Camphre	caisses	1,8
Malt	sacs	1,5	Caoutchouc	sacs	1,3
Mandarines	caisses	2,3	Caoutchouc	caisses	2,5
Miel	tonneaux	1,1	Carbonate de sodium	sacs	1,1
Monne salée	caisses	1,6-1,8	Carton	balles	1,4-1,7
Moules	bourriches	2,5	Cellulose	balles	1,6
Œufs	caisses	2,8	Cendre	en vrac	1,4
Oignons	sacs	2,3	Céréales (valeur moyenne)	en vrac	1,5
Oranges	caisses	2,5	Charbon	en vrac	1,4
Orge	sacs	1,6	Cheveux	balles	2,5
Pain	en vrac	4	Chiffons	balles	2,2-3,3
Papier	balles	1,3-2	Chlorure de calcium	lôts	0,7
Paraffine	blocs	1,4	Ciment	sacs	1,1
Peaux	sacs	1,1-3,3	Cire	blocs	1,8
Petits pois	sacs	1,2-1,7	Cola	en vrac	1,8-2,8
Ploûb	barres	0,21	Copra	en vrac	2,2-2,4
Poisson, en saumur	tonneaux		Coton, américain	couronnes	2,5
	50 kg	3,3	Coton (non retordu)	balles	3,3
Poivres	sacs	2,3-2,7	Coton (légèrement retordu)	balles	3
Pommes	caisses	2,2	Coton (fortement retordu)	balles	2,7
Pommes, en quartiers	caisses	2,0	Cuir	balles	2,1-2,3
Pommes de terre	en vrac	1,4	Engrais salins	sacs	0,8
Pommes de terre	en sacs	2,2-2,8	Farine de blé	sacs	1,4-1,5
Pruneaux	caisses	1,7	Farine d'os	sacs	1,7
Pruneaux	en vrac	1,2	Fer, acier de construction	en vrac	0,36
Raisins secs	caisses	1,4-2,3	Fer, minerais de	en vrac	0,8
Raves	en vrac	1,6-1,75	Fibre	balles	2,8
Rhum	tonneaux	1,8	Foin	balles	4
Riz	sacs	1,4	Fromage	caisses	2
Saindoux	seaux	1,5-2,2	Fruits exotiques	caisses	3
Sardines	tonneaux	1,1	Gingembre	caisses	1,8-2,5
Seigle	en vrac	1,3-1,4	Glace, blocs de 25 kg	en vrac	1,3
Seigle	sacs	1,6	Glace, concassée	en vrac	1,6
Sel	sacs	1,1-1,6	Glace, en écailles	en vrac	2,2
Sucre	sacs	1,3-1,4	Goudron	tonneaux	1,5
Sulf	tonneaux	2	Graines de pavot	sacs	1,7
Tabac	tonneaux	1,5-4,3	Graines de soja	sacs	1,2
Tabac	balles	3-5	Graisse animale	caisses	1,1
Thé	caisses	2-3,7	Gravier	en vrac	0,6
Vers	caisses	1,4	Hareng	tonneaux	1,27
Viande, salée	barils	1,5	Haricots	sacs	1,7
Viande congelée, pré-emballée			Haricots	en vrac	1,4
de boeuf	en vrac	2,5	Amandes (décortiquées)	sacs	2
de boeuf en quartiers suspendus	en vrac	3,5	Amandes (non décortiquées)	sacs	3
de mouton	en vrac	3,4	Asphalts	palets	0,57
de porc	en vrac	2,7	Asphalts	en vrac	1,1
Viande réfrigérée, suspendue	en vrac	2,8-3,4	Asphalts	sacs	1
Viande desséchée	balles	1,5	Avoine	sacs	1,3-2,2
Vin	tonneaux	2-3	Bananes	régimes	4,5
Vin	cutistaires	1,5	Bananes	caisses bois	
Whisky	tonneaux	1,6	ou cartons		3
			Beums	tonnelets	1,5
			Beums	caisses bois	1
			Bière	tonnelets	1,6
			Bière	caisses	1,5
			Bière	sacs	1,4-1,7

TABLEAU 6: DENREES-CARACTERISTIQUES

Denrées	Température d'entreposage (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'entreposage	Point de congélation (°C)	Chaleur massique avant la solidification (kJ/kg K)	Chaleur massique après la solidification (kJ/kg K)	Chaleur de congélation (kJ/kg)	Chaleur de respiration (kJ/kg jour)	Observations
Viande et produits carnés									
Lard	+ 1 / - 4	85	2 - 8 sem.	- 2	1,53	1,1	68		
Biteck	- 18	90-95	4 - 6 mois	- 2	3,2	1,67	231		
Jambon	0 / + 1	85-90	7-12 jours	- 2	2,63	1,46	167		
Agneau	0 / + 1	85-90	5-12 jours	- 2	3,0	1,66	216		
Saindoux	+ 7	90-95	4 - 8 mois		2,09	1,42	210		
Foie	- 18	90-95	3 - 4 mois	- 2					
Viande de porc	0 / + 1	85-90	3 - 7 jours		2,13	1,3	128		
Volaille	0	85-90	1 sem.	- 2,7	3,3	1,78	246		
Lapin	0 / + 1	90-95	1 - 5 jours	- 2,7	3,1	1,87	228		
Saucisse	0 / + 1	85-90	3-12 jours	- 2	3,72	2,34	216		
Veau	0 / + 1	90-95	5-10 jours	- 2	3,08	1,67	223		
	- 18	90-95	8-10 mois						
Légumes									
Artichauts	- 1 / 0	90-95	1 - 2 sem.	- 1	3,84	1,68	280		
Asperges	0 / + 2	95	2 - 3 sem.	- 0,5	3,94	2,00	312	11,1	Très sensible
Haricots verts	+ 4 / + 7	90-95	7-10 jours	- 0,7	3,81	1,67	268	11,5	
Bellottes rouges	0	95	3 - 5 mois	- 1	3,77	1,92	240	3,1	
Broccoli	0	90-95	10-14 jours	- 0,6	3,85	1,67	302	8,7	Peu sensible
Choux de Bruxelles	0	90-95	3 - 5 sem.	- 0,8	3,58	1,93	254	6,7	
Choux	0	90-95	3 - 4 mois	- 0,9	3,84	1,87	307	1,4	
Carottes	0	90-95	4 - 5 mois	- 1,4	3,76	1,93	293	2,4	
Choux-fleurs	0	90-95	2 - 4 sem.	- 0,8	3,89	1,97	307	4,5	
Céleri	0	90-95	2 - 3 mois	- 0,5	3,95	2,0	314	1,9	Peu sensible
Maïs	0	90-95	4 - 8 jours	- 0,5	3,31	1,76	246		
Concombres	+ 7 / + 10	90-95	10-14 jours	- 0,5	4,06	2,05	319		
Endives	0	90-95	2 - 3 sem.	- 0,6	3,94	2,0	307		
Ail	0	65-70	6 - 7 mois	- 0,8	2,89	1,67	207		
Patreaux	0	90-95	1 - 3 mois	- 0,7	3,68	1,93	293	10,8	
Salades (laitues)	0	95	2 - 3 sem.	- 0,1	4,02	2,0	316	3,9	Peu sensible
Melons	+ 2 / + 4	85-90	5-15 jours	- 1,1	3,89	2,0	307	1,5	Peu sensible
Melons Honeydew	+ 7 / + 10	85-90	3 - 4 sem.	- 0,9	3,94	2,0	307	1,2	
Pastèques	+ 4 / + 10	80-85	2 - 3 sem.	- 0,4	4,06	2,0	307		
Champignons de Paris	0	90	3 - 4 jours	- 0,9	3,89	1,97	302	7,2	
Olives - fraîches	+ 7 / + 10	85-90	4 - 6 sem.	- 1,5	3,35	1,78	251	1,0	
Oignons	0	65-70	1 - 8 mois	- 0,8	3,77	1,93	288	1,0	Peu sensible
Petits pois	0	90-95	1 - 3 sem.	- 0,6	3,31	1,76	246	9,6	Peu sensible
Poivre	+ 7 / + 10	90-95	2 - 3 sem.	- 0,7	3,94	1,97	307	3,14	Très sensible
Pommes de terre nouvelles	+ 10 / + 13	90	2 - 4 sem.	- 0,6	3,56	1,84	270	3,0	
Pommes de terre tardives	+ 3 / + 10	90		- 0,6	3,43	1,80	258	1,8	Très sensible
Rhubarbe	0	95		- 0,9	4,02	2,0	312		
Epinards	0	90-95	10-14 jours	- 0,3	3,84	2,0	307	11,1	
Tomates - vertes	+ 13 / + 21	85-90	1 - 3 sem.	- 0,5	3,98	2,0	312	7,2	
Tomates - mûres	+ 7 / + 10	85-90	4 - 7 jours	- 0,5	3,94	2,0	312	4,3	Très sensible
Navets	0	90-95	4 - 5 mois	- 1,0	3,89	1,97	302	2,2	

(suite page suivante)

TABLEAU 6: DENREES-CARACTERISTIQUES (SUITE)

Denrées	Température d'entreposage (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'entreposage	Point de congélation (°C)	Chaleur massique avant la solidification (kJ/kg K)	Chaleur massique après la solidification (kJ/kg K)	Chaleur de congélation (kJ/kg)	Chaleur de respiration (kJ/kg jour)	Observations
Fruits									
Pommes	-1 / -3	90	1- 6 mois	-1,5	3,64	1,68	281	1,92	
Abricots	-0,6 / 0	90	1- 2 sem.	-1,0	3,68	1,92	284		
Avocats	+ 7 / + 13	85-90	2- 4 sem.	-0,3	3,01	1,67	219	25,0	Très sensible
Bananes	+ 13 / + 15	90	5- 10 jours	-0,8	3,35	1,76	251		Très sensible
Myrtilles	-0,6 / 0	55	3 jours	-0,8	3,68	1,92	284		
Cerises	-0,6 / 0	90-95	2- 3 sem.	-1,8	3,64	1,88	280	1,8	
Noix de coco	0 / + 2	80-85	1- 2 mois	-0,8	2,43	1,42	156		
Abricots rouges	+ 2 / + 4	90-95	2- 4 mois	-0,8	3,77	1,93	288	1,1	Peu sensible
Grosses	-0,6 / 0	80-95	10- 14 jours	-1,0	3,68	1,88	280		
Dattes - sèches	-18 ou 0	< 75	8- 12 mois	-15,7	1,51	1,08	87		
Figues - sèches	0 / + 4	50-60	8- 12 mois		1,63	1,13	80		
Grosses à maquereau	-0,5 / 0	90-95	2- 4 sem.	-1,1	3,77	1,93	293		
Pommes (pamplemousses)	+ 10 / + 15	85-90	4- 6 sem.	-1,1	3,81	1,93	293	3,6	Peu sensible
Raisins	-1 / 0	85-90	1- 6 mois	-2,2	3,60	1,84	270	0,4	Peu sensible
Citrons	+ 14 / + 16	86-88	1- 6 mois	-1,4	3,81	1,93	295	4,24	Très sensible
Oranges	0 / + 3	85-90	3- 12 sem.	-0,8	3,77	1,92	288	1,58	Peu sensible
Pêches	-0,5 / 0	90	2- 4 sem.	-0,9	3,77	1,92	288	1,34	Peu sensible
Potres	-1,7 / -1	80-95	2- 7 sem.	-1,5	3,60	1,88	274	0,93	Peu sensible
Ananas - verte	+ 10 / + 13	85-90	3- 4 sem.	-1,0	3,68	1,88	283		
- mûre	+ 7,2	85-90	2- 4 sem.	-1,1	3,68	1,88	283		
Prunes	-0,5 / 0	90-95	2- 4 sem.	-0,8	3,68	1,88	274	0,64	Peu sensible
Graines	0	90	2- 4 sem.	-3,0					
Framboises	-0,5 / 0	90-95	2- 3 jours	-0,6	3,58	1,88	284		
Fraises	-0,5 / 0	90-95	5- 7 jours	-0,8	3,85	1,78	300	5,47	
Mandarines	0 / + 3	90-95	2- 4 sem.	-1,0	3,77	1,93	290	3,78	
Poissons									
Poisson - frais	+ 0,6 / + 2	90-95	5- 15 jours	-2,2	3,26	1,74	245		
- fumé	+ 4 / + 10	50-60	6- 8 mois	-2,2	2,93	1,63	213		
Poisson - salé	+ 4 / + 10	90-95	10- 12 mois	-2,2	3,18	1,72	237		
Poisson - congelé	- 2 / - 1	75-90	4- 8 mois	-2,2	3,18	1,72	232		
Moule - fraîche	-18	90-95	5- 12 mois	-2,2		1,74	245		
- congelée	-1 / -0,5	85-95	3- 7 jours	-2,2	3,62		277		
	-18 à -28	90-95	3- 8 mois	-2,2		1,68	277		
Produits laitiers									
Beurre - congelé	0 / + 4	80-85	2 mois	-5,6	1,38	1,05	53		
	-18	70-85	8- 12 mois	-5,6	1,38	1,05	53		
Fromage	-1 / -2	65-70		-1,7	2,10	1,30	126		
Crème	-18		2- 3 mois		2,27	1,76	242		
Crème glacée	-18		1- 2 mois		2,93	1,63	207		
Lait pasteurisé	+ 0,6		7 jours	-0,6	3,77	2,51	290		
Lait condensé	+ 4		plusieurs mois		1,75		93		
Lait ultra-haute temp.	Température ambiante		1 an		3,01		246		
Lait entier	+ 7 / + 13	basse	1 mois		0,82		8,3		
Lait écrémé	+ 7 / + 13	basse	plusieurs mois		0,92		8,3		
Oeufs - cuits	- 2 / 0	85-90	5- 6 mois	-2,2	3,05		223		
- frais	0		1 an	-2,2		1,78	248		
Denrées diverses									
Bière	+ 12		3- 6 sem.	-2,2	3,85		300		
Pain	-18		4- 6 mois		2,93	1,42	115		
Miel	- + 10		1 an		1,46	1,10	60		
Heublon	-1,6 / 0	50-60	plusieurs mois						
Glace	-4	80				1,29			
Champignons	+ 1,1	75-90	8 mois						
Maïs	0 / + 4	75-90	2 sem.						
Plantes vertes	0 / + 2	85-90	3- 8 mois						
Huile de table	+ 2,0		1 an						
Margarine	+ 2,0	60-70	1 an		1,34	1,05	54		

TABLEAU 7: COURBE HUMIDITE RELATIVE - ΔT EVAPORATEUR

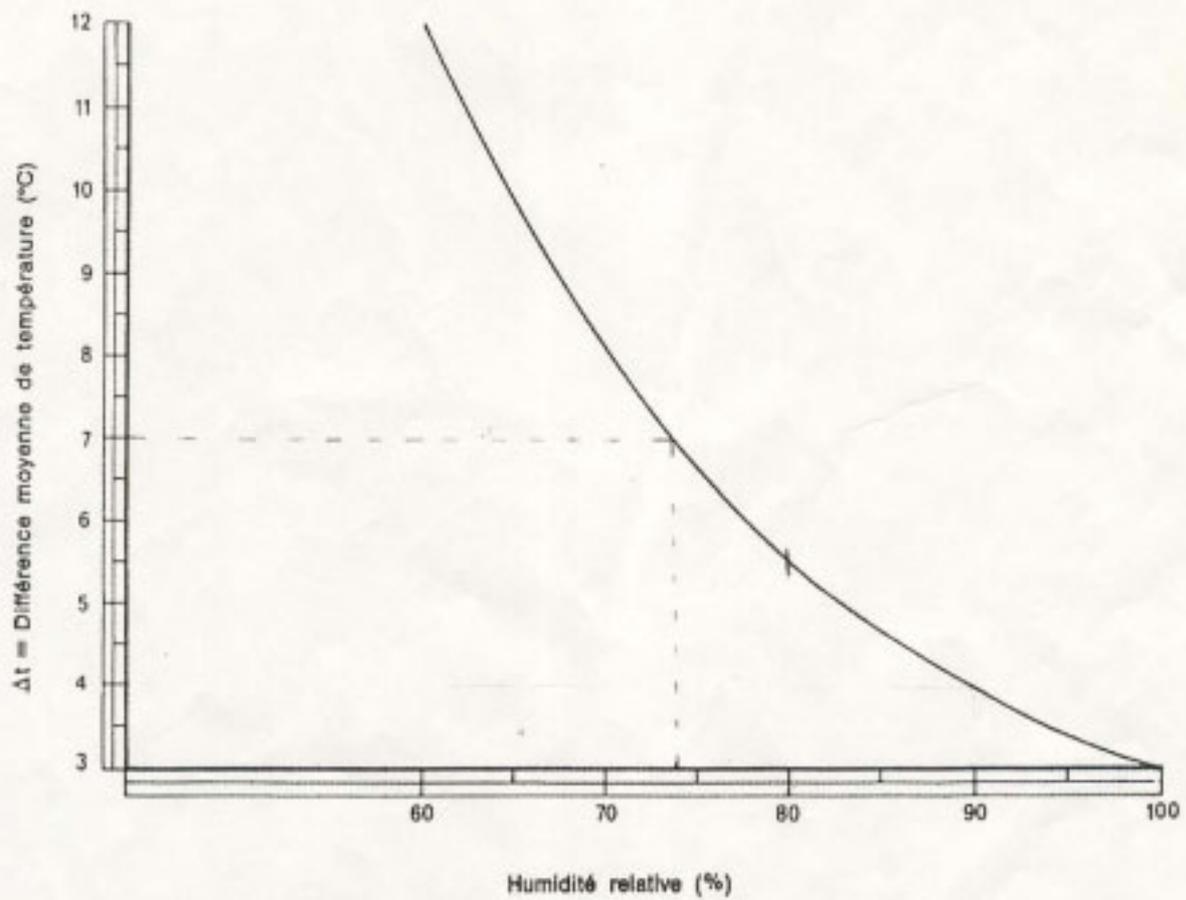


TABLEAU 8: ECARTS DE TEMPERATURE RECOMMANDES
pour évaporateurs à ailettes.

1 - FACTEURS INFLUANT L'HUMIDITE RELATIVE INTERIEURE

- L'HUMIDITE RELATIVE (Hr) d'une enceinte réfrigérée dépend de nombreux facteurs tels que :
- La NATURE, la QUANTITE et le MOUVEMENT des produits stockés
 - Le RAPPORT entre le poids du produit stocké et sa surface exposée à l'air de refroidissement
 - L'ÉPAISSEUR de l'isolation (dépend également de facteurs économiques)
 - L'ÉCART de température AMBIANCE / REFRIGÉRANT dans l'évaporateur (Actuellement le Δt tend à être défini de la manière suivante : Δt total = différence entre la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur, (sensiblement équivalente à la température de la chambre) et la température d'évaporation à la sortie de l'évaporateur)
 - La VITESSE de l'air de refroidissement,
 - La DURÉE de fonctionnement du groupe compresseur, (comprise généralement entre 14 et 18 h)
 - Le mode de RÉGULATION adopté, (thermostatique, pressostatique, etc ...)
 - Les conditions de TEMPERATURE et d'HUMIDITE RELATIVE de l'air extérieur (conditions climatiques de base)
- La classification ci-dessous permettra de sélectionner l'ÉVAPORATEUR s'adaptant le mieux à un besoin considéré :

2 - CLASSIFICATION DES PRODUITS À CONSERVER

CATEGORIE 1 : TRES HAUTES humidités relatives (environ 95 à 98 %)	CATEGORIE 3 : MOYENNES humidités relatives (environ 85 à 88%)
<ul style="list-style-type: none"> - Certains fromages (St Nectaire, Saint-Gerlon,.....) - Certains légumes, (en particulier : épinards laitue, choux de Bruxelles, rutabagas,.....) - Poissons frais, - Pâte à pain, - Beurre non emballé, - Certains fruits en stockage de longue durée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Denrées diverses (restaurant) - Poisson sous glace, - Viandes en quartiers, - Oignons, - Volailles fraîches, - Fruits ayant une peau relativement épaisse (coings, melons)
CATEGORIE 2 : HAUTES humidités relatives (environ 90 à 85%)	CATEGORIE 4 : FAIBLES humidités relatives (environ 80 à 75%)
<ul style="list-style-type: none"> - Viandes fraîches conditionnées, ou en carcasses - Lapins, - Jambons frais, - Longes fraîches, - Huîtres, - Certains fruits (en particulier, pommes, poires, groseilles vertes) en stockage moyenne durée. - Agrumes, - La plupart des légumes (en particulier betteraves rouges, carottes, choux-fleurs, haricots-verts) - Fleurs coupées, - Œufs en caisses à claire-voie, - Bière en fûts de bois, - Certains fromages, 	<ul style="list-style-type: none"> - Viandes, fruits, légumes, poissons ... séchés, - Lait, - Crème, - Conserves, - Confitures, - Boissons en bouteilles ou en fûts métalliques, - Lainages, - et en général, tous les produits protégés par une enveloppe étanche à l'air.

3 - ECARTS RECOMMANDES

Températures POSITIVES	Mode de circulation de l'AIR	CATEGORIE 1	CATEGORIE 2	CATEGORIE 3	CATEGORIE 4
	PULSE	3 à 5° C	5 à 7° C	7 à 9° C	9 à 12° C et au-dessus
NATUREL	8 à 10° C	10 à 12° C	12 à 15° C	15 à 20° C	
Températures NEGATIVES	Mode de circulation de l'AIR	Produits congelés ou à congeler, NON EMBALLÉS		Produits congelés ou à congeler, EMBALLÉS	
	PULSE	5 à 5° C		7 à 8° C	

Taux de brassage

- Faible : 10 à 15 v/h (congélation, surgélation)
 - Moyen : 25 à 30 v/h
 - Grand : > 50 v/h
 - Cas particulier du tunnel "Roussage" 100 à 300 v/h
- } ⇒ température

Exercices

Un abattoir de volailles est équipé :

- d'un tunnel de refroidissement rapide
- d'une chambre froide de stockage
- d'une chambre de congélation.

Les volailles sont d'abord traitées dans le tunnel puis ensuite dirigées vers la chambre de stockage ou la chambre de congélation.

Le tonnage traité est de 10 tonnes / jour.

20% du tonnage sont orientés vers la chambre de congélation, cette chambre est vidée tous les matins.

La durée de refroidissement imposée est de 4 tunnel, cette de congélation de 10 heures.

La capacité du tunnel de refroidissement est de 3 tonnes, celle de la chambre de congélation de 2 tonnes, chambre stockage 16 tonnes.

Température du produit : 18°C

Température sortie tunnel : 1°C Hygrométrie tunnel : 95%

Température extérieur : 20°C Hygrométrie extérieure : 70%

Température plafond : 15°C Température sol : 10°C

Eclairage : 8w/m² Manutention : 4 pers. / cycle pot 1 heure

Une majoration de 10% du bilan sera prévue pour chaque poste (ventilation).

Consulter le plan d'ensemble de l'abattoir.

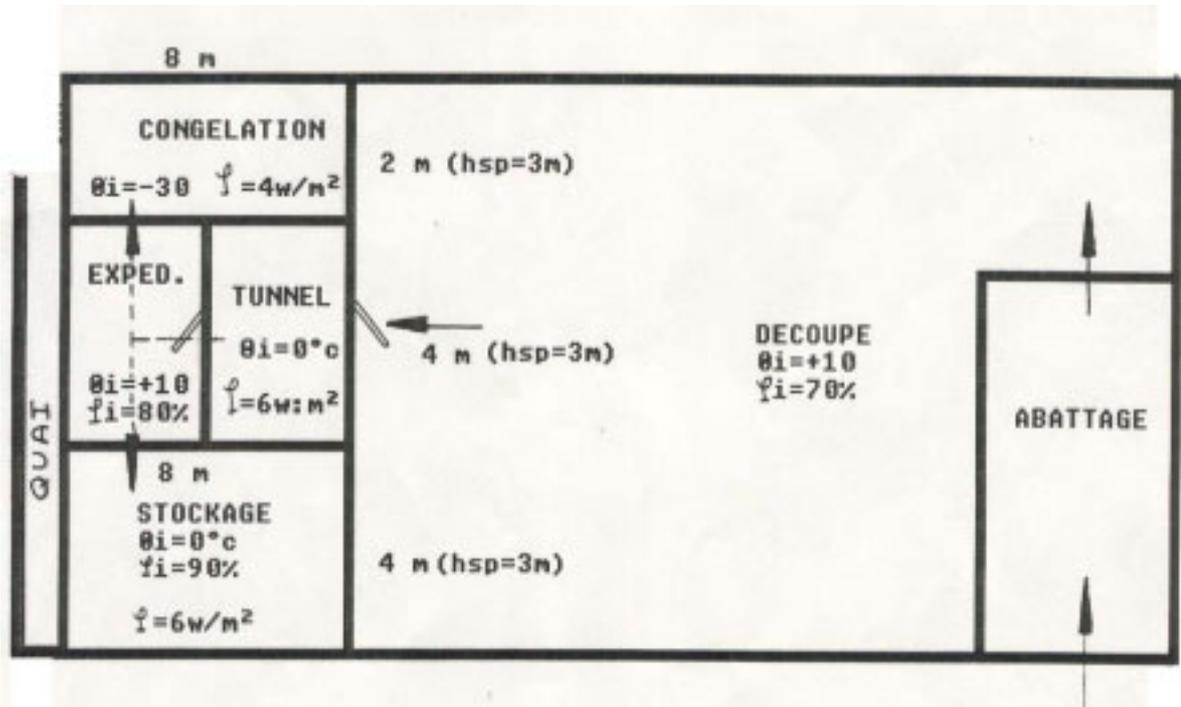
Calculez le bilan thermique de chaque poste.

La puissance frigorifique horaire nécessaire de chaque poste.

PLAN ABATTOIR

Pour chaque chambre les isolations des portes, du sol, des parois et plafond seront considérées identiques.

hsp = hauteur sous plafond



EXERCICES COMPLEMENTAIRES TRAVAIL INDIVIDUEL

Cette chambre froide a pour dimensions extérieurs : 6 m de longueur et 4,5 m de largeur.

Elle est destinée à la conservation du porc et est installée dans un local où la température maximum enregistrée l'été est de 24°C.

La charge journalière est de 8 quartiers de 80 kg chacun et à la température de 23°C. Cette viande est refroidie à la température de conservation en 20 heures.

Sachant que l'installation frigorifique fonctionne avec du R22 et que les températures d'évaporation et de condensation son respectivement -7°C et + 38°C.
Calculer le volume balayé du compresseur.

TYPE DES CHAMBRES	K90 S (1) OU K 80 AL (2)
Épaisseur des panneaux en mm	80
Coefficient k en Kcal/m ² °C en W/m ² k	0,23 0,26
Δ T maxima en °C	35
Hauteur de la chambre en cm: Extérieure Intérieure	245 229
Poids en kg/m ² Panneaux de parois et de plafond Panneaux de plancher normaux Panneaux de plancher renforcés	8 12 22

(1) Habillage tôle galvanisée + résine époxy intérieur et extérieur.

(2) Habillage tôle d'aluminium naturel d'aspect décoratif intérieur et extérieur.

EXERCICE :

Soit une chambre froide à légumes :

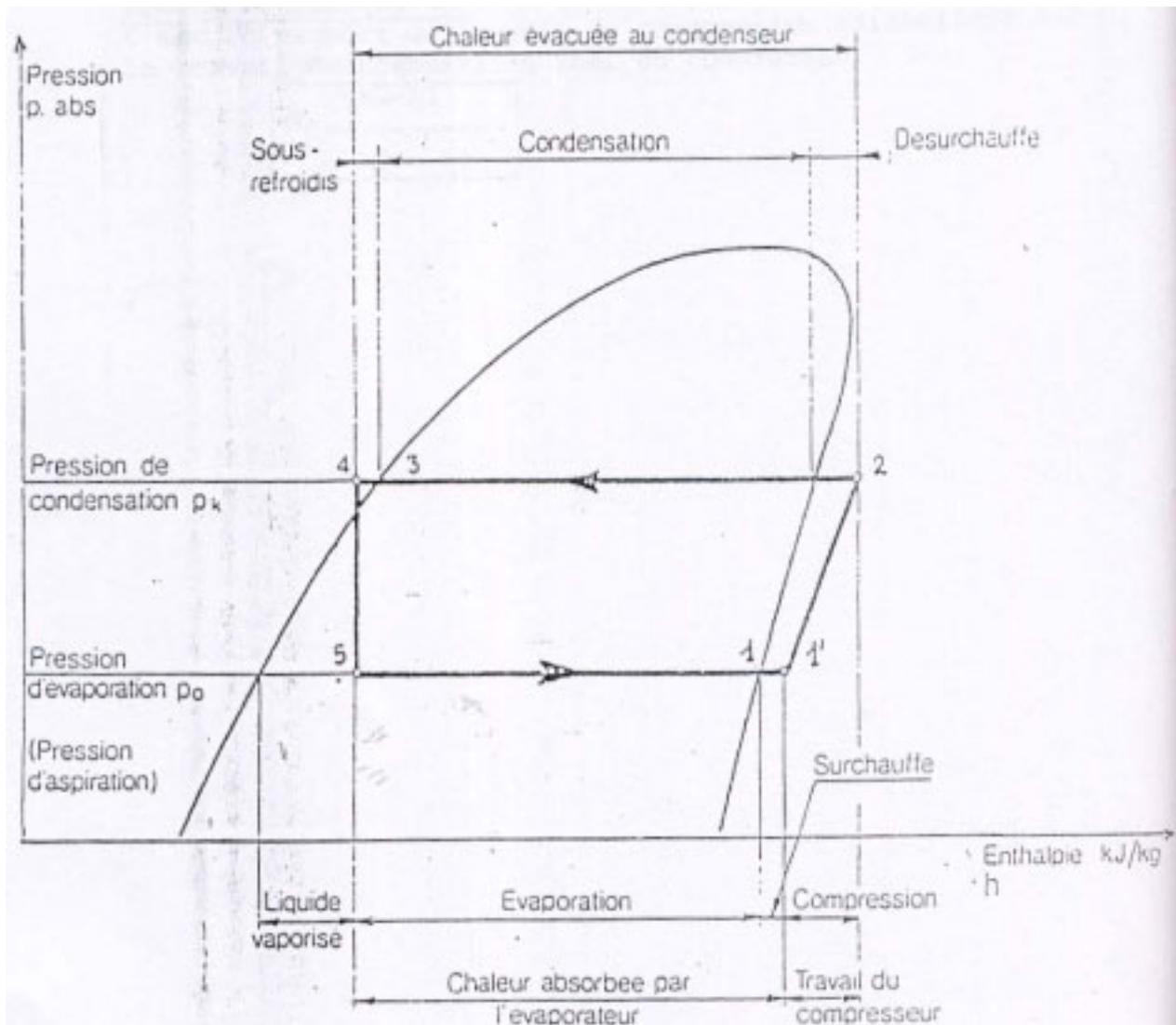
Données techniques :

- Produits
 - Différentes sortes de légumes
 - Tonnage 2000 kg/J
 - Température d'entrée : +20°C
 - Tonnage global dans la chambre froide : 2000 kg
- Air extérieur : + 30°C , 60% HR
- Air extérieur : + 5°C , 90% HR
- Durée de séjour : une personne pendant 4 heures par jour.
- Éclairage : une lampe de 60 w pendant 4 heures par jour.
- Autres charges calorifiques : 10 w pendant 6 heures par jour.
- Dimensions intérieurs : L = 2,25 m, L = 2,65 w, h = 2,20 m.
- Dimensions extérieurs : L = 2,40 m, L = 2,80 w, h = 2,30 m.
- Volume de la chambre froide : 13,1 m³.
- Surface extérieure des parois : 24,44 m².
- Plafond et plancher : 13,44 m².
- Surface total (plafond + plancher + parois) = 37,88 m².
- Isolation 80 mm de polystyrène mousse.
- Valeur de k (la porte à la même valeur) : 0,24w/m².

Faire le bilan thermique de la chambre ?

IV. Bilan Energétique**IV.1. Cycle frigorifique sur le diagramme enthalpique**

Le diagramme est utilisé pour faire, le bilan énergétique du cycle pour calculer la capacité du compresseur, analyser le fonctionnement d'une installation ou d'une régulation



IV.2. Calcul du volume horaire balayé du compresseur

Le fluide injecté à l'évaporateur est un mélange plus ou moins riche en liquide; suivant la valeur x du point 5, ce liquide se vaporise complètement jusqu'au point 1

La différence d'enthalpie entre le point 5 et le point 1 absorbée à l'évaporateur. C'est la production frigorifique massique nette en KJ/Kg

$$Q_{om} = (h_1 - h_5)$$

Débit masse de fluide q_m

Connaissant la puissance frigorifique Φ_o à installer, on peut déterminer le débit de fluide à injecter à l'évaporateur.

$$q_m = \Phi_o / Q_{om}$$

en Kilo de fluide par heure

Volume horaire aspiré - V_{ha}

Le point l' correspondant à l'aspiration du compresseur, coïncide avec une courbe v'' en m^3/Kg qui va nous permettre de calculer la quantité de vapeur aspirée par le compresseur.

$$V_{ha} = q_m \cdot v''$$

en m^3 / heure

Taux de compression

$$\zeta = HP / BP$$

HP = valeur de la haute pression absolue.

BP = valeur de la base pression absolue.

Rendement volumétrique η_v

On peut utiliser la formule ci-dessous pour le calcul du η_v

$$\eta_v = 1 - (0,05 \cdot \zeta)$$

Pour que le η_v se maintienne dans des valeurs raisonnables le taux de compression doit avoir une valeur inférieure à 7.

Volume horaire balayé

C'est le volume balayé qui va nous permettre de faire le choix du compresseur approprié à notre installation. Il dépend du rendement volumétrique, qui est directement lié au rapport des pressions de fonctionnement définie par le taux de compression

$$V_{hb} = V_{ha} / \eta_v \quad \text{en m}^3/\text{heure}$$

IV.3. Calcul du travail développé par le compresseur

Le fluide aspire en l'est refoule au point 2, la différence d'enthalpie entre ces deux points représente le travail de compression pour chaque Kilo de fluide aspire

En tenant compte des n le travail produit en une heure sera

$$Aw = (h_2 - h_1') \cdot q_m / \eta_m \cdot \eta_i \quad \text{en Kj}$$

η_m : c'est le rendement mécanique du compression.

η_i : Rendement indique c'est le rapport du travail de compression adiabatique sur le travail de compression réel du compresseur.

$$\eta_i = (h_2 - h_1) / (h_2' - h_1)$$

IV.4. Coefficient de performance de la machine : COP

$$\epsilon = T_o / (T - T_o)$$

T – température de condensation en K

T_o – température d'évaporation en K

V. Sélection des équipements

Tous les critères de choix des équipements frigorifique d'une installation devant être dispensé aux modules traitant chacun de ces équipements (module 10 :Détendeur) Un exercice à titre d'application devra être élaboré en se basant sur le contenu des différents modules .

VI Liste de matériels nécessaires

Après avoir sélectionné tous les équipements une liste récapitulative s'avère nécessaire et doit regrouper les informations suivantes

N° ordre	Désignation	Description technique	Quantité	observation
<i>Numéro de classement des articles</i>	<i>Nomination des articles</i>	<i>Description technique des articles relevée des catalogues de constructeurs. Contenant tous les détails pouvant être utiles pour le fonctionnement ou la régulation de l'installation</i>		

Evaluation de fin de module

On veut réaliser une chambre froide pour la conservation du poisson frais à Casablanca

T° d'entrée = + 18 °C

T_{cf} = +2°C

Capacité de la chambre = 10 Tonnes

1) Déterminer :

- Le volume de la chambre
- L'épaisseur d'isolation
- Charge thermique globale
- Le volume horaire balayé
- C.O.P de l'installation frigorifique

2) Sélectionner le matériel nécessaire à la réalisation du câblage électrique et frigorifique

N.B : Documents mis à disposition :

- Diagramme enthalpique du fluide frigorifique choisi
- Catalogue pour le matériel frigorifique
- Catalogue pour le matériel électrique

Liste des références bibliographiques.

Ouvrage	Auteur	Edition
<i>Manuel technique du froid</i>	W.MAAKE H.-J.ECKERT Jean Louis CAUCHEPIN	
<i>ISOLATION FRIGORIFIQUE</i>	G BALLOT ET M. DUMINIL	
<i>INSTALLATION FRIGORIFIQUE TOME1 TOME 2</i>	P.J RAPIN PJACQUARD	