

TABLE DES MATIERES

NOMENCLATURE	12
PREFACE	17
CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES CONSTRUCTIVES DES ENCEINTES ISOLANTES	
1.1 Intérêt des constructions isolantes	21
1.2 Modes de réalisation des enceintes isolantes	23
1.2.1 Isolations traditionnelles confectionnées sur place	25
1.2.2 Isolations préfabriquées	27
1.2.2.1 Panneaux sandwich	27
1.2.2.2 Chambres de petites tailles en panneaux sandwich	29
1.2.2.3 Chambres de plus grandes tailles en panneaux sandwich	29
1.2.3 Chambre à enveloppe métallique étanche (chambre froide « silo »)	35
1.3 Cas particulier du sol des chambres froides à basse température	35
CHAPITRE 2 : CLASSIFICATION DES CHAMBRES FROIDES	
2.1 Introduction	39
2.2 Classification selon les dimensions géométriques	39
2.3 Classification selon le mode de construction	43
2.3.1 La disposition de la chambre froide	43
2.3.2 Les modes de construction des chambres froides	43
2.4 Classification selon l'utilisation de la chambre froide	45
2.4.1 Un seul type de produits	45
2.4.2 Chambres froides pour produits multiples	45
2.5 Classification selon la température intérieure	47
2.5.1 Les chambres de stockage de produits réfrigérés	47
2.5.2 Les chambres de stockage de produits surgelés	49
2.6 Chambres froides et enceintes frigorifiques pour usages spéciaux	51
2.6.1 Les chambres à atmosphère contrôlée	51
2.6.2 Les chambres de maturation complémentaire de fruits	51
2.6.3 Les chambres d'affinage de fromage	53
2.6.4 Les chambres de prérefrigération de viande après abattage	53
2.6.5 Les chambres de maturation de la viande ou chambres de conservation	53
2.6.6 Les séchoirs à saucisson	53
2.6.7 Les chambres d'essais climatiques	53
CHAPITRE 3 : DEFINITIONS – TERMINOLOGIE	
3.1 Propriétés physiques	55
3.1.1 Conductivité thermique	55
3.1.2 Masse volumique	55
3.1.3 Capacité thermique massique	57
3.1.4 Variations dimensionnelles en fonction de la température	57
3.2 Perméabilité à la vapeur d'eau et à l'eau liquide	57
3.2.1 Perméabilité à la vapeur d'eau	57
3.2.2 Adsorption d'eau	59
3.3 Propriétés mécaniques	59
3.4 Autres caractéristiques	63

3.4.1	Réaction au feu	63
3.4.2	Températures limites d'emploi	65
3.4.3	Inertie thermique.....	65
3.4.4	Odeurs.....	65

CHAPITRE 4 : TRANSFERTS THERMIQUES AU TRAVERS DES PAROIS DES CHAMBRES FROIDES

4.1	Les divers modes de transmission de la chaleur	67
4.1.1	Rayonnement.....	67
4.1.2	Conduction thermique	67
4.1.3	Convection thermique.....	69
4.2	Rayonnement	69
4.2.1	Mécanismes des échanges énergétiques.....	69
4.2.2	Loi de Stefan-Boltzmann.....	71
4.2.3	Loi de Planck	73
4.2.4	Loi de Kirchhoff	75
4.2.5	Echange de chaleur, par rayonnement, entre deux surfaces noires	75
4.2.6	Echange de chaleur, par rayonnement, entre deux surfaces grises, opaques	77
4.2.7	Coefficient de rayonnement.....	77
4.3	Conduction thermique.....	79
4.3.1	Définitions.....	79
4.3.1.1	Surfaces isothermes.....	79
4.3.1.2	Lignes de flux de chaleur.....	81
4.3.1.3	Champ thermique	81
4.3.1.4	Gradient de température	81
4.3.2	Loi de Fourier.....	83
4.3.3	Conductivité thermique.....	83
4.3.4	Conduction de la chaleur en régime permanent, dans une paroi homogène à faces planes parallèles (mur simple).....	85
4.3.5	Conduction de la chaleur, en régime permanent, dans une paroi composée d'éléments homogènes juxtaposés à faces planes parallèles.....	89
4.3.6	Conduction de la chaleur, en régime permanent, dans une paroi complexe.....	91
4.3.7	Éléments sur la conduction de la chaleur en régime variable	95
4.4	Convection thermique	103
4.4.1	Classification des phénomènes convectifs.....	103
4.4.2	Loi de Newton	105
4.4.3	Expression du coefficient de convection thermique.....	107
4.4.4	Difficulté dans la prévision des coefficients de convection thermique – Valeurs pratiques.....	107
4.4.5	Résistance thermique de convection	109
4.5	Intervention des trois modes de transfert thermique – coefficient global de transmission thermique d'une paroi	109
4.5.1	Cas de la paroi plane homogène.....	109
4.5.2	Cas de la paroi plane composite	113
4.5.3	Importance relative des diverses résistances thermiques en présence.....	113
4.6	Un cas particulier : le sol de chambre froide non isolé.....	113
Annexe 4.1 : Exemple de calcul de coefficients globaux de transmission thermique de parois isolantes et de densités de flux thermique		119

CHAPITRE 5 : MATERIAUX ISOLANTS ET PARE-VAPEUR

5.1	Matériaux isolants.....	123
5.1.1	Isolation traditionnelle.....	123
5.1.1.1	Classement	123
5.1.1.2	Exigences concernant les matériaux d'isolation	125

5.1.1.3	Présentation des matériaux les plus utilisés.....	125
5.1.2	Isolation préfabriquée	129
5.1.2.1	Fabrication des mousses isolantes	129
5.1.2.2	Constitution des panneaux	131
5.1.2.3	Evolution des techniques des panneaux isolants	133
5.2	Matériaux pare-vapeur.....	135
5.2.1	Isolation traditionnelle	135
5.2.2	Isolation préfabriquée	139
5.3	Choix d'un matériau isolant.....	139
5.3.1	Ambiances plus ou moins agressives	139
5.3.2	Détermination des épaisseurs des isolants	141
5.3.2.1	Calcul des épaisseurs en fonction des déperditions	141
5.3.2.2	Calcul des épaisseurs en fonction du coût de l'isolant.....	145
Annexe 5.1 : Exemple de calcul des densités de flux thermique et de l'épaisseur des parois isolantes.....		147
Annexe 5.2 : Calcul des épaisseurs selon le type d'isolant choisi.....		151

CHAPITRE 6 : CAUSES DE DEGRADATION DES PAROIS ISOLANTES

6.1	Introduction	153
6.2	Inconvénients résultant de ces dégradations	153
6.3	Causes de dégradation des qualités isolantes d'une paroi de chambre froide.....	155
6.3.1	Disparition du matériau isolant	155
6.3.2	Modification de la conductivité thermique du matériau isolant	155
6.3.2.1	Evolution de la conductivité thermique du milieu gazeux	155
6.3.2.2	Fixation d'eau dans le matériau.....	157
6.3.3	Inconvénients de l'imprégnation par l'eau du matériau isolant – Mécanisme d'imprégnation	157
6.3.3.1	Inconvénients de la présence d'eau dans l'isolation	157
6.3.3.2	Comment l'eau peut-elle se trouver dans l'isolation ?.....	157
6.3.3.3	Comment protéger l'isolation de la condensation de l'eau qui peut y pénétrer en phase vapeur ?.....	163
6.3.4	Vieillessement des parois et enceintes isolantes.....	165
Annexe 6.1 : Cas particulier des enceintes métalliques		171

CHAPITRE 7 : CAUSES D'ETABLISSEMENT DE SURPRESSIONS OU DE DEPRESSIONS A L'INTERIEUR D'UNE CHAMBRE FROIDE

7.1	Les différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'une chambre froide – leurs dangers	175
7.2	Causes des surpressions et dépressions dans les chambres froides	177
7.2.1	Causes internes des différences de pression	177
7.2.1.1	Différences des pressions hydrostatiques	177
7.2.1.2	Variations de température de l'air de la chambre	177
7.2.1.3	Influence des ouvertures de porte.....	181
7.2.1.4	Influence d'une séquence de dégivrage incorrecte.....	183
7.2.1.5	Influence de la charge de la chambre	189
7.2.1.6	Influence de la mise en marche de la ventilation	191
7.2.1.7	Autres causes – Enceintes frigorifiques spéciales.....	193
7.2.2	Causes externes des différences de pression	193
7.2.2.1	Influence des variations de la pression barométrique	193
7.2.2.2	Influence des vents	193
7.3	Les soupapes de limitation des surpressions-dépressions ou soupapes d'équilibrage.....	195
7.4	Précautions à prendre – recommandations pour limiter les surpressions-dépressions	201

<i>Annexe 7.1 : Différences de pression d'origine hydrostatique</i>	205
<i>Annexe 7.2 : Variations de pression dans une chambre étanche</i>	209
<i>Annexe 7.3 : Expressions des débits d'air à introduire, ou à extraire, d'une chambre froide pour y maintenir la pression constante lors d'un abaissement, ou d'une élévation, de température de l'air intérieur</i>	211
<i>Annexe 7.4 : Relation entre la puissance thermique (frigorigène ou calorifique) transmise à l'air d'une chambre froide et la vitesse de variation de la température de l'air intérieur</i>	215
<i>Annexe 7.5 : Refroidissement de la masse d'air qui a pénétré dans la chambre lors de l'ouverture de la porte et échanges gazeux nécessaires</i>	217
<i>Annexe 7.6 : Réchauffement, en fin de dégivrage, de la température d'une chambre froide, par reprise de la circulation d'air sur un évaporateur insuffisamment froid</i>	221
<i>Annexe 7.7 : Puissances thermiques apportées à l'enceinte frigorigène par les denrées qui y entrent à des températures différentes de celle de l'enceinte</i>	225
<i>Annexe 7.8 : Exemple de détermination des soupapes nécessaires pour limiter les différences de pression entre la chambre et l'extérieur</i>	227

CHAPITRE 8 : MENUISERIES ISOLANTES DES CHAMBRES FROIDES

8.1 Les portes isolantes ou semi-isolantes	229
8.1.1 Les portes isolantes	229
8.1.1.1 Définition d'une porte isolante	229
8.1.1.2 Qualité d'une porte isolante	229
8.1.1.3 Les différents types de portes isolantes	231
8.1.2 Les portes semi-isolantes	235
8.1.2.1 Définition d'une porte semi-isolante	235
8.1.2.2 Les différents types de portes semi-isolantes	235
8.1.3 Caractéristiques communes aux différentes portes	237
8.1.3.1 Joints	237
8.1.3.2 Chauffage des huisseries	237
8.1.3.3 Protection des portes	237
8.1.3.4 Mécanisation des portes	239
8.1.3.5 Fort trafic	239
8.1.3.6 Porte sur panneaux sandwich	239
8.1.3.7 Sécurité du personnel	239
8.2 Les glaces et hublots	241

CHAPITRE 9 : GENERALITES SUR LES ESSAIS DES CHAMBRES FROIDES

9.1 Quels essais pour les chambres froides ?	243
9.2 Les difficultés des essais de chambres froides	243
9.2.1 Essais d'isolation thermique	243
9.2.2 Essais d'étanchéité de la chambre, porte isolante fermée	247
9.2.3 Essais d'échanges atmosphériques entre la chambre froide et son environnement au cours de son exploitation	247

CHAPITRE 10 : ESSAIS D'ISOLATION THERMIQUE DE CHAMBRE FROIDE

10.1 Introduction	251
10.2 Détermination du coefficient global moyen de transmission thermique K	251
10.2.1 Méthode de détermination du coefficient K	251
10.2.2 Méthodes en régime stationnaire pour la détermination du coefficient global moyen K	255
10.2.2.1 Méthode par chauffage intérieur	255
10.2.2.2 Méthodes par refroidissement intérieur	257

10.2.3	Méthodes en régime instationnaire pour la détermination du coefficient global moyen K	267
10.3	Détermination du coefficient local de transmission thermique K_l	271
10.3.1	Détermination de la densité de flux thermique locale ϕ_l par fluxmètre	271
10.3.1.1	Description du fluxmètre	271
10.3.1.2	Principe de mesures.....	273
10.3.1.3	Détermination du coefficient K_l	273
10.3.2	Détermination du champ de températures sur la surface de la paroi	275
10.3.2.1	Méthodes avec contacts	275
10.3.2.2	Méthodes sans contact	275
CHAPITRE 11 : ESSAIS D'ETANCHEITE D'UNE CHAMBRE FROIDE FERMEE		
11.1	Les échanges gazeux entre une chambre froide et l'extérieur.....	283
11.2	Les échanges gazeux entre une chambre fermée et l'extérieur – courbe de fuite – orifice spécifique de fuite.....	283
11.3	Essais d'étanchéité des chambres froides – résultats.....	289
	<i>Annexe 11.1 : Orifice de fuite équivalent – orifice spécifique de fuite</i>	299
CHAPITRE 12 : ECHANGES GAZEUX ENTRE UNE CHAMBRE FROIDE OUVERTE ET L'EXTERIEUR		
12.1	Echanges atmosphériques entre une chambre froide et l'extérieur lorsque la porte isolante est ouverte	301
12.2	Inconvénients résultant de ces échanges atmosphériques	303
12.3	Moyens à mettre en oeuvre pour limiter ces échanges atmosphériques.....	303
12.4	Estimation des échanges atmosphériques entre une chambre froide et son environnement	309
12.5	Etude expérimentale des échanges atmosphériques entre une chambre froide et son environnement lorsque la porte est ouverte – un exemple de résultats	315
12.5.1	Système expérimenté et mode opératoire	315
12.5.2	Résultats	319
12.5.3	Influence de l'installation d'un rideau d'air.....	325
12.6	Mesure des échanges d'atmosphère entre une chambre froide en exploitation et son environnement.....	325
12.6.1	Principe des mesures au gaz traceur	327
12.6.2	Types de gaz traceurs.....	329
	<i>Annexe 12.1 : Théorie simplifiée des échanges atmosphériques au travers de la porte ouverte d'une chambre froide</i>	333
	<i>Annexe 12.2 : Exemple de calcul de l'apport calorifique à une chambre froide par suite des échanges atmosphériques</i>	339
CHAPITRE 13 : ELEMENTS POUR L'ETABLISSEMENT D'UN CAHIER DES CHARGES DE CHAMBRE FROIDE		
13.1	Concernant le bâtiment et son environnement extérieur	341
13.2	Concernant l'intérieur du bâtiment	343
13.3	Concernant les données d'exploitation.....	345
RECAPITULATIF DES FIGURES		349
BIBLIOGRAPHIE		354
PHOTOS		358
PUBLICITE		364