FICHE DE SYNTHESE

REALISATION D'UN BILAN THERMIQUE FRIGORIFIQUE

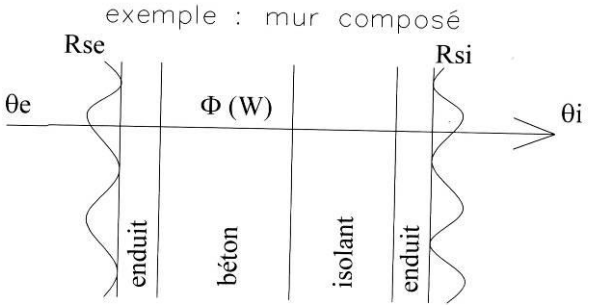
Méthodologie
a) Déterminer les différentes températures : intérieure (température à maintenir), extérieures (murs, sol, plafond, etc…)
b) Dresser un inventaire des apports
c) Calculer les différents apports en kJ
d) Déterminer le temps de fonctionnement de la machine frigorifique ou le temps de refroidissement nécessaire
e) Calculer la puissance frigorifique à installer (Φo_{bilan})
f) Déduire un ratio en $W*m^{-3}$ que l'on pourra comparer aux valeurs empiriques pour vérification

I . Apports par les parois

On calcule d'abord les flux de chaleur entrant Φ en W par toutes les parois, la méthode étant similaire à celle de la RT2005, puis on déduit la quantité de chaleur Q correspondante.

$$\Phi = K*S*\Delta\theta \quad \textbf{ou} \quad \Phi = U*A*\Delta\theta \quad \text{en W}$$

K ou U	coefficient de transmission thermique surfacique de la paroi considérée	$W*m^{-2}*K^{-1}$
S ou A	surface de la paroi considérée	m^2
Δθ	température extérieure de la paroi – température intérieure de la paroi	K



$$K = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{\left(Rsi + \sum\frac{e}{\lambda} + Rse\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{hi} + \sum\frac{e}{\lambda} + \frac{1}{he}\right)}$$

Rt : résistance totale de la paroi ($m2*K*W^{-1}$)
Rsi et Rse : résistance superficielle interne et externe ($m2*K*W^{-1}$)
e : épaisseur du matériau (m)
λ : coefficient de conductivité thermique du matériau ($W*m^{-1}*K^{-1}$)
hi et he : coefficients de transmission radio-convectif ($W*m^{-2}*K^{-1}$)
*Pour les valeurs usuelles de **Rsi, Rse, λ et K,** voir **annexe 1***

☑ **Stockage, salle de travail :** calculer ces apports sur **24h** car pas de temps de séjours défini, soit : $Q_p = \Phi*3,6*24$ en kJ

☑ **Refroidissement rapide, surgélation, ressuage :** calcul sur le temps de refroidissement « **t** » nécessaire : $Q_p = \Phi*3,6*t$ en kJ

Notes : à défaut d'élément dans le C.C.T.P. le DTU 45.1 préconise de tenir compte des valeurs suivantes :

***Sol : 12°C Parois verticale : 25°C Plafond sous comble : 30°C** (soit θ > θext + 5°C) **Toiture : 35°C** (soit θ > θext +10°C)*

Les valeurs de températures préconisées par la normes sont relativement éloignées des températures usuelles du Sud Est de la France (ex : Nîmes, θext de 38°C en été)
Par expérience, utiliser plutôt :+15°C pour le sol, et ajouter +5°C à θext pour les murs exposés au soleil.

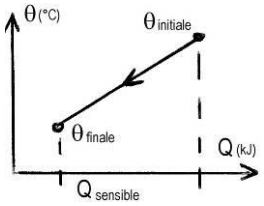
Ce DTU précise également les densités de flux à respecter : $\varphi = K*\Delta\theta$ **ou** $\varphi = U*\Delta\theta$

Ch > 0°C ⇨ $\varphi_{max} = 8W*m^{-2}$ **Ch < 0°C ⇨ $\varphi_{max} = 6W*m^{-2}$**

Attention, le DTU 45.1 ne s'applique pas : aux enceintes d'essais climatiques, aux tunnels de congélation, aux cellules ou tunnels de réfrigération rapide.

II . Apports par le refroidissement des produits

A) Cas du seul refroidissement des produits : $Q_{pd} = m*C*\Delta\theta$ en kJ *(en température positive ou négative)*

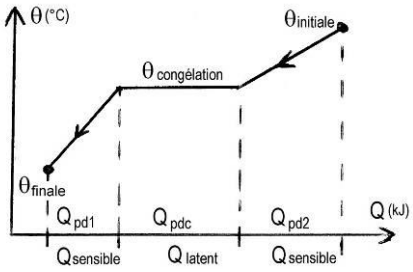


Avec : m = masse des produits en kg (si masse inconnue, on peut l'estimer par la **densité de chargement** : *voir **annexe 2***)
C = capacité thermique des produits en $kJ*kg^{-1}*K^{-1}$
Δθ = température initiale des produits – température finale des produits en K

Caractéristiques des produits (C, Lc et conditions d'entreposage) => *voir **annexe 3***
Température d'introduction des produits, on peut considérer les valeurs de l'***annexe 4*** par défaut

B) Congélation ou surgélation des produits (la différence entre ces 2 termes est le temps de descente en température et la température finale des produits. En surgélation, ce temps doit être le plus court possible, avec une température finale de -18°C maximum).

Apports avant congélation	*Pendant congélation*	*Après congélation*
$Q_{pd1} = m*C_{av}*\Delta\theta_{av}$	$Q_{pdc} = m*L_c$	$Q_{pd2} = m*C_{ap}*\Delta\theta_{ap}$
m = masse des produits en kg C_{av} = capacité thermique des produits avant congélation en $kJ*kg^{-1}*K^{-1}$ $\Delta\theta_{av}$ = température initiale des produits – température de congélation des produits en K	m = masse des produits en kg L_c = chaleur latente de congélation des produits en $kJ*kg^{-1}$	m = masse des produits en kg C_{ap} = capacité thermique des produits avant congélation en $kJ*kg^{-1}*K^{-1}$ $\Delta\theta_{ap}$ = température de congélation des produits – température finale des produits en K



Toutes ces chaleurs sont en kJ
Caractéristiques des produits (C, Lc et conditions d'entreposage) => *voir **annexe 3***

III . Apports par la respiration ou fermentation

Les fruits et légumes en particulier dégagent de la **chaleur par respiration** : *voir **annexe 3***
Elles évoluent en fonction de la température, mais par simplification, on réalise une moyenne entre la température initiale et la température finale *(voir **annexe 3 bis**)*.
D'autres produits, comme la fabrication de certains alcools (vins), fermentent et dégagent de la chaleur.

$$Q_{resp} = m*C_{resp} \quad \textit{ou bien} \quad Q_{ferm} = m*C_f \quad \text{en kJ}$$

Avec : m = masse des produits en tonne
C_{resp} = chaleur de respiration des produits avant congélation en kJ*tonne^{-1}*24h^{-1}
C_f = chaleur de fermentation des produits avant congélation en kJ*tonne^{-1}*24h^{-1}

Attention : tenir compte du temps de présence des fruits dans la chambre dans le cas du refroidissement rapide

IV . Apports par les emballages et les palettes

$$Q_{emb} = m_{emb}*C_{emb}*\Delta\theta_{emb} \quad \text{en kJ}$$

Définit suivant le cas, ou bien à défaut prendre 10% du bilan sur les produits

Avec : m_{emb} = masse des emballages en kg
C_{emb} = chaleur massique des emballages en kJ*kg^{-1}*K^{-1} *(on peut utiliser par défaut : Ccarton = Cplastique = Cpalettes = 2.7 kJ*kg^{-1}*K^{-1})*
$\Delta\theta_{emb}$ = température d'initiale des emballages – température finale des emballages en °C

V . Apports par renouvellement d'air (2 méthodes)

Méthode du nombre de renouvellement d'air	***Méthode du temps d'ouverture des portes***
Ventilation mécanique $Q_{RA} = \frac{qv*\Delta h*t}{v_e''}$ en kJ Ventilation naturelle $Q_{RA} = \frac{n*V_{ch}*\Delta h}{v_e''}$ *Pour un bilan sur 24h*	$Q_{RA} = k*\tau*\rho_i*S*\sqrt{H}*\sqrt{1-\frac{\rho_e}{\rho_i}}*\Delta h*C_{ra}$ en kJ
Δh = enthalpie de l'air extérieur – enthalpie de l'air intérieur en kJ*kg^{-1} (voir annexe 9 pour la lecture de l'enthalpie et du volume spécifique) qv = débit volumique d'air extérieur entrant dans la chambre en m^3*s^{-1} ve'' = volume massique ou spécifique de l'air extérieur en m^3*kg^{-1} t = temps de fonctionnement de la ventilation mécanique en seconde Vch = volume de la chambre en m^3 n = nombre de renouvellement d'air par 24h *(voir **annexe 5**)* ou bien calculé par la formule suivante : $n = \frac{70}{\sqrt{V_{ch}}}$	k = facteur de correction ; k = 0.48*0.004*(θe-θi) θe = θextérieure et θi = température intérieure en °C τ = temps d'ouverture de la porte en s, (voir **annexe 6**) ρ_e = masse volumique de l'air extérieur en kg*m^{-3} ρ_i = masse volumique de l'air intérieur en kg*m^{-3} S = surface de la porte en m² H = hauteur de la porte en m Δh = enthalpie de l'air extérieur – enthalpie de l'air intérieur en kJ*kg^{-1} Cra = coefficient de minoration dans le cas de l'utilisation d'un rideau d'air. Prendre Cra = 1 si absence de rideaux et Cra = 0.25 avec rideaux
Pour connaître les différentes enthalpies, masses volumiques et volumes spécifiques de l'air : voir les diagrammes psychrométriques en **annexe 10**	

VI . Apports par les personnes

$$Qpers = \frac{n*P*t}{1000} \quad \text{en kJ}$$

n = nombre de personnes dans la chambre
P = puissance totale dégagée par personne en W => dépend de la température : *voir **annexe 7***
t = temps de présence du personnel en seconde

VII . Apports par l'éclairage

Ratio d'éclairement $\mathbf{R_{écl} = 6 \text{ à } 10\ W*m^{-2}}$; ou bien multiplier le nombre de luminaire par leur puissance.

$$Q_{écl} = \frac{R_{écl}*S_{plafond}*t}{1000} \quad \text{ou bien} \quad Q_{écl} = \frac{n*P*t}{1000} \quad \text{en kJ}$$

S = surface du plafond en m^2
n = nombre d'éclairage identiques
P = puissance d'1 éclairage en W
t = temps de fonctionnement de l'éclairage ou de présence du personnel en s

VII . Apports par machines ou engins de manutention

Défini suivant le cas et en fonction du temps de fonctionnement. $Q_{mach} = P*t$ en kJ

P = puissance de la machine en kW t = temps de fonctionnement ou de présence en s

VIII . Apports par les ventilateurs

Puissances des ventilateurs connues	*Type de ventilateur inconnu*
$Q_{vent} = \frac{n * P * t}{1000}$ en kJ	$P = \frac{qv * \Delta p * n}{\left(\eta g * \frac{T}{T_0}\right)}$ si qv inconnu, on l'estime par le taux de brassage τ : $qv = \tau * V_{ch}$ en m^3*h^{-1} $Q_{vent} = \frac{P * t}{1000}$ en kJ
n = nombre de ventilateur P = puissance du ventilateur en W t = temps de fonctionnement des ventilateurs en s	P = puissance du ventilateur en W qv = débit d'air d'un ventilateur en m^3*s^{-1} Δp = hauteur manométrique de ventilateur (*voir tableau en* ***annexe 8***) n = nombre de ventilateurs ηg = rendement global du ventilateur (≈ 0.6 par défaut) Q_{vent} = quantité de chaleur en kJ t = temps de fonctionnement des ventilateurs en s Vch = volume interne de la chambre en m^3 τ = taux de brassage de l'ensemble des ventilateurs en m^3*h^{-1} (voir tableau en ***annexe 8***) T = température de la chambre en K To = température d'essai du ventilateur en K (en règle générale essai à 20°C, 101325 Pa et 65% Hr)

VIII . Apports par le dégivrage

$Q_{dg} = P * t$ en kJ

P := puissance du système de dégivrage en kW t = temps de fonctionnement du système de dégivrage en secondes

Nombre et durée de différents dégivrages : *voir* ***annexe 9***

IX . Apports non chiffrables

5% à 10% du bilan provisoire (somme des apports précédents) selon le niveau d'incertitude. A intégrer au Q_T ci-dessous.

X . Total des apports

$Q_T = \sum Q + apports\ non\ chiffrables$ $Q_T = \sum Q + \sum Q * (0.05\ à\ 0.1)$ $Q_T = \sum Q * (1.05\ à\ 1.1)$

XI . Puissance de la machine frigorifique

$\Phi o_{bilan} = \frac{Q_T}{t}$ t = temps de fonctionnement de la machine frigorifique ou de l'évaporateur en secondes, voir ci-dessous.

Temps usuels fonctionnement de la machine frigorifique ou de l'évaporateur

Chambre négative, procédé industriel	Machine commerciale, chambre positive	Refroidissement rapide, surgélation, tunnel
18h à 20 h	14h à 16h	Selon le cas : voir C.C.T.P. ou données du sujet

REMARQUES IMPORTANTES

☑ **Attention aux unités :** réaliser l'équation aux unités en cas de doute

A noter que l'on retrouve parfois de vieilles unités dans certaines documentations.

Pour mémoire : **1 kCal ⇔ 4.185 kJ** **1000 $fg*h^{-1}$ ⇔1.163 kW** **1 ch ⇔ 0.736 W**

☑ **Attention dans le cas des tunnels,** refroidissement rapide, ou surgélation : le temps de séjours des produits et le temps de refroidissement sont biens définis, en tenir compte dans les calculs (ex : pour un refroidissement de 3h, les apports par les parois ne se feront pas sur 24h, mais sur 3h. Idem pour le renouvellement d'air, les ventilateurs, etc…).

☑ **Prise en compte du dégivrage :** dans un avant projet (en entreprise, ou en M.P.S.), il est difficile d'estimer la puissance apportée par les résistances de dégivrage. On peut cependant utiliser la méthode suivante :

- surestimer un peu le bilan thermique (+5% de plus sur le bilan provisoire),
- sélectionner l'évaporateur à partir de ce Φobilan, relever la puissance de ses résistances électriques et son Φo réel
- recommencer le bilan frigorifique en incluant Qdégivrage
- vérifier que Φoréel évapo ≥ Φobilan avec dégivrage
- ajuster la sélection de l'évaporateur si nécessaire

ANNEXE 1 : caractéristiques thermiques de quelques matériaux (source : « Calcul des chambres froides » et « RT2000 »)

Matériaux	ρ (kg*m^{-3})	λ (W*m^{-1}*K^{-1})
Béton de granulats lourds silicieux, silico-calcaires et calcaires		
Béton plein	2200 à 2400	1.75
Béton plein armé	> 2300	2.4
Mortier d'enduits et de joints		
Mortier	1800 à 2100	1.15
Plâtres sans granulats		
Plâtre gâché serré Plâtre de très haute dureté et plâtre projeté	1100 à 1300	0.5
Plâtre courant d'enduit intérieur	750 à 1000	0.35
Métaux et verre		
Acier	7780	52
Acier inoxydable	7900	17
Verre	2700	1.15
Produits synthétiques et d'étanchéité		
Polyéthylène, polyamide	900 à 1150	0.4
Asphalte pur	2100	0.7
Asphalte sablé	2100	1.15
Bitume en carton feutre et chape souple imprégnée	1000 à 1100	0.23
Bitume pur	1050	0.17

Matériaux	ρ (kg*m^{-3})	λ (W*m^{-1}*K^{-1})
Isolants		
Liège expansé pur	100 à 150	0.043
Polystyrène expansé	25 à 40	0.039
Polyuréthane expansé	30 à 40	0.027
Laine de verre	10 à 150	0.04 à 0.047
Laine de roche	25 à 200	0.044 à 0.048
Sols		
Sable et gravier	1700 à 2200	2
Argile ou limon	1200 à 1800	1.5

Résistances superficielles Rsi et Rse pour une chambre froide			
Côté intérieur	Rsi (m^2*K*W^{-1})	Côté extérieur	Rse (m^2*K*W^{-1})
Chambre en ventilation mécanique	0.06	Paroi en contact avec l'extérieur	0.03
Chambre en ventilation naturelle	0.13	Paroi en contact	0.13

Il est possible d'appliquer les valeurs de la RT2005, en sachant qu'elles valent pour une température intérieure d'environ 19°C.

Coefficient K des panneaux sandwich			
Epaisseur (mm)	K (W*m^{-2}*K^{-1})	Δθmax conseillé (K)	Pour 25°C ext. et φ de 6 à 8 W*m^{-2}, utilisation jusqu'à (°C)
40	0.66	12	13 (φ max = 8W*m^{-2})
60	0.43	18	7
80	0.32	25	0
100	0.26	27	-2
120	0.22	27	-2 (φ max = 6W*m^{-2})
140	0.19	32	-7
160	0.16	38	-13
180	0.15	40	-15
200	0.13	46	-21

Constitution des panneaux : âme en mousse de polyuréthane expansé et parement en acier de 5/10ème d'épaisseur (0.5 mm).

Formule pour déterminer l'épaisseur d'isolant à prévoir sur un panneau sandwich, à partir d'une densité de flux maximale φ :

$$e_{min} = \frac{\Delta\theta}{\varphi_{max}} - Rsi - Rse - \frac{e_{acier}}{\lambda_{acier}}$$ (e_{min} en m)

ANNEXE 2 : densités de chargement (source : « Calcul des chambres froides »)

Marchandise concernée	d_e kg/m³	Conditionnement
Amandes décortiquées	500	sacs
non décortiquées	350	sacs
Bananes	250	régimes
	300	caisses bois
Beurre	650	tonnelets
	1 000	cartons
Bière	600	fûts
	650	caisses
Cacao	450	sacs
Cacahuètes, décortiquées	400	sacs
non décortiquées	250	sacs
Café, décortiqué	500	sacs
non décortiqué	450	sacs
Céréales	650	en vrac
Coquillages	400	bourriches
Farine	700	sacs
Fromage	500	caisses
Fruits exotiques	350	caisses
Graisse animale	900	caisses
Haricots	600	sacs
	700	en vrac
Huile	650	tonneaux
Lait	800	caisses
Lard salé	650	tonneaux
Lentilles	600	sacs
Macaronis	200	caisses
Maïs	700	sacs
Malt	400	tonneaux
	650	sacs
Mandarines	450	caisses
Miel	900	tonneaux
Œufs	350	caisses
jaune d'œuf	600	tonneaux
jaune d'œuf congelé	1 000	bidons
Oignons	450	sacs
Oranges	400	caisses
Pain	250	en vrac
Petits pois	700	sacs
Poivre	400	sacs

Marchandise concernée	d_e kg/m³	Conditionnement
Poisson, en saumure	350	tonneaux
harengs	800	tonneaux
morue salée	600	caisses
sardines	900	tonneaux
Pommes	350	caisses
Pommes de terre	400	sacs
	700	en vrac
Pruneaux	600	caisses
	800	en vrac
Raisins secs	600	caisses
Raves	600	en vrac
Rhum	550	fûts
Riz	700	sacs
Saindoux	550	seaux
Soja, graines de	800	sacs
Sucre	750	sacs
Suif	500	tonneaux
Tabac	250	balles
	350	tonneaux
Tripes	500	tonneaux
Viande réfrigérée, sur pendoir	350	en vrac
salée	650	boîtes
séchée	650	balles
Viande congelée		
de bœuf	300	en vrac
de mouton	300	en vrac
de porc	350	en vrac
Vin	400	tonneaux
	650	cubitainers

Marchandise concernée	d_e kg/m³	Conditionnement
Plats cuisinés	175	assiettes à trois compartiments
	325	assiettes à un seul compartiment
Tomates, en rondelles	500	–

Marchandise concernée	d_e kg/m³	Conditionnement
Baies diverses	450	expresso
Carottes, en dés	420	expresso
Cerises	450	expresso
Chou	610	expresso
Chou-fleur, inflorescences	330	expresso
Compote de pommes	670	expresso
Concombres, en rondelles	500	expresso
Desserts	155	carton et feuille alu
Epinards	610	expresso
Gâteaux, type madeleines	240	carton et feuille alu
secs	100	sachets
à la crème	70	cartons
Haricots verts	370	expresso
Légumes, jardinières de	420	expresso
Levure boulangère	260	sachets
Petits pois	440	expresso

Coefficient d'occupation du sol d'une chambre froide

Type d'entreposage	η_o
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à faible rotation	0,65...0,70
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à rotation rapide	0,45...0,50
Entreposage de marchandises congelées palettisées à faible rotation	0,75...0,80
Entreposage de marchandises congelées palettisées à rotation rapide	0,50...0,60

Contenance totale d'une chambre froide

$$C = V_{ch'} * d_e * \eta_o$$ en kg

Vch' = surface chambre*hauteur maxi de gerbage en m^3

de = densité de chargement en kg*m^{-3}

ηo = coefficient d'occupation du sol

ANNEXE 3 : caractéristiques de quelques produits (source : « Mémotech »)

PRODUITS		PROPRIÉTÉS THERMIQUES					CONSERVATION DE PRODUITS FRAIS			CONGÉLATION ET CONSERVATION DES PRODUITS CONGELÉS			
		Point de congél. °C	Chaleur spécifique kcal/kg °C Avant congél.	Chaleur spécifique kcal/kg °C Après congél.	Chaleur latente de congél. kcal/kg	Chaleur de respirat. kcal/kg 24 h	Temp. de conserv. °C	Humidité relative %	Durée de conserv.	Temp. ambiante pour cong. °C	Temp. ambiante pour cons. °C	Humidité relative %	Durée de conserv.
VIANDES	Agneau	– 1,7	0,67	0,30	47	–	0 à + 1	85 à 90	1 à 2 sem.	– 24	– 18	90	6 à 8 mois
	Bœuf (gras)	– 2,2	0,60	0,35	44	–	0 à – 1	85 à 90	1 à 5 sem.	– 25	– 15	90 à 95	6 à 9 mois
	Bœuf (maigre)	– 1,7	0,77	0,40	56	–	0 à – 1	85 à 90	1 à 5 sem.	– 25	– 15	90 à 95	6 à 9 mois
	Porc	– 2,2	0,60	0,38	36	–	– 1,5	85 à 90	1 à 2 sem.	– 25	– 18	90 à 95	4 à 6 mois
	Volaille	– 2,8	0,79	0,42	59	–	0	85 à 90	1 sem.	– 24	– 18	90 à 95	6 à 8 mois
	Jambon	– 2,8	0,68	0,38	48	–	0 à – 2	80	1 à 6 mois	–	–	–	–
	Charcuterie fraîche	– 3,3	0,89	0,56	52	–	– 1 à + 2	80	1 à 6 mois	–	–	–	–
	Veau	– 1,7	0,71	0,39	51	–	0 à – 1	90	1 à 3 sem.	–	–	–	–
FRUITS	Ananas	– 1,5	0,90	0,45	68	–	7	85 à 90	2 à 4 sem.	–	–	–	–
	Oranges	– 2,2	0,90	0,45	70	0,10 à 0,25	0 à + 1	85 à 90	1 à 4 mois	–	–	–	–
	Bananes	– 2,2	0,80	0,42	60	2 à 6	+ 14 à + 16	90	1 à 2 sem.	–	–	–	–
	Cerises	– 2,2	0,87	0,45	68	0,35 à 0,50	0 à – 1	85 à 90	1 à 4 sem.	– 25 – 30	– 18	–	1 année
	Dattes sèches	– 15,5	0,36	0,26	16	–	0 à – 2	70	4 à 8 mois	–	– 18	–	1 année
	Fraises	– 1,1	0,92	0,48	72	0,6 à 0,9	0	85 à 90	1 à 5 jours	– 25 – 30	– 18	–	1 année
	Citrons	– 2,2	0,92	0,46	71	0,3 à 0,8	+ 9 à + 10	85 à 90	6 à 8 sem.	–	–	–	–
	Mandarines	– 2,2	0,95	0,51	70	1 à 1,5	+ 4 à + 7	85 à 90	3 à 6 sem.	–	–	–	–
	Pommes	– 2	0,86	0,45	67	0,1 à 0,4	– 1 à + 3	85 à 90	2 à 5 mois	–	–	–	–
	Melons	– 1,4	0,97	0,49	77	0,5 à 1	+ 4 à + 10	85 à 90	1 à 4 em.	–	–	–	–
	Poires	– 1,9	0,85	0,45	67	0,18 à 0,22	0 à – 1	85 à 90	1 à 6 mois	–	–	–	–
	Pêches	– 1,5	0,90	0,45	70	0,22 à 0,35	– 1 à + 1	85 à 90	1 à 4 sem.	– 25 – 30	– 18	–	1 année
	Pamplemousses	– 2	0,90	0,45	70	0,20 à 0,35	0 à + 10	85 à 90	4 à 6 sem.		–	–	–
	Prunes	– 2,2	0,88	0,45	69	0,10 à 0,18	0	85 à 90	3 à 4 sem.	– 25 – 30	– 18	–	1 année
	Raisin	– 3	0,86	0,44	66	0,10 à 0,15	0 à – 1	85 à 90	3 à 4 sem.	–	–	–	–
PRODUITS LACTÉS	Beurre	–	0,64	0,34	13	–	0	80 à 85	1 à 2 mois	– 25	– 18	80 à 85	6 à 12 mois
	Fromage	–	0,75 à 0,50	0,38	50 à 30	–	4	varia.	varia.	–	–	–	–
	Lait	– 0,6	0,93	0,49	70	–	0,5	–	1 sem.	–	–	–	–
POISSONS ET CRUSTACÉS	Poissons fumés	–	– 0,76	0,41	55	–	+ 4 à + 10	50 à 60	6 à 8 mois	–	–	–	–
	Poissons (gras)	– 2,2	0,70	0,38	50	–	0 à – 1,5	90	1 sem.	– 30	– 18	90	2 à 4 mois
	Poissons (maigres)	– 1,5	0,86	0,45	68	–	0 à – 1	90	2 sem.	– 25	– 18	90	3 à 4 mois
	Poissons (salés)	–	0,56	0,34	36	–	+ 4 à + 10	90	10 à 12 mois	–	–	–	–
	Crustacés	– 2,2	0,90	0,45	70	–	0,5	90 à 95	1 sem.	– 25	– 18	90	2 à 4 mois
	Huîtres	– 2,8	0,83	0,44	64	–	0 à + 2	85 à 90	1 à 5 jours	–	–	–	–

PRODUITS		PROPRIÉTÉS THERMIQUES					CONSERVATION DE PRODUITS FRAIS			CONGÉLATION ET CONSERVATION DES PRODUITS CONGELÉS			
		Point de congél. °C	Chaleur spécifique kcal/kg °C Avant congél.	Chaleur spécifique kcal/kg °C Après congél.	Chaleur latente de congél. kcal/kg	Chaleur de respirat. kcal/kg 24 h	Temp. de conserv. °C	Humidité relative %	Durée de conserv.	Temp. ambiante pour cong. °C	Temp. ambiante pour cons. °C	Humidité relative %	Durée de conserv.
LÉGUMES	Asperges	– 1,2	0,94	0,48	75	1,5	0	90 à 95	2 à 3 sem.	– 25 – 30	– 18	–	6 à 12 mois
	Bettes	– 0,5	0,86	0,47	72	0,7	0	90 à 95	1 à 2 sem.	–	–	–	–
	Brocolis	– 1,6	0,92	0,47	72	1,8 à 2	0	90 à 95	1 à 3 sem.	–	–	–	–
	Artichauts	– 1,7	0,87	0,45	67	1,2 à 3	0	90 à 95	3 à 4 mois	– 25 – 30	– 18	–	8 à 12 mois
	Carottes	– 1,4	0,86	0,45	70	0,5	0	90	1 à 2 sem.	– 25 – 30	– 18	–	6 à 12 mois
	Choux-fleurs	– 0,5	0,94	0,47	74	0,3 à 0,5	0	85 à 90	2 à 3 sem.	–	–	–	–
	Concombres	– 0,8	0,93	0,47	72	0,55	+ 7 à + 10	90 à 95	1 à 2 sem.	–	–	–	–
	Oignons	– 1,1	0,91	0,46	67	0,18 à 0,20	0 à – 3	70 à 75	6 mois	–	–	–	–
	Haricots frais	– 1,2	0,82	0,47	71	2	+ 4 à + 7	85 à 90	8 à 10 jours	–	–	–	–
	Haricots secs	–	0,30	0,24	10	–	+ 2 à + 5	70	6 mois	–	–	–	–
	Champignons	– 1	0,93	0,47	72	1,5	0 à + 1	85 à 90	3 à 5 jours	–	–	–	–
	Laitues	– 0,5	0,96	0,48	15	0,5 à 1,1	0	90 à 95	1 à 3 sem.	–	–	–	–
	Pommes de terre	– 1,7	0,82	0,43	62	0,8 à 1,8	+ 7 à + 10	85 à 90	4 à 8 mois	–	–	–	–
	Pois frais	– 1,1	0,79	0,42	59	2	0 à – 0,5	85 à 90	1 à 2 sem.	– 25 – 30	– 18	–	6 à 12 mois
	Pois sec	–	0,28	0,22	8	–	+ 2 à + 5	70	6 mois	–	–	–	–
	Tomates mûres	– 0,5	0,95	0,48	75	0,5 à 0,8	+ 7 à + 10	85 à 90	2 à 7 jours	–	–	–	–
	Tomates variées	– 0,5	0,95	0,48	75	0,9 à 1,15	+ 11 à + 13	85 à 90	3 à 5 sem.	–	–	–	–
	Céleris	– 1,3	0,95	0,48	75	0,4 à 0,6	0 à – 0,5	90 à 95	1 à 4 mois	–	–	–	–
	Épinards	– 0,9	0,94	0,48	74	1 – 1,2	0 à – 0,5	90 à 95	2 à 6 sem.	– 25 – 30	– 18	–	6 à 12 mois
DIVERS	Bière	– 2,2	0,92	–	–	–	+ 1,5 à + 4,5	–	1 à 3 mois	–	–	–	–
	Fleurs couplées	–	–	–	–	–	– 0,5 à + 4,5	80 à 85	1 s. et plus	–	–	–	–
	Glaces	–	0,70	0,39	50	–	–	–	–	– 30	– 25	–	6 à 9 mois
	Lard	–	0,43	0,3	22	–	0 à + 1	80 à 85	2 à 6 sem.	–	– 18	–	4 à 6 mois
	Levure	–	0,77	0,41	56	–	0 à – 0,5	–	–	–	–	–	–
	Margarine	–	0,32	0,25	12	–	+ 0,5 à + 2	60 à 70	1 année	–	–	–	–
	Miel	–	0,35	0,26	15	–	+ 7 à + 10	60 à 70	1 année	–	–	–	–
	Huile	–	–	–	–	–	+ 1 à + 2	–	1 année	–	–	–	–
	Pain	– 8	0,70	0,34	30	–	–	–	–	– 18 – 30	– 18	–	1 à 4 sem.
	Peaux à tanner	–	–	–	–	–	–	–	–	–	– 12 – 18	40 à 60	1 à 2 sem.
	Fourrures	–	–	–	–	–	+ 1 à + 4	45 à 55	plus année	–	–	–	–
	Œufs	– 2,2	0,73	0,4	53	–	0 à – 1	85 à 90	+ à 7 mois	– 25 – 30	– 18	–	8 à 15 mois

1 kcal = 4.185 kJ

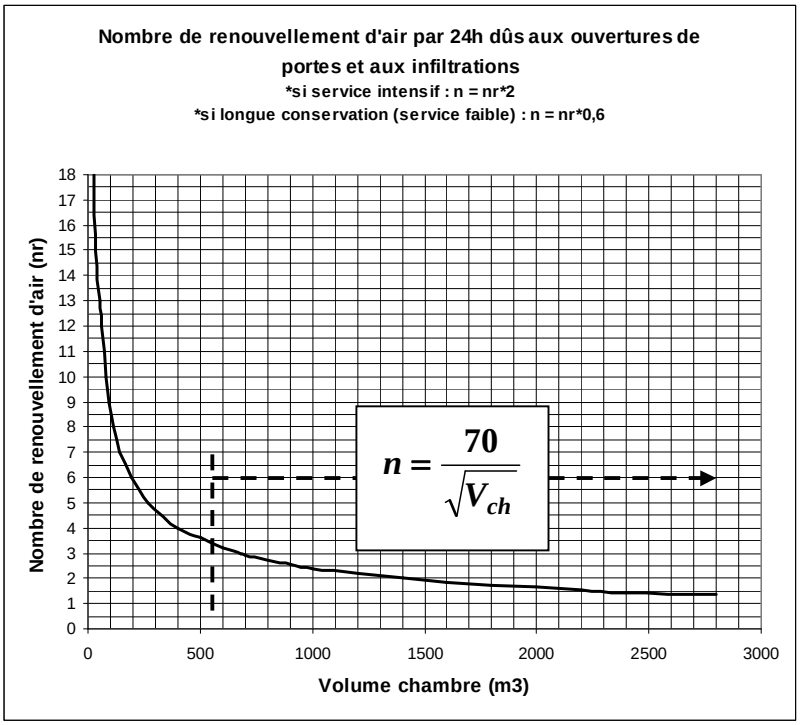
ANNEXE 3 bis : chaleur de respiration de quelques produits en fonction de leur température
(source : « Calcul des chambres froides »)

Denrée	q_{resp} en kJ/t · h à		
	0 °C	10 °C	20 °C
Citrons	28	103	178
Cornichons	84	192	555
Épinards	248	921	2 774
Fraises	134	506	865
Framboises	265	810	2 093
Groseilles			
noires	94	523	1 605
rouges	58	270	893
Groseilles à maquereau	59	181	921
Haricots			
verts	279	663	1 745
variété « Lima »	84	419	1 165
Maïs, épis de	314	558	2 233
Melons	56	147	370
Mirabelles	63	310	656
Mûres	195	810	1 675
Noisettes	8	31	45
Noix	8	31	45
Oignons	250	712	2 195
Oranges	31	98	241
Pamplemousses	31	82	173
Paprika	100	310	429
Pêches	59	281	541
Petits pois	384	768	2 041
Poireaux d'hiver	153	935	1 902
Poires			
précoces	42	184	768
tardives	31	158	628
Poivre	131	344	463
Pommes			
précoces	53	175	356
tardives	31	89	206
Pommes de terre	75	91	143
Prunes	68	366	680
Quetsches	49	295	621
Radis	192	345	1 029
Raifort, sans fanes	84	206	576
Raisin			
américain	30	119	243
européen	21	-	-
Rhubarbe	125	235	610
Salade, feuilles de	237	614	2 058
Tomates			
vertes	28	125	331
mûres	58	125	323

ANNEXE 4 : Température d'introduction des produits dans une chambre froide
(source : « Calcul des chambres froides »)

Denrée concernée	Température de transfert °C	Augmentation admissible de température K
Denrées à basse température de congélation		
Crème glacée	– 26	3
Denrées diverses	– 18	3
Jus de fruit concentré	– 20	3
Poisson	– 18	3
Denrées à température de congélation moyenne		
Beurre	– 14	3
Denrées diverses	– 10	3
Gibier	– 12	3
Graisse	– 14	3
Jaune d'œuf	– 12	3
Viande		
nette	– 10	3
5e quartier, abats	– 12	3
Volaille	– 12	3
Denrées réfrigérées		
Beurre	+ 6	
Gibier	+ 4	
Lait		
frais, pasteurisé	+ 4	
industriel	+ 6	
Lapin	+ 4	
Poisson	+ 2	
Produits laitiers	+ 4	
Viande		
nette	+ 7	
5e quartier, abats	+ 3	
Volaille	+ 4	

ANNEXE 5 : nombre de renouvellement d'air



ANNEXE 6 : estimation du temps d'ouverture des portes (source : « Calcul des chambres froides)

$$\tau = \frac{d_t * f_j}{24}$$

dt : durée moyenne d'ouverture des portes (aller/retour) en min/tonne
fj : flux journalier de marchandises en tonnes/jour

Type de porte	Type de marchandise	d_t (min/tonne)
Porte à ouverture manuelle	Viande animale sur pendoir	15
	Marchandises palettisées	6
Porte automatique	Viande animale sur pendoir	1
	Marchandises palettisées	0.8

Le flux journalier fj de marchandise transitant par les portes peut soit être donné dans le C.C.T.P. ou le sujet, soit estimé par expérience sur la base de la contenance totale de la chambre froide : voir **annexe 2**

ANNEXE 7 : puissance dégagée par une personne (source : « Mémotech »)

T° chambre (°C)	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
Puissance (W)	180	200	210	240	270	300	330	360	390	420

ANNEXE 8 : ordre de grandeur des taux de brassage et des pression disponibles aux ventilateurs (source : « Mémotech »)

Local	Taux de brassage τ (V/h)	Pression disponible (Pa)
Chambre de réfrigération ou de congélation	30 à 80	200 à 400
Tunnel de préréfrigération	80 à 100	400 à 500
Tunnel de congélation	150 à 200	400 à 600
Chambre de stockage positive	15 à 30	200 à 400
Chambre de stockage négative	10 à 20	200 à 400
Salle de travail avec personnel permanent	10 à 25	100 à 300

ANNEXE 9 : Nombre et durée de périodes de dégivrage dans les chambre froides et meubles frigorifiques
(source : « Calcul des chambres froides »)

Cas des résistances électriques

	Type de chambre froide ou de meuble frigorifique	Nombre et durée des périodes de dégivrage en min/d
Groupe I	Chambre froide de produits congelés Chambre froide sans chauffage Meuble îlot Armoire frigorifique Présentoir frigorifique à viande en air recyclé sans chauffage Présentoir frigorifique à pâtisserie à ventilation naturelle	2 x 60 min/d
Groupe II	Resserre à viande Séchoir à saucissons Chambre de saumurage Chambre de maturation (fromage)	4 x 20 min/d
Groupe III	Chambre froide à produits laitiers Chambre froide à fruits et légumes	3 x 20 min/d

Autres cas de dégivrage
(remplacer la durée de fonctionnement des résistances par les valeurs suivantes)

Par aspersion d'eau	Par injection de gaz chaud ou inversion de cycle	Par boucle d'eau chaude
10 à 20 min	10 à 30 min	20 à 40 min

ANNEXE 10 : diagrammes de l'air humide (source : « Carrier »

1er diagramme p8 : utilisation pour basses températures (15°c à -30°C), dont chambres positives et négatives

2ème diagramme p9 : utilisation pour chambres positives et génie climatique (55°C à -10°C)

DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE BASSES TEMPERATURES

Source : Carrier

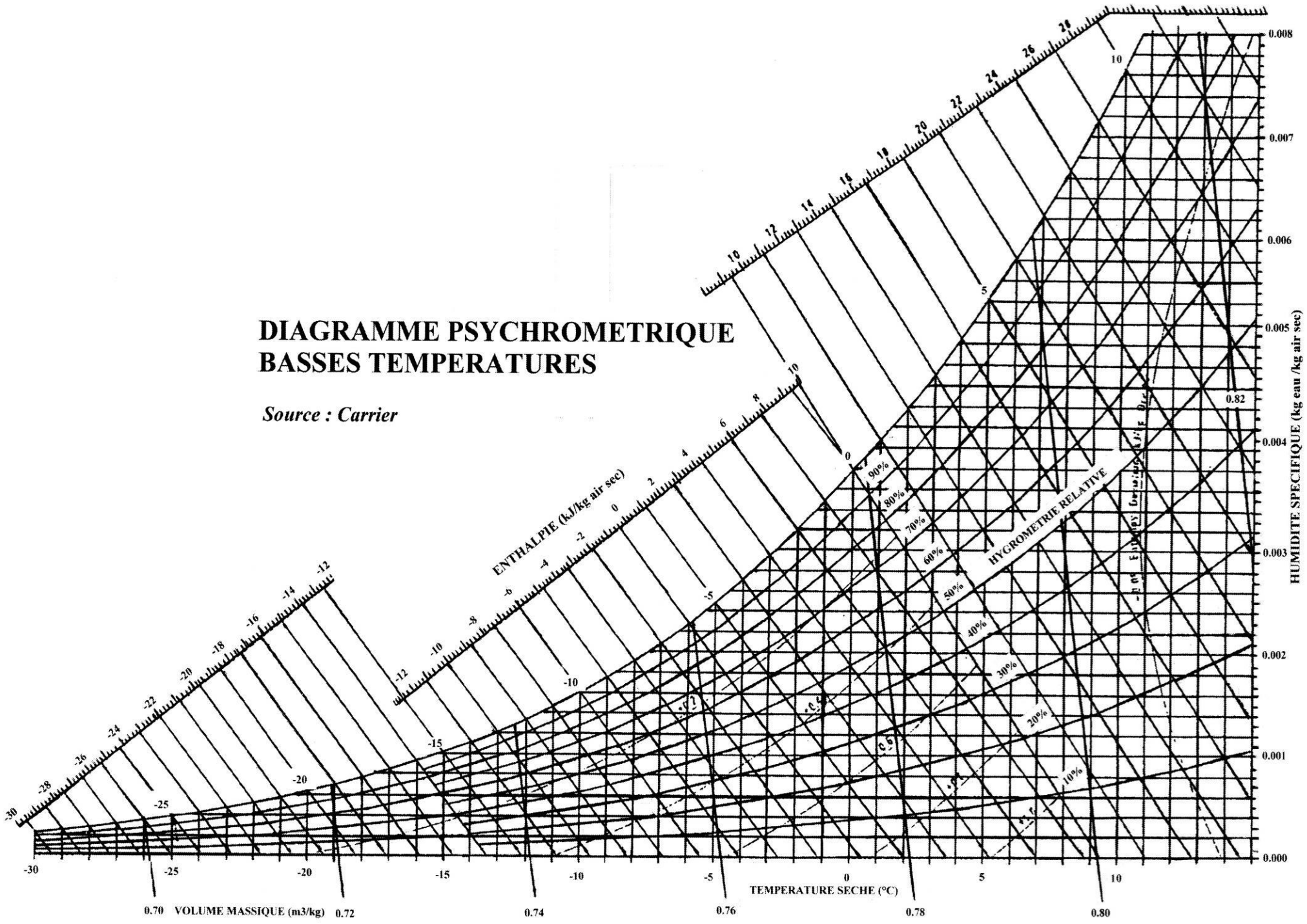
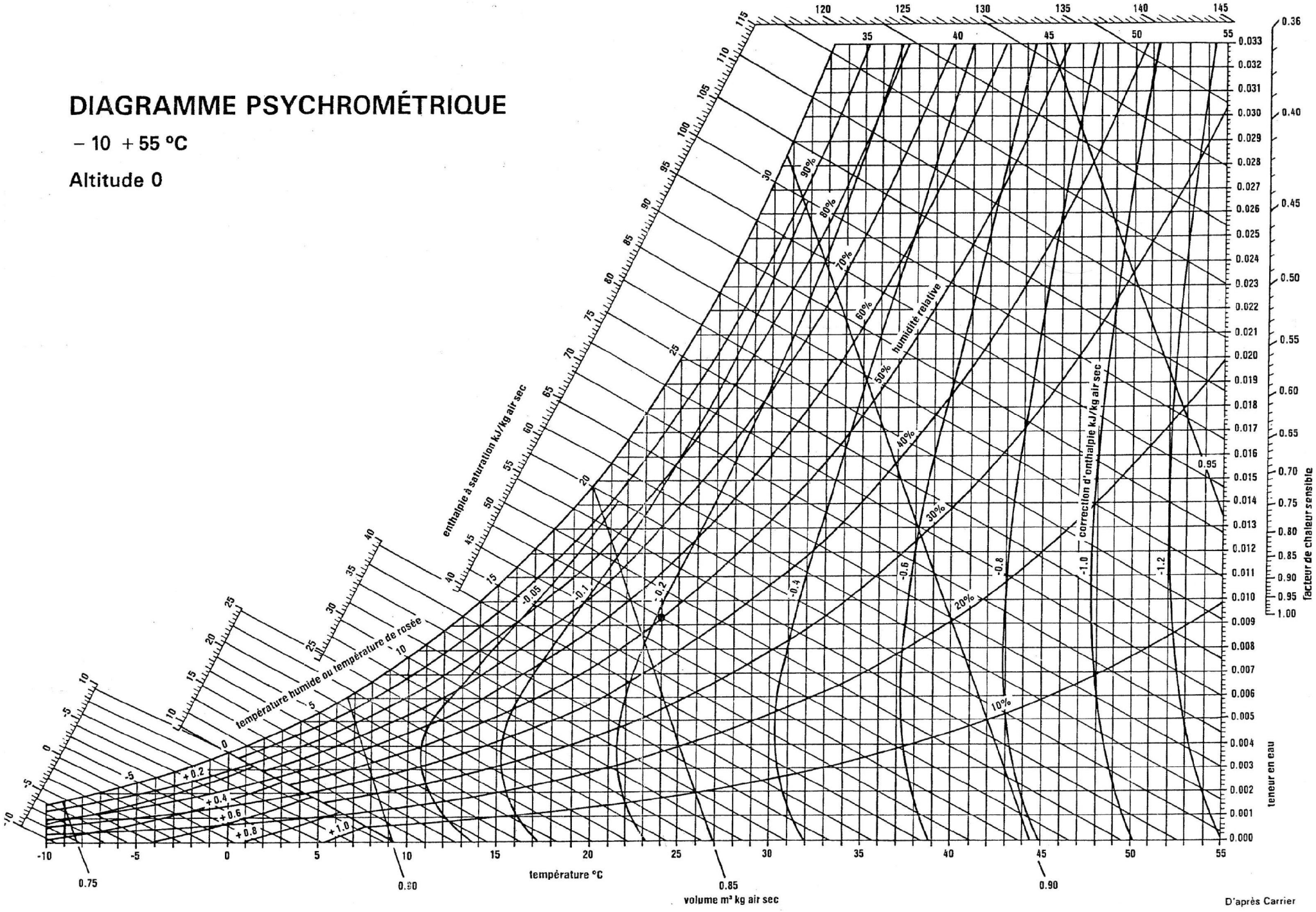


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

– 10 + 55 °C

Altitude 0



ANNEXE 10 : organismes à contacter pour plus d'informations sur les produits ou sur la chaîne du froid

Organismes	Contact	Remarques
A.F.F. (Association Française du Froid)	Tel : 01-45-44-52-52 (Paris) www.aff.asso.fr a.f.f@wanadoo.fr	Etude théorique et pratique des questions se rattachant à la production et à l'utilisation du froid dans tous les domaines.
A.I.C.V.F. (Association des Ingénieurs en Climatique, Ventilation et Froid)	Tel : 01-53-04-36-10 www.aicvf.org	Réseaux d'ingénieurs dans le domaine énergétique.
C.T.I.F.L. (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes)	Tel : 04-90-92-05-82 (St Rémy de Provence) www.ctifl.fr	Etude pratique pour l'amélioration des cultures et de la conservation des fruits et légumes
I.N.R.A (Institut Nartional de Recherche Agronomique)	Tel : 04-32-72-20-00 (Avignon) www.inra.fr	Etude théorique et pratique pour l'amélioration des produits de l'agriculture et de l'élevage
I.F.I.P. (Institut du porc)	Tel : 05-62-16-61-70 (Toulouse) www.itp.asso.fr/decou/index.htm	Etude pratique pour l'amélioration des techniques d'élevage, de transformation et de conservation du porc
A.D.I.V. (Association pour le Développement de l'Institut de la Viande)	Tel : 04-73-98-53-85 (Clermont Ferrand) www.adiv.fr/Competences/Home.htm	Aide économique et technique à la filière viande
CEMAGREF	Tel : 01-40-96-62-72 www.cemagref.fr/informations/Presentation/P2/UR.htm	Organisme de recherche sur l'étude et la conception des procédés de réfrigération.
C.T.C.P.A. (Centre Technique de la Conservation des Produits Agricoles)	Tel : 04-90-84-17-09 www.ctcpa.fr	Organisme accompagnant les industriels de l'Agroalimentaire dans leurs projets.
A.N.I.A. (Association Nationale des Industries Alimentaires)	Tel : 01-53-83-86-00 (Paris) www.ania.net	Organisation représentant l'ensemble de l'industrie alimentaire
A.F.S.S.A. (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments)	www.afssa.fr	Organisme de recherche, de veille sanitaire et d'expertise dans le domaine alimentaire

ANNEXE 11 : sources documentaires

☑ Calcul des chambres froides ; H-J Breidert, éditions Pyc livres

☑ Mémotech – génie énergétique, P. Dal Zotto, collection A. Capliez, éditions Casteilla

☑ Installations frigorifiques, tome 2 Technologie, P.J. Rapin et P. Jacquard, édition Pyc livres

☑ Conditions recommandées pour la conservation des produits périssables à l'état réfrigéré, Institut International du froid

☑ Le Pohlmann, Manuel technique du froid, éditions Pyc livres