



# **U-3ARC WEBINAIR DE FORMATION N°22**

## **BILAN THERMIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE**

Hammedi FERJANI

24 juin 2023

# Sommaire



**Généralités**

**Introduction**

**Détermination de la base de temps**

**Calcul des différents postes du bilan**

**Somme des apports de tous les postes**

**Calcul de la puissance frigorifique**

# Généralités




## Processus d'altérations des aliments

*Dans certaines régions de monde la moitié des denrées alimentaires disponibles est perdue entre la période de la production et celui de la consommation*

### **Les agents destructeurs les plus importants:**

- Les rongeurs, les insectes, les microorganismes (champignons et bactéries)
- L'homme par des manipulation inadéquates (par méconnaissance ou négligence)

Place les produits dans des endroits favorisant diverses altérations

 L'entreposage frigorifique est une technique de conservation des denrées ou des aliments permettant leur consommation ultérieure

# Généralités



## Processus d'altérations des aliments

### *Deux grands groupes d'aliments suivant leur origine*

#### *Produits d'origine végétale:*

- Produits vivants avant et même pendant la période d'entreposage

#### *Produits d'origine animale:*

- Produits tués préalablement à leur utilisation

- ✓ Périssables présentent une diversité au niveau de leurs propriétés physiques et de leurs compositions chimiques
- ✓ Contiennent tous de l'eau, des glucides, des protéines, des sels minéraux et des vitamines
- ✓ L'eau est le constituant majeur

**Principal facteur de l'altérabilité des produits**



# Généralités



## Processus d'altérations des aliments

Agents responsables de l'altération des aliments

### ***Les enzymes:***

Biocatalyseurs protéiques solubles dans l'eau et fabriqués par les cellules vivantes qui contrôlent les réaction biochimique de dégradation de la qualité des produits alimentaires

### ***Les microorganismes:***

Bactéries et/ou les champignons qui sont présents à la surface ou dans la cavités (ou replis) des organes constituant les végétaux et les animaux

D'autres microorganismes peuvent être apportés par les manipulations subies par les produits

Les microorganismes peuvent détériorer les aliments en se développant à leurs dépendants et en décomposant leurs substances constitutives





# Généralités



## Incompatibilités dues aux odeurs et à l'éthylène

**Les composés volatils responsables de l'arôme de certains produits peuvent être fixés par d'autres produits voisins et leur conférer une odeur ou un goût indésirable**

### *Exemple:*

Eviter de conserver:

- Des pommes avec de la pomme de terre
- Des agrumes avec d'autres produits.

L'odeur des pommes et des agrumes est facilement fixé par le beurre, la viande et les œufs

Les pommes prennent une couleur et un odeur désagréables lorsqu'ils sont conservés avec de la pomme de terre

- ❑ *Les organes végétaux « vivants » sont capables de produire de l'éthylène à différents niveaux*
- ❑ *L'éthylène est un gaz inodore et même en faible quantité écourte la vie des oranges qui le synthétisent ou de ceux qui sont dans leur voisinage en accélérant leur sénescence ou leur maturation pour les fruits*

# Généralités



## Incompatibilités dues aux odeurs et à l'éthylène

	Banane	Beurre	Bœuf	Chou	Fromage	Langouste	Lard	Mouton	Œufs	Orange	Pêche	Pomme	Pomme de terre	Porc	Prune	Raisin
Banane	-	O	O	N	O	O	O	O	O	N	N	N	N	O	N	O
Beurre	O	-	O	N	LR	R	LR	O	O	R	LR	N	N	O	O	O
Bœuf	O	O	-	N	LR	LR	LR	O	O	N	O	R	LR	O	O	O
Chou	N	N	N	-	N	N	N	N	N	N	LR	LR	LR	N	LR	LR
Fromage	O	LR	LR	N	-	N	O	LR	N	N	LR	N	LR	LR	LR	LR
Langouste	O	R	LR	N	N	-	LR	LR	LR	N	LR	N	N	LR	LR	O
Lard	O	LR	LR	N	O	LR	-	O	O	N	O	N	O	O	O	O
Mouton	O	O	O	N	LR	LR	O	-	O	N	O	N	LR	O	O	O
Œufs	O	O	O	N	N	LR	O	O	-	N	LR	N	N	O	LR	O
Orange	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-	O	O	O	N	O	O
Pêche	N	LR	O	LR	LR	LR	O	O	LR	O	-	O	O	O	O	O
Pomme	N	N	R	LR	N	N	N	N	N	O	O	-	LR	N	O	O
Pomme de terre	N	N	LR	LR	LR	N	O	LR	N	O	O	LR	-	LR	O	O
Porc	O	O	O	N	LR	LR	O	O	O	N	O	N	LR	-	O	O
Prune	N	O	O	LR	LR	LR	O	O	LR	O	O	O	O	O	-	O
Raisin	O	O	O	LR	LR	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
O	Peuvent être ensemble sans risqué de contamination mutuelle															
LR	Léger risque de contamination mutuelle															
R	Risque de contamination mutuelle															
N	Ne peuvent être entreposés ensemble : contamination mutuelle très probable															



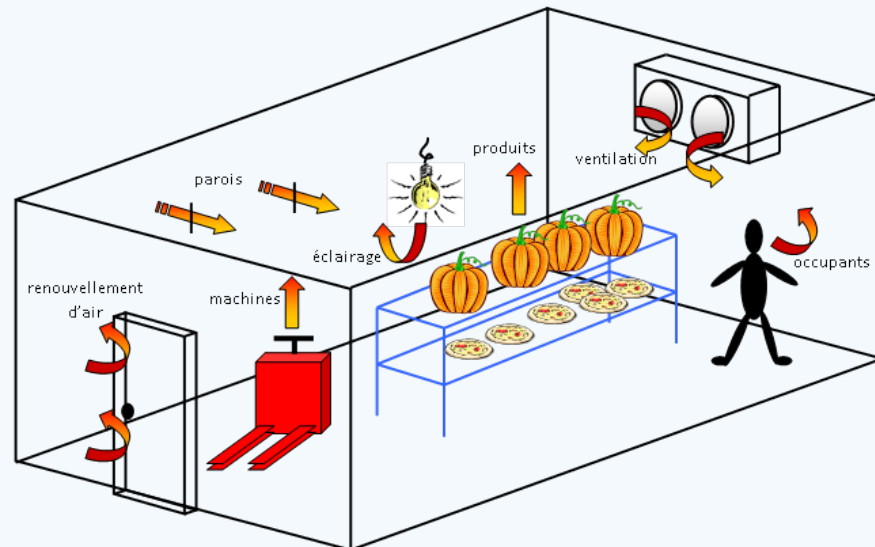


# Bilan thermique

## Introduction

Le dimensionnement d'une installation commence par le calcul de la puissance frigorifique nécessaire. Cette puissance représente l'énergie qu'il faut retirer à l'ambiance en un temps donné pour maintenir la chambre à la température souhaitée. Cette énergie provient de plusieurs sources que sont :

- Les parois
- Les produits
- La ventilation
- Le renouvellement d'air
- Les machines
- L'éclairage
- Les occupants



Afin d'estimer les quantités de chaleur dégagées par toutes ces sources, nous effectuons un bilan thermique détaillé poste par poste, en se fixant une base de temps.





# Bilan thermique

## Détermination de la base de temps

- ❑ **Chambres froides pour la conservation de produits frais ou congelés, on effectue les calculs pour une journée de 24 heures, soient  $24 \times 3600 = 84\ 400$  secondes.**
- ❑ **Applications dont l'utilisation est cyclique (par exemple : tunnel de refroidissement, séchoir, chambre froide pour la congélation rapide, étuve, ...), le temps de base du calcul correspondra au temps du cycle.**

### *Exemple :*

*Tunnel de refroidissement rapide dont l'utilisation journalière se fait en 4 cycles de 3 heures.*

*Nous effectuerons le bilan sur un cycle (3 heures), soit une base de temps de :  $3 \times 3600 = 10800$  secondes.*





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 1 : conduction par les parois

La quantité de chaleur apportée par conduction à travers les parois est donnée par:

$$Q \text{ parois} = K.S.\Delta\theta.t$$

Avec

Q parois : chaleur apportée par la conduction en Joules [J]

K : coefficient global d'échange des parois [ $\text{W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$ ]

S : surface totale des parois [ $\text{m}^2$ ]

$\Delta\theta$  : écart de température entre la température extérieure et la température intérieure [ $\text{°C}$ ]

t : temps de base du calcul [s]



# Bilan thermique



## Calcul des différents postes du bilan

### Exemple :

Considérons que notre chambre de conservation de pommes possède les dimensions suivantes : Longueur 20 m

Largeur 10 m

Hauteur 6 m

- Surface totale des parois de :  $2 \times (20 \times 6 + 10 \times 6) + 20 \times 10 = 560 \text{ m}^2$
- Le coefficient d'échange thermique  $K$  s'obtient à partir de calculs de transferts thermiques qui nécessiteraient un webinaire complet. (Panneaux en mousse de polyuréthane  $K = 0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  ).
- La température extérieure à la chambre est de  $40^\circ\text{C}$
- La température à maintenir à l'intérieure est de  $2^\circ\text{C}$ .  
Cela donne un  $\Delta\theta$  de  $38^\circ\text{C}$ .

$$\begin{aligned} Q_{\text{parois}} &= 0,22 \times 560 \times 38 \times 84400 \\ &= 395\,127\,040 \text{ J} \\ &= 395\,150 \text{ kJ} \end{aligned}$$



# Bilan thermique

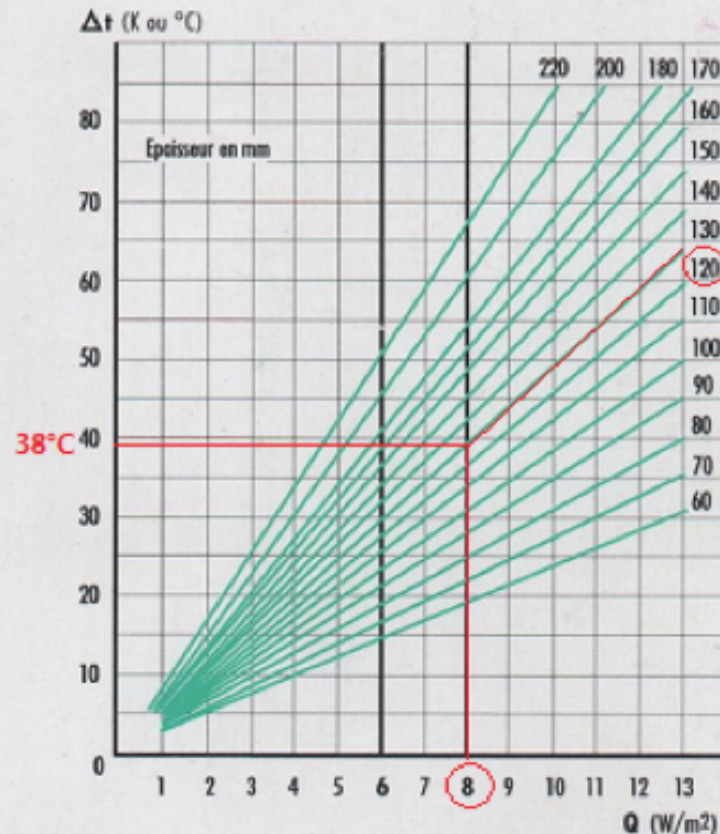


## Calcul des différents postes du bilan

### CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

La connaissance de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de l'enceinte ( $\Delta T$ ) ainsi que le choix des déperditions thermiques admissibles ( $Q$ ) permettent de déterminer l'épaisseur optimum du panneau en utilisant l'abaque des déperditions.

$Q$  = déperditions thermiques - Valeur préconisée par le DTU 45-1  $8\text{W/m}^2$  en positif,  $6\text{W/m}^2$  en négatif.



Epaisseur en mm	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
(W/m <sup>2</sup> .°C)	0,43	0,37	0,32	0,29	0,25	-	0,22	-	0,19	-	0,16	-	0,15	-	0,13	-	-

# Bilan thermique



## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 2 : apport de chaleur par les produits

Le terme « produits » englobe les denrées à refroidir ainsi que leurs emballages. Lorsqu'il s'agit de produits frais ou de végétaux (fruits et légumes), il faut également y ajouter la chaleur de respiration. Cette dernière est due à l'humidité qui se dégage de ces produits lors de la descente en température (uniquement en température positive).

#### Denrées :

#### Froid positif :

Pour des denrées subissant une chute de température sans atteindre 0°C, la formule suivante s'applique :

$$Q \text{ denrées} = m \cdot c_p \cdot (\theta_i - \theta_f)$$

Avec :

Q denrées : apport de chaleur par les denrées [kJ]

m : masse de produits entrée par jour ou par cycle [kg]

c<sub>p</sub> : capacité thermique massique des produits avant congélation [kJ/kg]

θ<sub>i</sub> : température initiale des produits (avant refroidissement) [°C]

θ<sub>f</sub> : température finale des produits = température dans la chambre [°C]







# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Congélation :

Si les denrées subissent une congélation durant le refroidissement, la formule devient plus complexe :

$$Q \text{ denrées} = m \cdot cp1 \cdot (\theta_i - \theta_c) + m \cdot lf + m \cdot cp2 \cdot (\theta_c - \theta_f)$$

Avec :

Q denrées : apport de chaleur par les denrées [kJ]

m : masse de produits entrée par jour ou par cycle [kg]

cp1 : Chaleur massique des produits avant congélation [kJ/kg]

cp2 : Chaleur massique des produits après congélation [kJ/kg]

lf : Chaleur latente de congélation des produits [kJ/kg]

$\theta_i$  : Température initiale des produits (avant refroidissement) [°C]

$\theta_c$  : Température de congélation des produits (0°C) [°C]

$\theta_f$  : Température finale des produits (température dans la chambre) [°C]





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Respiration :

Pour les produits frais et les végétaux à température positive, la chaleur de respiration s'exprime de la façon suivante :

$$Q_{\text{resp}} = m \cdot l_{\text{resp}} \cdot 10^{-3}$$

Avec :

$Q_{\text{resp}}$  : apport de chaleur dû à la respiration [kJ]

$m$  : masse de produits entrée par jour ou par cycle [kg]

$l_{\text{resp}}$  : chaleur latente de respiration [kJ/tonne]





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

PRODUITS		PROPRIETES THERMIQUES					CONSERVATION DE PRODUITS FRAIS			CONGÉLATION ET CONSERVATION DES PRODUITS CONGELÉS			
		Point de congèl °C	Chaleur spécifique en kJ/kg *C		Chaleur latente de congélation en kJ/kg	Chaleur de respiration KJ/kg 24h	Tempér.de conserv. °C	Humidité relative %	Durée de conserv.	Temp pour congèl. °C	Temp pour conserv °C	Humidité relative %	Durée de conserv
			Avant congèl.	Après congèl.									
	Cerises	-2,2	3,64	1,89	284,92	1,47 à 2,1	0 à -1	85 à 90	1 à 4 sem.	-55	-18		1 année
	Dattes sèches	-15,5	1,51	1,09	67,04		0 à -2	70	4 à 8 mois		-18		1 année
	Fraises	-1,1	3,85	2,01	301,68	2,51 à 3,77	0	85 à 90	1 à 5 jours	-55	-18		1 année
	Citrons	-2,2	3,85	1,93	297,49	1,26 à 3,35	+9 à +10	85 à 90	6 à 8 sem.				
FRUITS	Mandarines	-2,2	3,98	2,14	293,3	1 à 1,5	+4 à +7	85 à 90	3 à 6 sem.				
	Pommes	-2	3,6	1,89	280,73	0,42 à 1,68	-1 à +3	85 à 90	2 à 5 mois				
	Melons	-1,4	4,06	2,05	322,63	2,1 à 4,19	+ 4 à + 10	85 à 90	1 à 4em.				
	Poires	-1,9	3,56	1,89	280,73	0,75 à 0,92	0 à -1	85 à 90	1 à 6 mois				
	Pêches	-1,5	3,77	1,89	293,3	0,92 à 1,47	-1 à +1	85 à 90	1 à 4 sem.	-55	-18		1 année
	Pamplemousses	-2	3,77	1,89	293,3	0,84 à 1,47	0 à +10	85 à 90	4 à 6 sem.				
	Prunes	-2,2	3,69	1,89	289,11	0,42 à 0,75	0	85 à 90	3 à 4 sem.	-55	-18		1 année



# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Emballages :

$$Q_{emb} = m \cdot c_p \cdot (\theta_i - \theta_f)$$

Avec :

$Q_{emb}$  : apport de chaleur par les emballages [kJ]

$m$  : masse des emballages [kg]

$c_p$  : capacité thermique massique des emballages [kJ/kg]

$\theta_i$  : température initiale des emballages [°C]

$\theta_f$  : température finale des emballages [°C]





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Total des produits :

Le poste produits se résume ainsi :

$$Q_{\text{produits}} = Q_{\text{denrées}} + Q_{\text{resp}} + Q_{\text{emb}}$$

Exemple :

Données : Masse de pommes à introduire :  $m_{\text{pommes}} = 30$  tonnes

Capacité de la chambre: 300 tonnes

Chaleur massique des pommes :  $c_{p \text{ pommes}} = 3,6$  kJ/kg.K

Chaleur de respiration des pommes à 2°C :  $C_{\text{resp}} = 1,3$  kJ/kg

à 20°C:  $C_{\text{resp}} = 53$  KJ/tonne

Masse de caquettes en bois :  $m_{\text{caquettes}} = 20$  kg

Chaleur massique du bois :  $c_{p \text{ bois}} = 2,75$  kJ/kg.K

On considère que les produits rentrent à 20°C pour être refroidis à 2°C ( $\Delta\theta=18^\circ\text{C}$ )

$$Q_{\text{produits}} = Q_{\text{denrées}} + Q_{\text{resp}} + Q_{\text{emb}}$$

$$Q_{\text{produits}} = (30000 \times 3,6 \times 18) + [(30000 \times 1,3) + (270 \times 53)] + (20 \times 2,75 \times 18)$$

$$Q_{\text{produits}} = 1\ 998\ 300 \text{ kJ}$$





# Bilan thermique



## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 3 : apport de chaleur par la ventilation

Les évaporateurs installés dans l'enceinte à réfrigérer sont généralement équipés de ventilateurs. Les pertes thermiques des moteurs électriques constituent un apport de chaleur à prendre en compte dans le bilan :

$$Q_{\text{ventil}} = P_{\text{abs}} \cdot t$$

Avec :

$Q_{\text{ventil}}$  : apport de chaleur par la ventilation [kJ]

$P_{\text{abs}}$  : puissance absorbée par les moteurs de ventilateurs [kW]

$t$  : temps de fonctionnement des ventilateurs [s]

#### Le temps de fonctionnement des ventilateurs varie selon l'application :

*Cas général* : le temps de fonctionnement des ventilateurs est identique au temps de fonctionnement des compresseurs.

*Cas d'une chambre à hauteur importante* : les ventilateurs restent alimentés en permanence afin d'éviter une stratification de la température de l'air. Le temps de fonctionnement des ventilateurs est alors de 24 heures (86400 secondes).

*Cas d'un tunnel* : la ventilation est en route tout au long du cycle : le temps de fonctionnement à prendre en compte est alors le temps du cycle.





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

La puissance absorbée des ventilateurs se calcule de la manière suivante :

Avec :  $Q_v$  : débit volume du ventilateur [ $m^3/s$ ]

$\Delta P$  : pression fournie par le ventilateur [Pa]

- 200 à 400 Pa pour une chambre froide
- jusqu'à 600 Pa pour un tunnel

$\eta$ : rendement global du ventilateur (entre 0,5 et 0,6)

$$P_{abs} = \frac{Q_v \cdot \Delta P}{\eta}$$

Le débit  $Q_v$  du ventilateur s'obtient à partir d'une autre formule :

Avec :  $\tau_B$  : taux de brassage en volumes par heure

15 à 30 vol/h pour des chambres froides de stockage à température négative

→ 20 à 40 vol/h pour des chambres froides de stockage à température positive

→ 300 à 900 vol/h pour des tunnels

→ VCF : volume de la chambre froide ou du tunnel [ $m^3$ ]

$$Q_v = \frac{\tau_B \cdot V_{CF}}{3600}$$

Pour les tunnels, ce débit peut également s'obtenir en se fixant une vitesse d'air, tout en connaissant la section de passage de l'air :

$$Q_v = v \cdot S$$

avec:  $v$  : vitesse d'air [ $m/s$ ]

$S$  : section de passage d'air [ $m^2$ ]





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Exemple :

- La chambre froide de stockage est à température positive
- Taux de brassage de 30 vol/h
- Volume de chambre de 1200 m<sup>3</sup>

Le débit est de :  $Q_v = \frac{30 \times 1200}{3600} = 10 \text{ m}^3 / \text{s}$

- Différentiel de pression du ventilateur choisi de 300 Pa
- Rendement du ventilateur est de 0,6.

La puissance du ventilateur sera alors de :  $\dot{P}_{\text{abs}} = \frac{10 \times 300}{0,6} = 5000 \text{ W}$

Sur une journée de 24 heures, on considère que les compresseurs fonctionnent 18 heures (fonction de la régulation).

Le temps de fonctionnement des ventilateurs est alors identique, ce qui permet de calculer la charge due à la ventilation :

$$Q_{\text{ventil}} = 5 \times 18 \times 3600 = 324\,000 \text{ kJ}$$





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 4 : apport de chaleur dû au renouvellement d'air

Le renouvellement d'air correspond aux ouvertures des portes de la chambre froide, qui constituent un apport thermique supplémentaire.

$$QRA = m_{\text{air}} \cdot (h_e - h_i)$$

Avec :

QRA : apport de chaleur dû au renouvellement d'air [kJ]

M<sub>air</sub> : masse d'air neuf entrant dans la chambre [kg]

h<sub>e</sub> : enthalpie de l'air extérieur [kJ/kg]

h<sub>i</sub> : enthalpie de l'air intérieur [kJ/kg]



# Bilan thermique



## Calcul des différents postes du bilan

Il faut savoir estimer la masse d'air entrant. Pour cela, on utilise la notion de taux de renouvellement d'air (vol/h), ou nombre de renouvellements d'air par 24h (vol/j).

$$m_{\text{air}} = \frac{V_{\text{air}}}{v''_i} = \frac{\text{nr} \cdot V_{\text{CF}}}{v''_i}$$

Avec :

- $V_{\text{air}}$  : volume de l'air entrant [m<sup>3</sup>]
- $v''_i$  : volume massique de l'air intérieur [m<sup>3</sup>/kg]
- $V_{\text{CF}}$  : volume de la chambre froide [m<sup>3</sup>]
- nr : nombre de renouvellement d'air [vol/j]

*Ce nombre de renouvellement d'air correspond au nombre de fois que le volume de la chambre est renouvelé en une journée, soient 24 heures.*

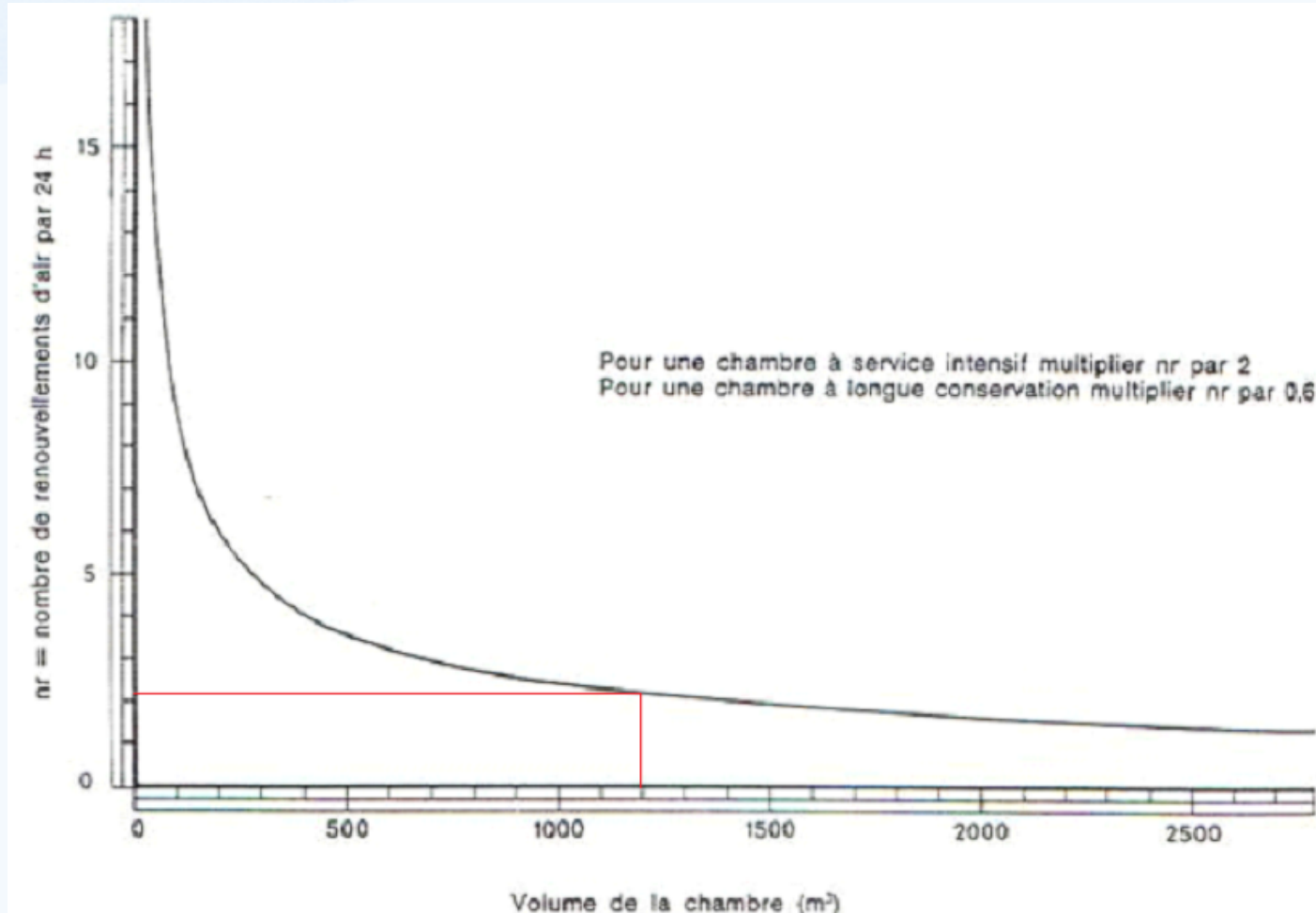
Une courbe permet d'estimer ce nombre en fonction du volume de la chambre :





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan



F



# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Exemple :

La chambre de conservation de pommes est à considérer comme une chambre à conservation longue (multiplier nr par 0,6). Connaissant son volume de 1200 m<sup>3</sup>, on obtient  $nr = 2,2 \times 0,6 = 1,32$ .

L'hygrométrie maintenue dans la chambre est de 90%.

Le volume massique de l'air à 2°C et 90% est de 0,783 m<sup>3</sup>/kg(as), ce qui donne une masse d'air de :

$$m_{\text{air}} = \frac{1,32 \times 1200}{0,787} = 2012,7 \text{ kg}$$

Considérons que l'air extérieur est à 40°C / 50%.

$h_e = 100,69 \text{ kJ/kg(as)}$

$h_i = 11,84 \text{ kJ/kg(as)}$

$$\text{QRA} = 2012,7 \times (100,69 - 11,84) = 178\,828 \text{ kJ}$$





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Exemple :

L'hygrométrie maintenue dans la chambre est de 90%.

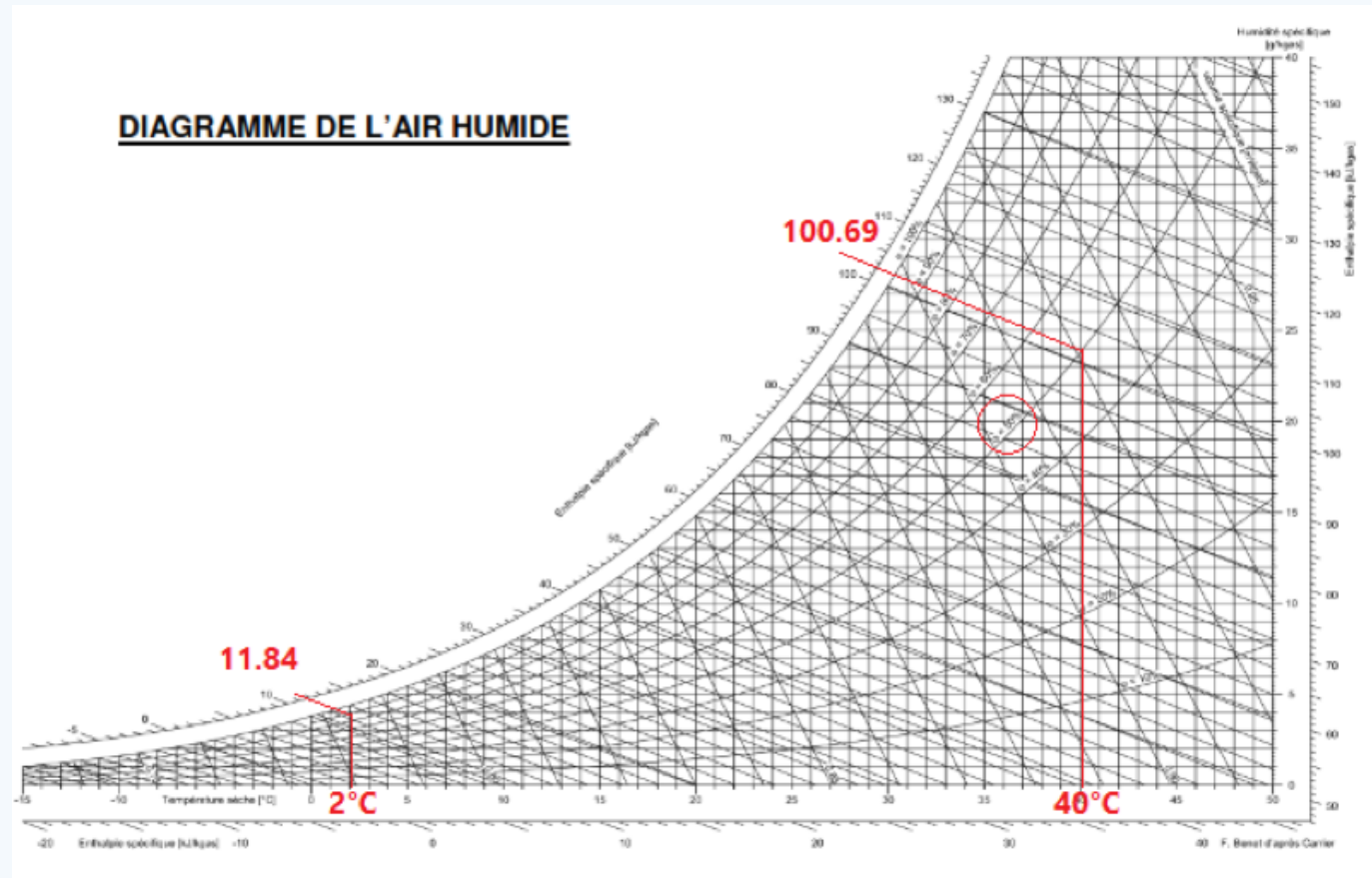
Le volume massique de l'air à 2°C et 90% est de 0,783 m<sup>3</sup>/kg(as),

Considérons que l'air extérieur est à 40°C / 50%.

$h_e = 100,69$  kJ/kg(as)

kg(as)

$h_i = 11,84$  kJ/kg(as)





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 5 : apport de chaleur par les machines

$$Q_{mach} = N \cdot P \cdot t$$

Avec :

Q mach : apport de chaleur par les machines [kJ]

N : nombre de machines

P : puissance thermique dégagée par les appareils [kW]

t : temps de fonctionnement [s]

### Exemple:

Puissance chariot élévateur = 4,4 KW

Séjour dans la chambre 2 heures

$$Q_{écl} = 4,4 \times (2 \times 3600) = 31\ 680\ \text{KJ}$$







# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 6 : apport de chaleur par l'éclairage

$$Q_{\text{écl}} = P_{\text{écl}} \cdot t$$

Avec :

$Q_{\text{écl}}$  : apport de chaleur par l'éclairage [kJ]

$P_{\text{écl}}$  : puissance thermique dégagée par l'éclairage [kW]

$t$  : temps de calcul [s]

La puissance de l'éclairage est de l'ordre de 5 à 20 W/m<sup>2</sup>. Il faut multiplier cette valeur par la surface au sol et diviser par 1000 pour obtenir la puissance en kW.

### Exemple:

Surface de la chambre = 200 m<sup>2</sup>

Puissance d'éclairage est estimée à 10 W/m<sup>2</sup>

Séjour dans la chambre 2 heures

$$\begin{aligned} Q_{\text{écl}} &= 200 \times 10 \times (2 \times 3600) = 14\,400\,000 \text{ J} \\ &= 14\,400 \text{ KJ} \end{aligned}$$





# Bilan thermique

## Calcul des différents postes du bilan

### Poste 7 : apport de chaleur par les occupants

$$Q_{\text{pers}} = N \cdot P_{\text{pers}} \cdot t$$

Avec :

$Q_{\text{pers}}$  : apport de chaleur par les occupants [kJ]

N : nombre de personnes

$P_{\text{pers}}$  = puissance par personne [kW]

t : temps d'occupation [s]

#### Exemple:

Nombre des personnes = 2 personnes

Puissance par personne = 0,258 KW

Séjour dans la chambre 2 heures

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

$$Q_{\text{écl}} = 2 \times 0,258 \times (2 \times 3600) = 3\ 715 \text{ KJ}$$





# Bilan thermique

## Somme des apports de tous les postes

Une fois que tous les postes ont été calculés, il faut additionner les quantités de chaleur pour obtenir le bilan total, en kJ.

Les postes 5, 6 et 7 sont souvent négligeables en rapport avec les autres postes, et difficiles à calculer. En général, on prendra un pourcentage des apports précédents pour estimer la quantité de chaleur dégagée par ces trois postes de 5 à 10 % de Q total

$$Q_{\text{total}} = \sum Q$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{parois}} + Q_{\text{produits}} + Q_{\text{ventil}} + Q_{\text{RA}} + Q_{\text{mach}} + Q_{\text{écl}} + Q_{\text{pers}}$$



# Bilan thermique

## Somme des apports de tous les postes

### Exemple :

$$\begin{aligned} & Q_{\text{parois}} + Q_{\text{produits}} + Q_{\text{ventil}} + Q_{\text{RA}} + Q_{\text{mach}} + Q_{\text{produits}} + \\ & Q_{\text{pers}} \\ & = 1\,998\,300 + 324\,000 + 178\,828 + 31\,680 + 14\,400 + 3\,715 \\ & \text{la somme globale des apports :} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{total}} = 2\,550\,923 \text{ kJ}$$





# Bilan thermique

## Calcul de la puissance frigorifique

La phase finale du calcul du bilan consiste à diviser la quantité d'énergie totale par le temps de fonctionnement des compresseurs pour obtenir la puissance frigorifique à installer.

$$\Phi_0 = \frac{Q_{\text{total}}}{t_{\text{CP}}}$$

**Attention !**  $t_{\text{CP}}$  est **le temps de marche des compresseurs** qui sert à calculer la puissance des équipements. **A ne pas confondre avec le temps de base du calcul** qui sert à évaluer les apports thermiques sur toute la durée de réfrigération ou de conservation.





# Bilan thermique

## Calcul de la puissance frigorifique

En effet, les compresseurs ne fonctionnent pas pendant toute la durée d'utilisation. S'il s'agit d'une chambre froide, on considèrera qu'ils fonctionnent entre 16 et 20 heures par jour (en fonction de la fréquence d'ouverture des portes).

En revanche, pour un tunnel, les compresseurs fonctionnent pendant toute la durée du cycle. Dans ce cas,  $t_{cp}$  = temps de base du calcul

### Exemple :

S'agissant d'une chambre froide de conservation, on considèrera que les compresseurs fonctionnent en moyenne 18 heures par jour.

Le bilan s'obtient alors de la façon suivante :  $2\ 550\ 923 / 18 \times 3600 = 39,366\ \text{kJ/s}$

On arrondira toujours à la valeur supérieure :

$$\Phi_0 = 40\ \text{kW}$$





شكرا

**Merci**

**Thanks**

**Gracias**

**Obrigado**



**QUESTIONS**  
**/ REPOONSES**