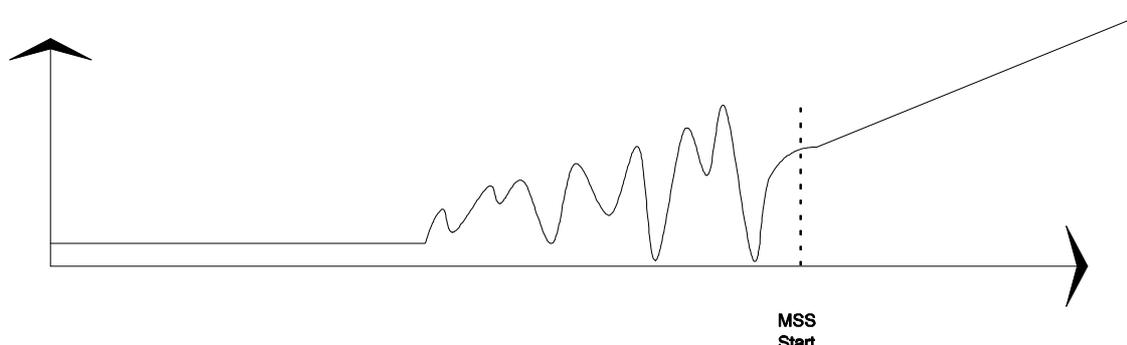
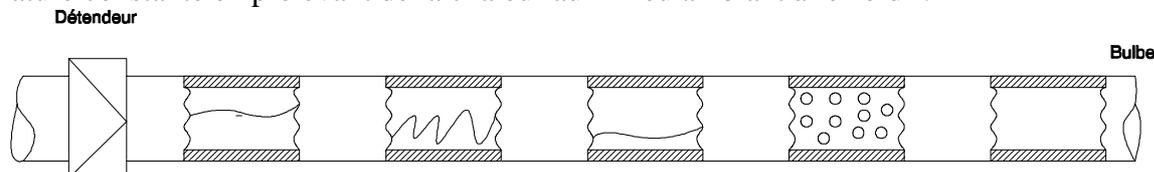


LES EVAPORATEURS

1) Généralités:

11) Rôle:

C'est un échangeur dans lequel le fluide frigorigène liquide, après détente, est évaporé à température constante en prélevant de la chaleur au milieu ambiant à refroidir.



L'évaporateur doit assurer le passage du flux calorifique provenant du médium à refroidir au fluide frigorigène ceci se faisant à température constante (R12 - R22 - R502) par libération de la chaleur latente de vaporisation. L'absorption de ce flux calorifique ne nécessite pas de zones fonctionnelles contrairement au condenseur car le fluide est déjà détendu et à température d'évaporation.

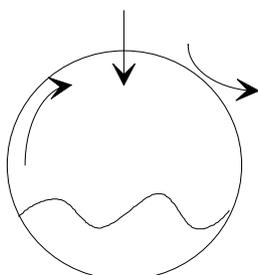
Nous voyons sur le schéma ci-dessus que l'évaporateur est rempli d'un mélange hétérogène de liquide et de vapeur, mélange d'autant plus riche en vapeur que l'on s'éloigne du point d'injection

12) Transmission de la chaleur:

Une bonne transmission thermique de l'évaporation assure une faible différence de température ($\Delta\theta$) afin de rapprocher la température ambiante de l'enceinte de la température de vaporisation du fluide.

121) Mode de transmission de la chaleur:

Considérons un tube d'évaporateur en coupe, nous avons quelle que soit la position de cette section:



A l'intérieur du tube: le fluide frigorigène sous forme de mélange liquide-vapeur à titre variable mais à température constante θ_0

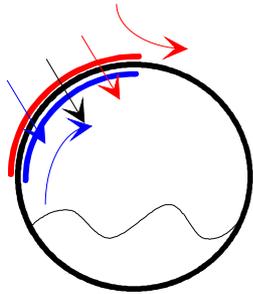
A l'extérieur du tube: le médium à refroidir qui circule au droit de cette section à une température θ_f (les fluides circulant généralement à contre courant).

Séparant les deux courants fluides: une paroi métallique d'épaisseur e mm baignée sur ces deux surfaces par des fluides en circulation dont les températures en tout point de l'évaporateur sont telles que $\theta_f > \theta_0$.

Dans ces conditions nous nous retrouvons au point de vue transmission de chaleur en présence d'un "mur homogène" et l'échange se fera:

- par convection du fluide frigorigène à la surface interne du tube,
- par conduction à travers la paroi,
- par convection de la surface extérieure du tube au médium à refroidir.

En pratique les conditions sont telles que la paroi interne sera tapissée par un film d'huile d'une part et d'autre part nous observerons la présence de givre sur la surface extérieure du tube. En réalité notre "mur homogène" est donc un "mur composé".



L'échange thermique se fait par:

- convection du fluide à la surface de l'huile tapissant le tube,
- conduction à travers la paroi composée de l'huile, du tube et du givre,
- convection de la surface extérieure du givre à l'air ambiant,
- dans les conditions de fonctionnement ci-dessus nous appellerons:

hcf: convection du fluide,

e1 λ1,

e2 λ2 les différentes épaisseurs et leur coeff. de conductibilité,

e3 λ3,

hcm convection de la surface externe.

Le coefficient global de transmission pouvant s'écrire:

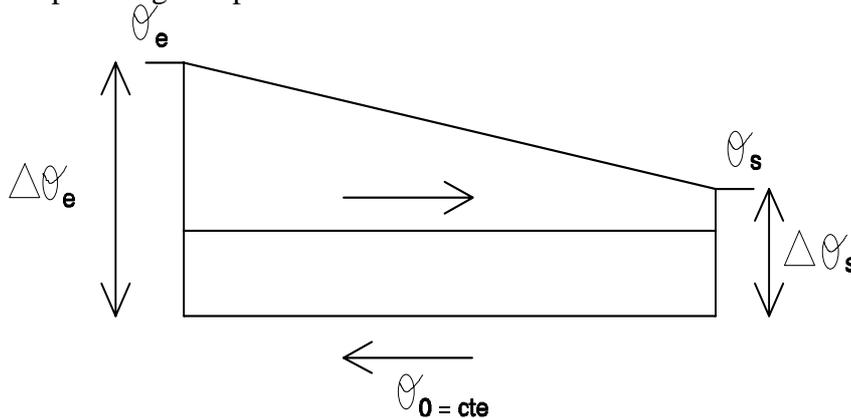
$$\frac{1}{K} = R = \frac{1}{h_{cf}} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_{cm}}$$

Evaporateurs: coefficients globaux de transmission: K

	TYPES		K W/m²K
Refroidisseur de liquides	à immersion	à serpentins	70 à 95 230 à 290
		à grilles intensifs	400 à 470 580
	à ruissellement		930 à 1400
	multitubulaires à calandres	horizontaux	460 à 700
dry-ex verticaux		930 à 1200 820 à 1400	
plaques eutectiques		eau ou saumure	35 / 95
Refroidisseur de gaz	circulation d'air naturelle	tubes ailettés	7 à 9
	plaques eutectiques		6 à 8
	circulation d'air forcée	tubes ailettés	16 à 24

122) Détermination du Δθ:

L'échange de chaleur au niveau de l'évaporateur à lieu entre le fluide se vaporisant à température constante θ_0 et un fluide (liquide ou gaz) se refroidissant de θ_e à θ_s ce que nous pouvons représenter schématiquement par la fig. ci-après:



Dans les conditions indiquées nous voyons que l'écart moyen sera égal à la moyenne des écarts extrêmes

- soit l'écart d'entrée $\Delta\theta_e = \theta_e - \theta_0$,
- soit l'écart à la sortie $\Delta\theta_s = \theta_s - \theta_0$.

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta_e + \Delta\theta_s}{2}$$

valeur de l'écart moyen

$$\Delta\theta = \frac{\theta_e - \theta_0 + \theta_s - \theta_0}{2} = \frac{\theta_e + \theta_s}{2} - \theta_0$$

$$\text{si } \frac{\theta_e + \theta_s}{2} = \theta_m \text{ on a } \Delta\theta = \theta_m - \theta_0$$

L'écart moyen $\Delta\theta$ est égal à la différence entre la température moyenne du fluide à refroidir et la température de vaporisation.

Ecart moyen logarithmique:

Lorsque les valeurs de $\Delta\theta_e$ et $\Delta\theta_s$ s'éloignent l'une de l'autre l'utilisation de l'écart moyen arithmétique peut conduire à la détermination de surface d'échange insuffisante. Cet écart étant supérieur à l'écart réel qui est l'écart logarithmique.

Il a pour valeur en prenant $\Delta\theta_{\max}$ et $\Delta\theta_{\min}$ les écarts entre les fluides:

$$\Delta m = \frac{\Delta\mathcal{G}_{\max} - \Delta\mathcal{G}_{\min}}{\ln \frac{\Delta\mathcal{G}_{\max}}{\Delta\mathcal{G}_{\min}}}$$

$$\text{avec } \ln \frac{\Delta\mathcal{G}_{\max}}{\Delta\mathcal{G}_{\min}} = 2,30 \log \frac{\Delta\mathcal{G}_{\max}}{\Delta\mathcal{G}_{\min}}$$

D'autres procédés comme la formule empirique de Baser où le monogramme de Mehner peuvent aider à calculer cet écart.

$$\text{Formule de BASER: } \Delta\theta_m = \left(\frac{\sqrt[3]{\Delta\theta_{\max}} + \sqrt[3]{\Delta\theta_{\min}}}{2} \right)^3$$

Suivant le calcul employé pour cet écart moyen une variation de 1°C peut amener à une erreur de 30% sur la puissance de l'évaporateur

Grandeurs caractéristiques d'évaporateur:

$$\phi_0 = K S \Delta\theta$$

- ϕ_0 : est la puissance frigorifique de l'évaporateur en W,
- K: caractéristique de l'évaporateur, nous indique la quantité de chaleur qu'il peut absorber par m² de surface, par seconde, par degré d'écart en W/m²°K,
- S: surface totale de transmission de l'évaporateur en m²,
- $\Delta\theta$: différence de température entre la température ambiante intérieure et la température de vaporisation.

$\Delta\theta = \theta_a - \theta_e$ en °K (degré Kelvin).

K et S: leurs valeurs sont fixées et déterminées par la conception de l'évaporateur.

θ : ses valeurs oscillent autour d'une donnée moyenne déterminée par la conception de l'évaporateur

a: Evaporateur refroidisseur d'air:

le $\Delta\theta$ diminue pour une ventilation supérieure et inversement.

b: Evaporateur refroidisseur de liquide:

le $\Delta\theta$ diminue pour un débit du liquide à refroidir inférieur et inversement.

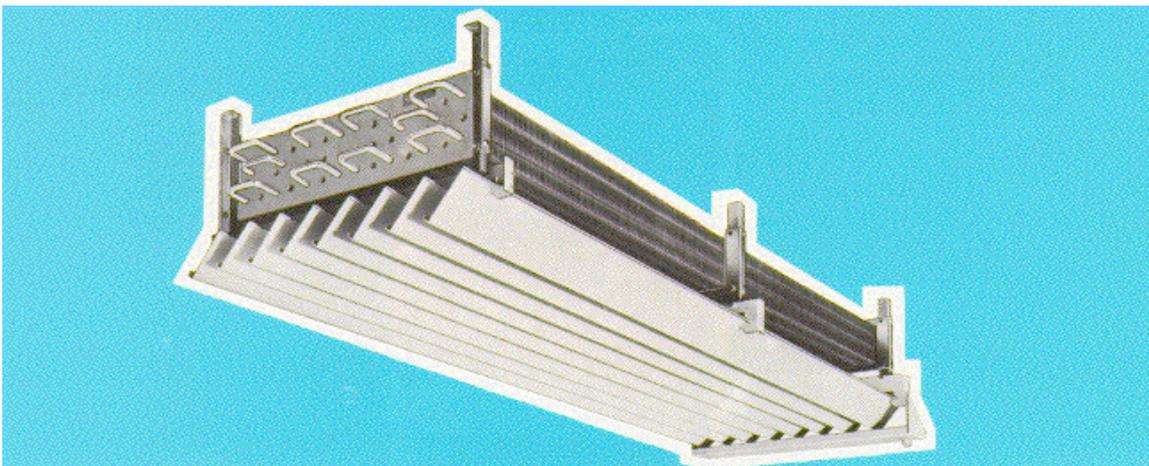
2) Evaporateur refroidisseur d'air:

Installé dans les enceintes à température positive et négative, ils peuvent être:

21) à circulation naturelle:

211) à ailettes:

Constitué de tube lisse et serti d'une multitude d'ailettes augmentant la surface d'échange, K de 6 à 8 w/m²K (Watt/mètre carré.degré Kelvin).



212) Roll Bond:

Fabriqué à partir de deux feuilles d'aluminium laminées dont une est recouverte d'une pâte spéciale figurant le tracé du circuit. La pâte est ensuite chassée et le circuit fermé gonflé hydrauliquement pour obtenir un circuit.

$\Delta\theta$ de 18 K.

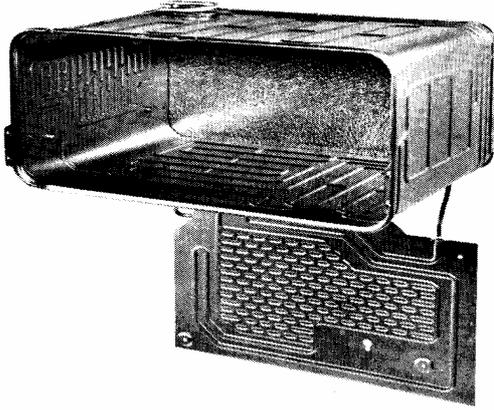


Fig. 182

(Doc. Rubanox.)

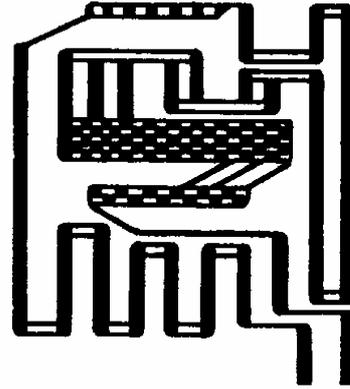


Fig. 180

213) à plaque eutectique:

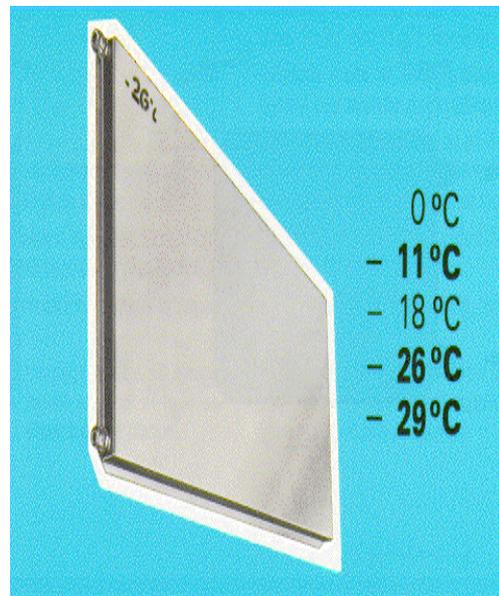
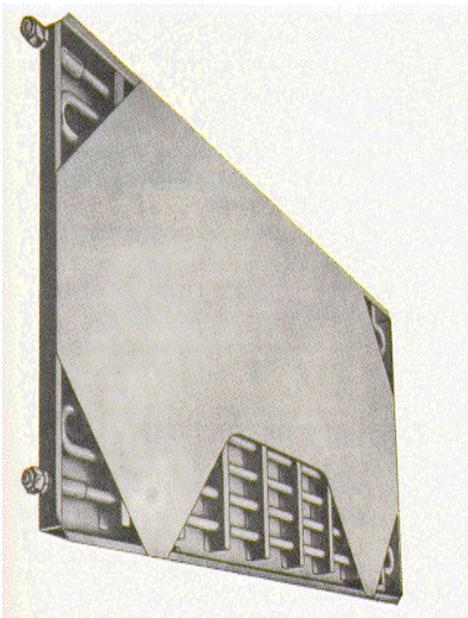
Constitué d'un caisson en tôle parcourue par un serpentin de fluide frigorigène baignant une saumure remplissant le caisson à 80%.

Utilisée essentiellement dans les conteneurs, elle permet entre deux fonctionnements un arrêt prolongé de l'installation frigorifique sur le terrain et durant un transport de vivres.

Pendant le fonctionnement de l'installation, la saumure doit se congeler complètement. La température de solidification inscrite sur la plaque eutectique se situe entre -1°C et -26°C $\Delta\theta = 3$ à 5°C .

A l'arrêt, la décongélation de la saumure, de par sa chaleur latente de fusion, permet un refroidissement prolongé des denrées.

Le $\Delta\theta$ entre la plaque et l'ambiance est difficilement contrôlable et maintenu.



22) à circulation forcée:

L'évaporateur à ailettes est équipé d'un ventilateur qui augmente le débit d'air sur une partie des ailettes abaissant le $\Delta\theta$ et augmentant le coefficient K.

221) à air forcé:

Les évaporateurs sont entièrement carénés, la totalité du serpentin est influencée par le flux d'air.

Position des tubes:

Afin de ne pas avoir des circuits d'air privilégiés et d'autres peu intéressés par la surface froide représentée par les tubes et les ailettes cas de la fig.1 on a été amené comme sur la fig.2 à disposer les tubes en quinconce par rapport au sens de circulation de l'air. La turbulence ainsi créée par le choc des filets d'air sur ces surfaces solides et les remous qu'elle entraîne sont des facteurs favorables à l'augmentation du coefficient extérieur de transmission par convection.

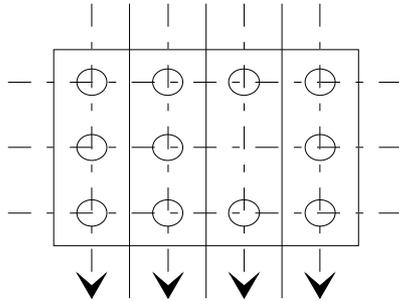


fig. 1

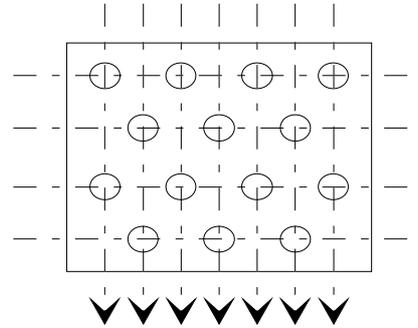


fig.2

Ecartement des ailettes

Les procédés automatiques et cycliques de dégivrage permettent de réduire l'écartement des ailettes.

Les écartements, variables suivant les constructeurs, s'échelonnent de 4 à 16 mm.

Ainsi peut-on trouver dans une chambre positive un évaporateur dont les ailettes ont un écartement moyen si les denrées dégagent beaucoup de vapeur d'eau et dans une négative un évaporateur dont les ailettes ont un écartement faible car dans ce cas les denrées surgelées et emballées ont une émission de vapeur d'eau pratiquement nulle et l'évaporateur sera équipé d'un système de dégivrage automatique.

ECART DE TEMPERATURE RECOMMANDE POUR LES EVAPORATEURS A AIR

Les écarts de températures influencent l'humidité relative d'un local réfrigéré

Le tableau suivant donne une idée pratique de l'écart de température à observer suivant la catégorie de produit à conserver et le mode de circulation de l'air

	Mode de circulation de l'air	CATEGORIE 1	CATEGORIE 2	CATEGORIE 3	CATEGORIE 4
Températures POSITIVES	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

	Mode de circulation de l'air	produits congelés ou à congeler NON EMBALLES	Produits congelés ou à congeler EMBALLES
Températures NEGATIVES	PULSE	5 à 6° C	7 à 8° C

Sur le document suivant nous avons classé par catégorie les denrées en fonction de leur humidité relative

CATEGORIE 1 TRES HAUTES humidités relatives (environ 90 à 95 %)	CATEGORIE 3 MOYENNES humidités relatives (environ 80 à 85 %)
<ul style="list-style-type: none"> - Certains fromages (StNectaire St Gorlon) - certains légumes (en particulier: épinards laitues choux de bruxelles rutabagas) - Poissons frais - Pâtes à pain - Beurre non emballé Certains fruits en stockage de longue durée 	<ul style="list-style-type: none"> - Denrées diverses (restaurants) - Poissons sans glace - Viande en quartiers - Oignons - Volailles fraîches - Fruits ayant une peau relativement épaisse (coing, melon)
CATEGORIE 2 HAUTES humidités relatives (environ 85 à 90 %)	CATEGORIE 4 FAIBLES humidités relatives (environ 75 à 80 %)
<ul style="list-style-type: none"> - Viandes fraîches conditionnées ou en carcasses - Lapins - Jambon frais - Longes fraîches - Huîtres - certains fruits (en particulier pommes poires groseilles vertes) en stockage moyenne durée - Agrumes - La plupart des légumes (betteraves rouge carottes choux haricots verts) - Fleurs coupées - Oeufs en caisses à claire-voie - Bière en fûts de bois - Certains fromages 	<ul style="list-style-type: none"> - Viandes fruits légumes poissons. séchés - Lait - Crèmes - Conserves - Confitures - Boissons en bouteilles ou en fûts métalliques - Laitages - Et en général tous les produits protégés par une enveloppe étanche à l'air

Ecartement des ailettes:

L'écartement des ailettes d'un évaporateur dépend de plusieurs critères:

- des conditions de fonctionnement de l'évaporateur,
- des fréquences de dégivrages de l'installation,

- de la nature des denrées refroidies.

222) Les conditions de fonctionnement de l'évaporateur:

1- Température des ailettes:

- la température des ailettes peut-être supérieure ou inférieure à 0°C ,
- si $\theta_{\text{ailettes}} < 0^{\circ}\text{C}$ présence de givre possible.

2- Débit d'air des ventilateurs:

Pour permettre un débit d'air des ventilateurs correct sans trop de pertes de charges il est nécessaire de prévoir un espacement minimum.

3- Les fréquences de dégivrages:

Si on prévoit un dégivrage périodique fréquent on peut prévoir un écartement des ailettes plus faible.

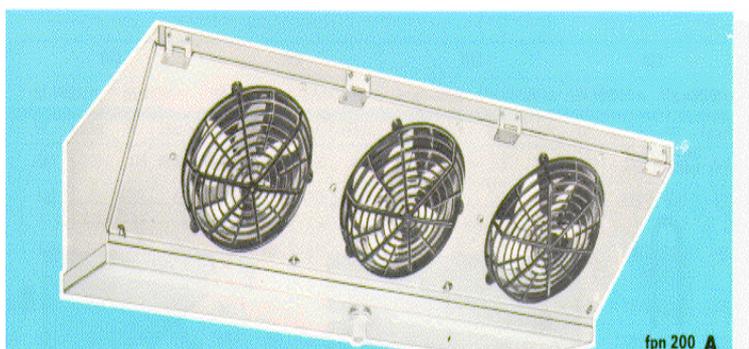
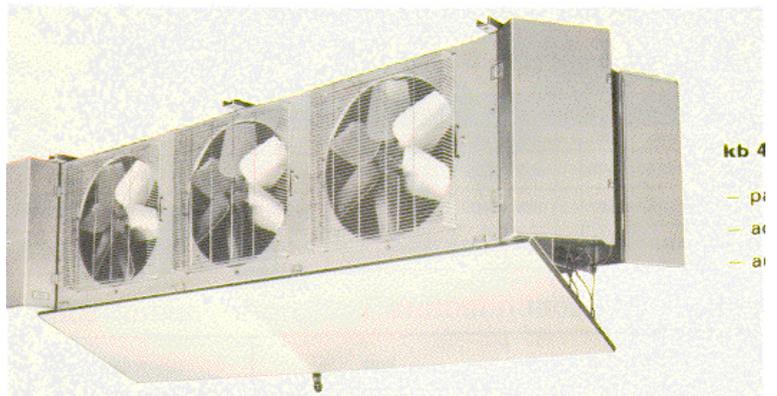
Choix d'écartement des ailettes:

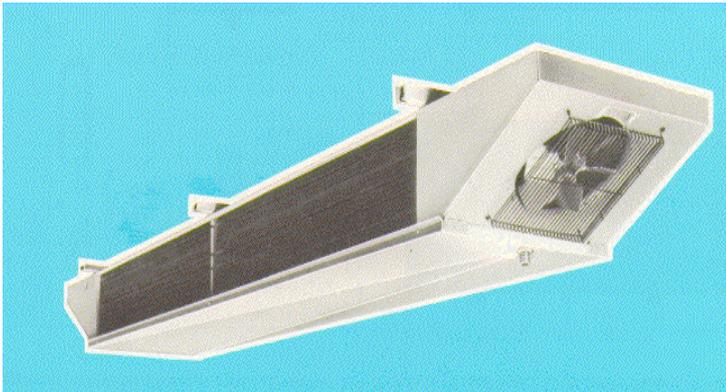
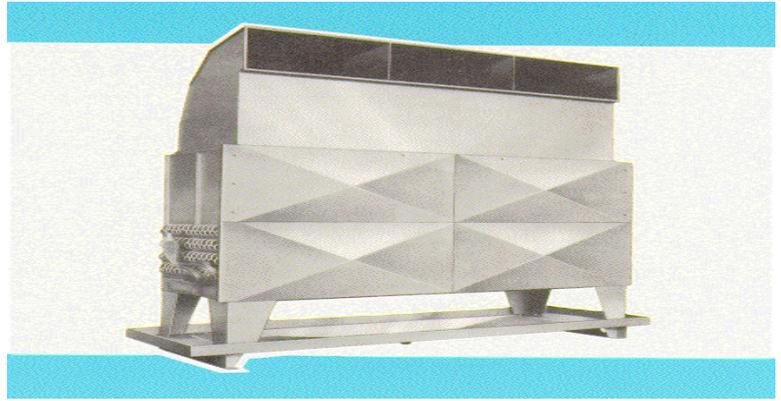
Si l'on reprend le tableau précédent on peut donner un ordre de grandeur de l'écartement à adopter pour des températures normales de conservation ($\theta > 0^{\circ}\text{C}$).

- Catégorie 1 (90 à 95% d'humidité relative) 10 à 12 mm
- Catégorie 2 (85 à 90% d'humidité relative) 7 à 10 mm
- Catégorie 3 (80 à 85% d'humidité relative) 5,5 à 6,5 mm
- Catégorie 4 (75 à 80% d'humidité relative) 4,5 à 5,5 mm

Différents types existent:

- Evaporateur plafonnier ou mural
- Evaporateur à buse: $K = 11$ à $18 \text{ w/m}^2.\text{K}$





3) Evaporateur refroidisseur de liquide:

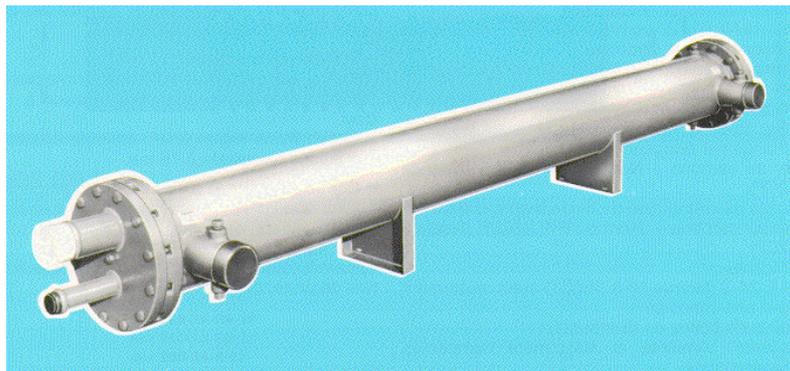
31) Evaporateur immergé:

Utilisé sur des refroidisseurs d'eau de saumure et les fabriques de crème glacée.

32) Refroidisseur d'eau et de saumure:

L'évaporateur, en général un serpentin à tube lisse, est placé au sein du liquide à refroidir.

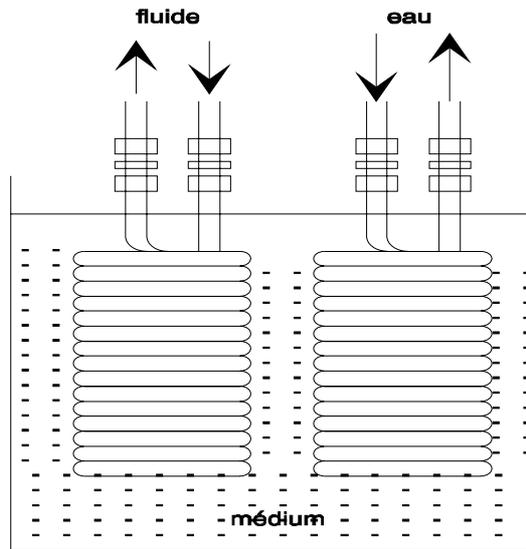
$\Delta\theta$ total de 4 à 6 K.



33) Fontaine réfrigérante (de certains types):

Deux serpentins baignent dans un bac d'eau "médium", le premier serpentin constitue l'évaporateur, le second le tube d'alimentation d'eau réfrigérée.

$\Delta\theta$ total 14 à 20 K.

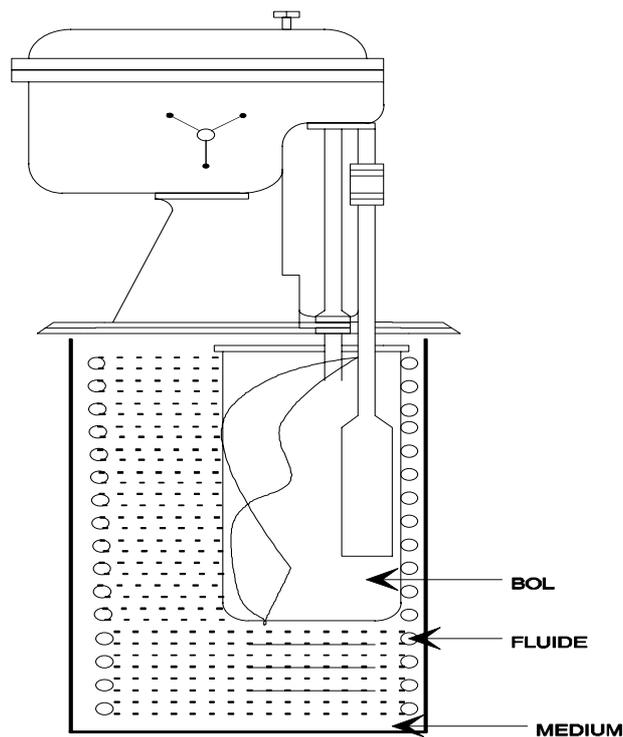


34) Fabrication de crème glacée:

L'évaporateur en forme de serpentin est immergé dans une saumure "ex: glycol" dans laquelle baigne le bol de fabrication de crème glacée.

La température de congélation de la saumure se situe très en dessous de la température d'évaporation.

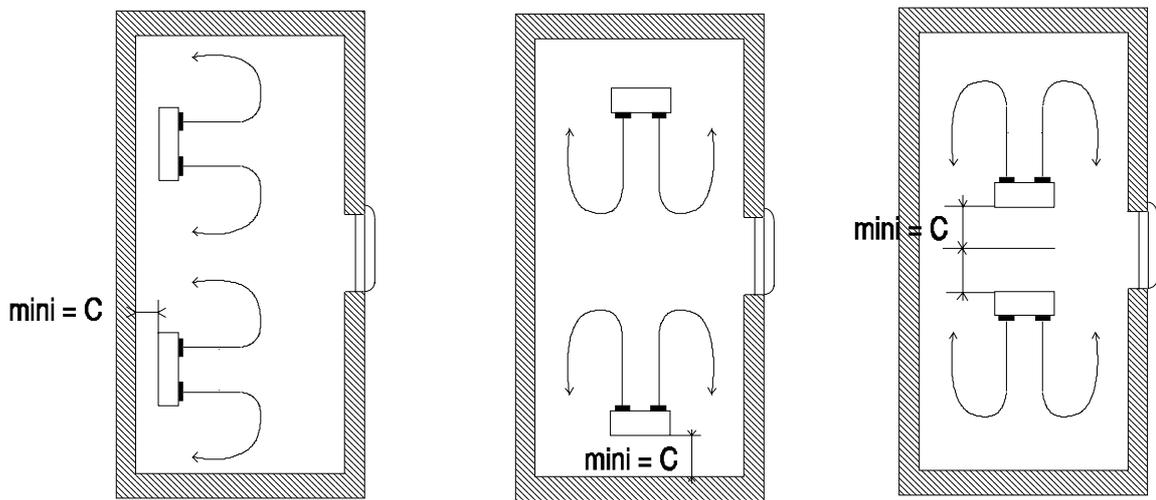
$\Delta\theta$ total (réfrigérant-crème glacée): 14 à 20 K



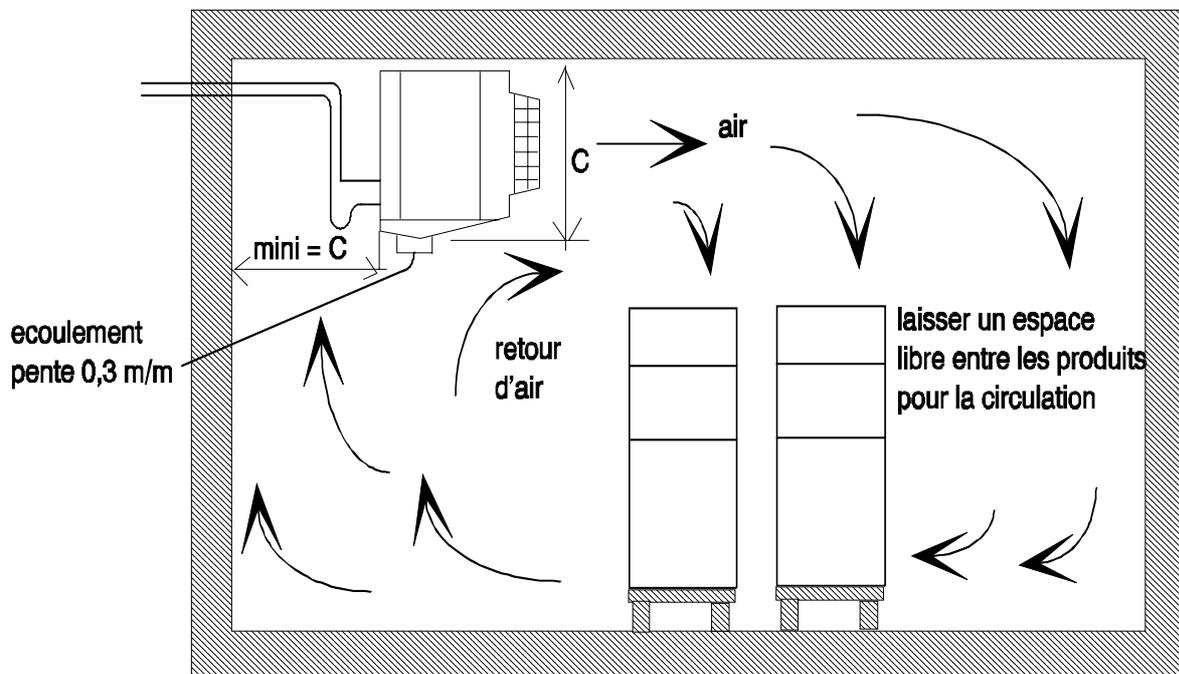
4) Entretien des évaporateurs:

Le dégivrage complet et périodique voit sa fréquence et sa durée déterminées par le dépôt de givre et de glace sur l'élément.

- L'écoulement des eaux de dégivrage doit rester libre,
- le bon fonctionnement des motoventilateurs doit être vérifié,
- faire maintenir une bonne circulation d'air autour de l'évaporateur,
- proscrire l'empilement de caisses devant l'élément,
- laisser le taux d'hygrométrie de l'enceinte favorisant la condensation et le givrage en proscrivant le stockage des liquides non bouchés et des denrées chaudes (plats cuisinés).



Dispositions classiques de plusieurs évaporateurs



5) Montage de l'évaporateur:

A l'installation, éviter les ponts thermiques en utilisant des matériaux isolants, (tige filetée en nylon) pour traverser les parois. Il faudra choisir judicieusement l'emplacement de ce module porter une grande attention au stockage afin de permettre une circulation d'air optimale.

Une attention toute particulière sera portée sur les écoulements (tubes pente isolation) des eaux de dégivrage ainsi qu'au dégivrage proprement dit.

6) Puissance:

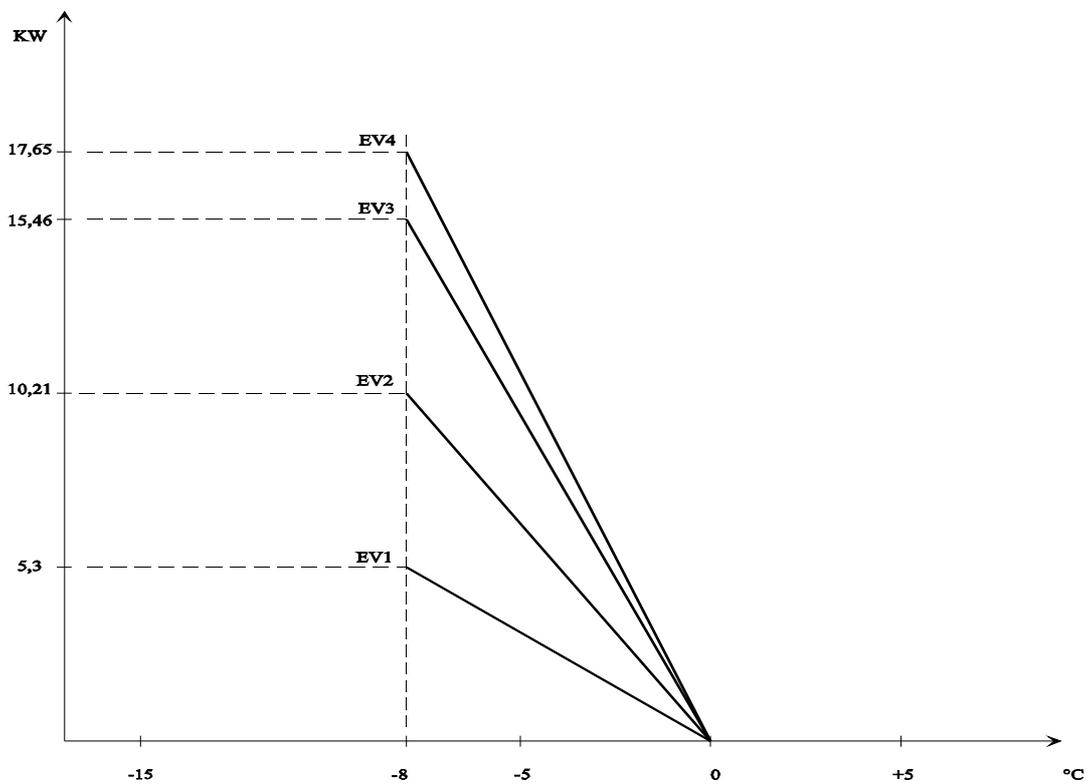
La puissance frigorifique des évaporateurs est donnée par la formule $\Phi = K.S.\Delta\theta$. Celle-ci est fonction du $\Delta\theta$ de l'évaporateur et donc de la température d'évaporation. Les constructeurs donnent pour chaque évaporateur les puissances pour une température d'évaporation et un $\Delta\theta$ (voir tableau).

Température d'évaporation - 8°C $\Delta\theta$ 8°C liquide +30°C

	EVAP 1	EVAP 2	EVAP 3	EVAP 4
R 12	5,30 W	10,21 W	15,46 W	17,65 W
R 22	5,44 W	10,44 W	15,91 W	18,26 W

Les valeurs de puissances peuvent être reportées sur un diagramme $\Phi = f(\theta_0)$. Il permettra de relever la puissance frigorifique pour des températures d'évaporation autres que celles données par le constructeur

En reprenant l'exemple du tableau ci-dessus on trace la courbe correspondant à la valeur donnée dans le tableau



Si on désire connaître la puissance frigorifique pour une autre température d'évaporation ou un autre Δt , il suffit de tracer une parallèle à la droite de référence voir graphe ci-dessous.

b: $\theta_0 = -5$ °C
 $\Delta\theta = 8$ °C $\rightarrow \Phi = 15,46$ kW

c: $\theta_0 = -8$ °C
 $\Delta\theta = 5$ °C $\rightarrow \Phi = 9,8$ kW

