



LE FROID EN ABATTOIR

En abattoir, le froid est partout, depuis le hall d'abattage climatisé jusqu'aux chambres froides de conservation des produits finis en attente de consommation. L'application du froid représente en abattoir des coûts très importants au niveau énergétique, pouvant atteindre 40 % voire 50 % de la facture énergétique totale. Les besoins en froid sont extrêmement importants lors du refroidissement des produits et leur qualité sera directement liée à la qualité du froid apporté (refroidissement lent ou refroidissement rapide, modifiant la conception des salles de refroidissement).

De plus, pour faire face à l'accroissement du secteur énergie, tout doit être mis en œuvre pour diminuer cette consommation. En conséquence nous nous proposons d'étudier tous les facteurs qui influenceront cette consommation énergétique (influence du choix des fluides frigorigènes, conséquence sur la conception des installations frigorifiques, choix des matériels frigorifiques et aérauliques).

Le froid en abattoir

Production et distribution

La réfrigération des produits carnés couvre de nombreuses étapes allant de l'abattage jusqu'à la conservation des produits finis. L'outil frigorifique doit être conçu selon des critères qualitatifs, législatifs mais aussi économiques. Différentes pistes sont données pour la conception de nouvelles installations frigorifiques ou modifier celles existantes.

Science et technique

POTTIER M.
GEA Matal SA
Rue de la Poste
BP 24
44860 LES SORINIERES

L'outil frigorifique devra être conçu pour l'utilisateur de manière à satisfaire et respecter les maintiens en température (communément appelé le respect de la chaîne du froid), adapter ses capacités pour moduler la vitesse de réfrigération en fonction des produits, et assurer depuis l'abattage, durant la transformation et jusqu'à la consommation la sécurité alimentaire des produits.

De manière générale, cet outil frigorifique devra assurer une réfrigération rapide :

- pour soustraire le produit à conserver le plus rapidement possible de l'action des bactéries,
- pour freiner l'évaporation d'eau des tissus et diminuer les pertes de poids,
- pour diminuer la superficie des locaux donc les investissements.

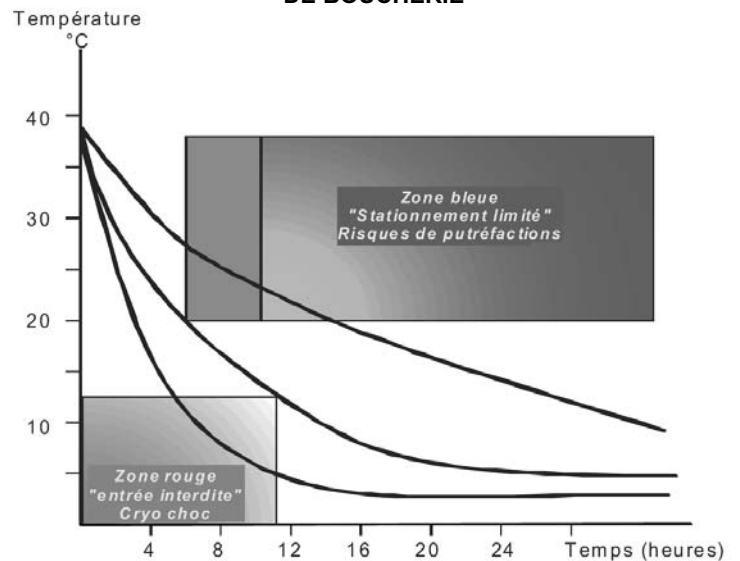
Le respect de la chaîne de froid et la vitesse de réfrigération sont dictés par différents aspects :

- **l'aspect législatif** : la température interne des viandes et abats doit être abaissée le plus rapidement possible (sans fixation de contrats de temps) à une température inférieure ou égale à 7 °C pour les carcasses et à 3 °C pour les abats. La viande doit ensuite être conservée à des températures à cœur inférieure à + 7 °C pour les carcasses et quartiers et + 3 °C pour les abats et les viandes conditionnées. Il ne doit en aucun cas exister de rupture de la chaîne de froid d'où l'obligation de maintenir les températures exposées ci-dessus.

- **l'aspect qualitatif** : en résumé, si la réfrigération est trop lente, le niveau de température permet la prolifération bactérienne qui va engendrer la putréfaction de la viande à court terme. Si la réfrigération est trop rapide, on obtient une viande particulièrement dure après cuisson. Cette altération est irréversible, même après un stockage prolongé. Ceci est lié au phénomène de contractures au froid (cryo-choc ou cold shortening). Ce phénomène apparaît lorsque les trois conditions suivantes sont satisfaites :

- températures des muscles inférieures à 10 °C°,
- pH > 6,
- présence d'adénosine triphosphate (ATP).

Figure 1
RÉFRIGÉRATION DES CARCASSES DES ANIMAUX
DE BOUCHERIE



(D'après ROSSET)

La figure 1 établie par le professeur ROSSET indique que les viandes dites « rouges » (viandes de bovins) ne doivent pas atteindre la température à cœur de 10 °C avant 12 h de refroidissement, mais descendre en température en dessous de 20 °C avant 10 h de refroidissement. Les viandes blanches comme le porc ou la volaille ont une cinétique différente et, par expérience, il est accepté des vitesses de réfrigération beaucoup plus rapides ne tenant compte que des phénomènes physiques influençant la réfrigération :

- conductibilité et chaleur spécifique de la viande;
- forme de la carcasse (poids, surface de contact avec le médium réfrigérant);
- différence de température entre le médium réfrigérant et le produit à refroidir;
- vitesse du médium réfrigérant (l'air le plus souvent) sur le produit (ce paramètre modifie considérablement le coefficient de transmission de chaleur en superficie).

En fonction des paramètres exposés ci-dessus, les mesures effectuées sur site industriel confirment les temps théoriques de refroidissement des viandes pour atteindre 7 °C à cœur selon les estimations suivantes :

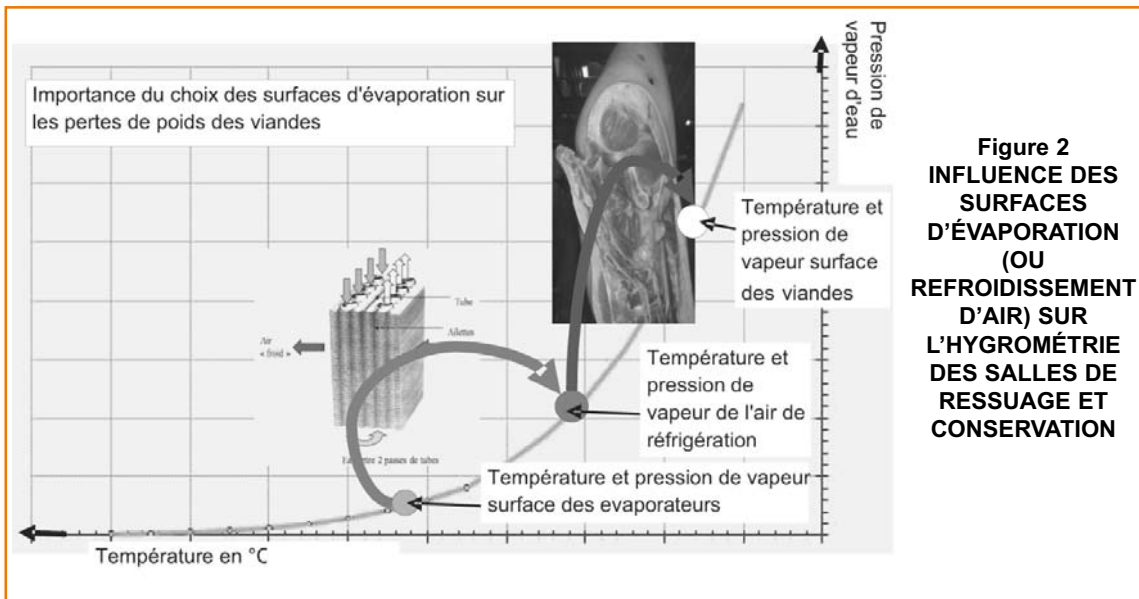
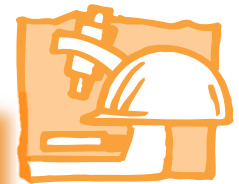
- entre 27 et 30 h pour atteindre 7 °C à cœur sur une carcasse de bovins,
- entre 17 et 20 h pour une carcasse de porc,
- entre 1 h 30 et 3 h 30 selon les vitesses d'air de réfrigération pour un poulet en moyenne de 1,2 kilo.

Il faut noter que la température d'air de refroidissement pour les bovins et les volailles est souvent égale ou supérieure à zéro alors que pour les carcasses de porcs, du fait de leur protection grasseuse, il est possible d'utiliser des températures d'air pouvant aller jusqu'à -15 °C pendant la phase dite de « ressuage » (période variable de 1 h 30 à 3 h).

Il faut noter également l'influence positive d'une forte hygrométrie sur la qualité de la réfrigération des carcasses à la fois lors de la phase dite de ressuage et de la phase de conservation. Une hygrométrie mal contrôlée lors de la réfrigération des carcasses entraîne une perte de matière non négligeable au niveau financier, peut changer l'aspect visuel des carcasses et favoriser le développement microbien lors du stockage pouvant provoquer des retours de marchandises (phénomène de « poissage » ou dépôt de gouttelettes d'eau à la surface des carcasses).

La conception des locaux de réfrigération et de conservation des carcasses et par là même de l'outil frigorifique assurant cette réfrigération sera donc fortement influencée par cette recherche de la limitation des pertes de poids ce qui conduit à :

- refroidir le plus rapidement possible la surface du produit en créant des locaux avec des zones de pré réfrigération de façon à garder un faible écart entre la température de surface du produit et la température du médium réfrigérant. Un point



particulier concernera l'amélioration de l'aéroulque lors des refroidissements par l'air;

- maintenir une forte hygrométrie avec une diminution de l'écart de température entre le médium réfrigérant et les surfaces des batteries utilisées lors de la réfrigération. Un autre point particulier concernera la conception et les surfaces d'échange des batteries de réfrigération.

L'objectif final est de rechercher les meilleurs rapports qualité/perte de poids en concevant des installations frigorifiques permettant de limiter les pertes de poids :

- de 0,6 à 1 % lors de la réfrigération (1,5 h à 3 h);
- de 1 % à 1,5 % lors du stockage de ces carcasses en fonction du temps de conservation nécessaire pour atteindre la température à cœur de 7°C.

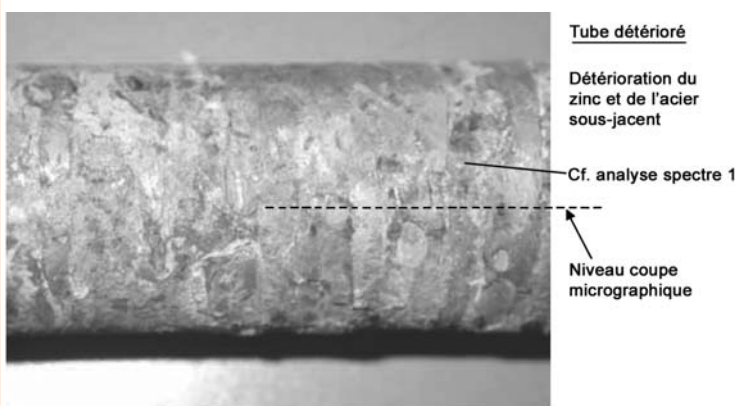
La figure n° 2 démontre l'influence des surfaces d'évaporation sur la perte de masse d'eau des viandes dans les salles de ressuage et conservation. L'air, médium de réfrigération se réchauffe au contact des animaux et transfère sa chaleur et sa vapeur d'eau sur les batteries à ailettes froides. Le fond du graphisme représente le diagramme d'air humide avec en ordonnée les pressions de vapeur d'eau et en abscisse les températures. L'eau transfère sous forme de vapeur d'eau à partir des plus hautes pressions vers les pressions les plus basses (donc de la température la plus haute vers la température la plus basse) et ce proportionnellement aux écarts de température existants entre la surface des viandes, l'air et les surfaces de réfrigération de l'air. D'où l'intérêt de diminuer drastiquement ces écarts lors de la réfrigération ou de la conservation notamment en augmentant les surfaces d'échange de réfrigération de l'air.

CONCEVOIR L'OUTIL FRIGORIFIQUE POUR ASSURER LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Les locaux et l'outil frigorifique sont déterminés pour assurer de l'abattage jusqu'au départ du produit fini une chaîne de froid irréprochable donc la sécurité des produits conservés. La conception des locaux doit répondre aux contraintes suivantes :

- assurer la marche en avant du produit de son arrivée à l'abattoir jusqu'à son emballage;
- assurer les besoins de niveau de propreté (zones propres, zones sales) et respecter les conditions de travail des employés (vitesses d'air inférieures à 0,2 m/s au niveau du personnel -- utilisation des gaines tissues -- utilisation de caissons de traitement d'air isolés -- utilisation de flux uni directionnel avec filtration poussée);
- contrôler les entrées d'air neuf et définir les extractions d'air vicié (en particulier éviter les condensations d'eau sur les parois froides après lavage par extractions d'air vicié);
- assurer l'efficacité du nettoyage (batteries évaporateurs à grand espacement d'ailettes, cuvettes polyester montées sur charnières -- mise en coffret ou sous fourreau inoxydable éloigné des parois des câbles électriques et appareils de régulation) et la compatibilité (photo 1) des matériaux aux produits lessiviels de nettoyage (-- le respect impératif des procédures de nettoyage et l'agrément du choix des produits lessiviels par les concepteurs des outils de réfrigération).

Photo 1
INCOMPATIBILITÉS DES MÉTAUX AVEC PRODUITS LESSIVIELS



CONCEVOIR L'OUTIL FRIGORIFIQUE POUR DIMINUER LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

L'importance grandissante du volet « énergie » dans les abattoirs a amené les concepteurs de l'outil frigorifique (froid mécanique) à concevoir et proposer des systèmes frigorifiques performants :

- installation de détente directe; circulation de fluide frigorigène par pompe (photo 2); amélioration des échanges thermiques (échangeurs noyés); diminution des puissances consommées en installant des artifices et des techniques de systèmes bi-étagés ou économiseurs;
- installation à refroidissement indirect (avec fluide frigo porteur monophasique tels que l'eau, les glycols, l'alcali, ou fluide frigo porteur diphasique tel le CO₂);
- elle les amène aussi à comparer les différents systèmes par la mesure et l'amélioration des performances énergétiques;
- rechercher les gains énergétiques dans chaque détail de conception du circuit frigorifique (diamètre de tuyauteries, isolation des tuyauteries, adéquation optimale des surfaces de tous les échangeurs du circuit frigorifique, choix des systèmes de condensation à air ou à eau) (figure 3);
- éviter les gaspillages et récupérer les évacuations de chaleur nécessitées par le circuit frigorifique; utiliser les pompes à chaleur industrielles (figure 4) pour produire en chaud jusqu'à 1,6 fois la puissance frigorifique avec des coefficients performance pouvant atteindre 6 à 7 permettant des retours sur investissement rapides (18 à 24 mois selon les puissances).
- utiliser des fluides frigorigènes préconisés et réglementés au niveau européen (tableau 1) en pensant au futur (interdiction fin 2009 de l'utilisation des fluides du type HCFC tel le R22; confinement et réglementation stricte de l'utilisation des fluides du type HFC tel le R404A et le R134A -- développement des fluides naturels du type R 744 ou R 717 à utiliser avec les précautions d'usage habituelles).

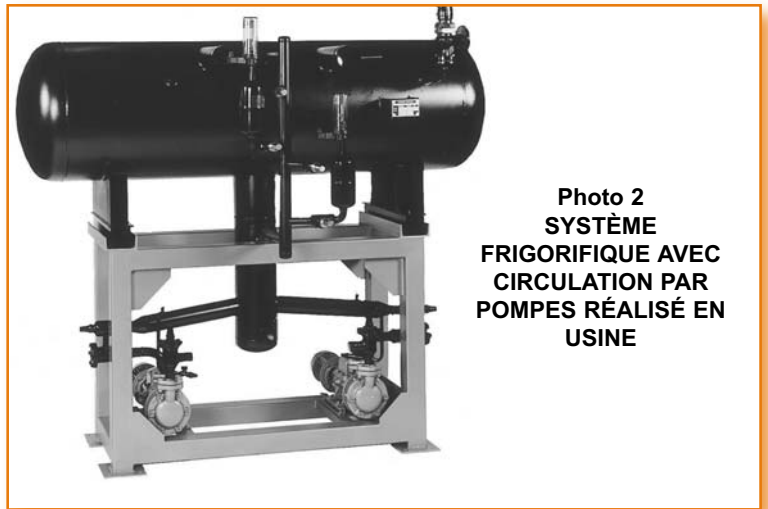


Photo 2
SYSTÈME
FRIGORIFIQUE AVEC
CIRCULATION PAR
POMPES RÉALISÉ EN
USINE

Figure 3
INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE DE CONDENSATION SUR LA
PUISSANCE ABSORBÉE DU SYSTÈME DE COMPRESSION

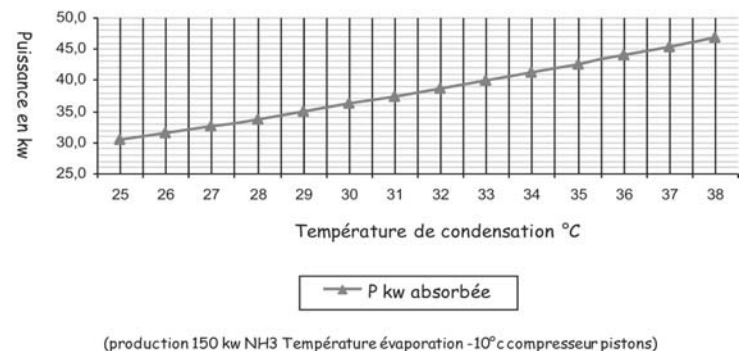
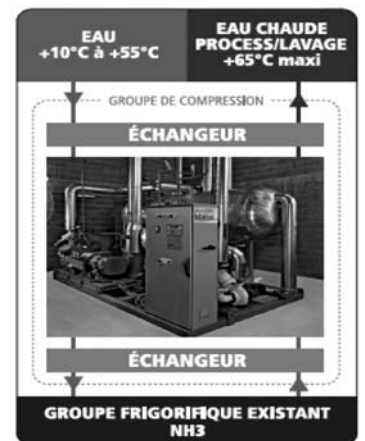


Figure 4
POMPE À CHALEUR
NH₃ À INSTALLER
SUR INSTALLATION
FRIGORIFIQUE
EXISTANTE

Document MATAL



QUELLES SOLUTIONS À VENIR POUR LA RÉALISATION DE NOUVELLES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES EN ABATTOIR ?

Le choix de conception des installations frigorifiques dépendra des puissances frigorifiques à mettre en jeu et du niveau de température des besoins (salles positives dont la température

reste supérieure ou égale à 0 °C, salles négatives pour des températures inférieures comme dans le cas de la surgélation congélation).

Puissance frigorifique positive inférieure à 200 kW

Les productions frigorifiques et les équipements des salles seront du type détente directe (photo 3) avec des fluides frigorigènes de type H F C

Tableau 1
COMPARATIF DES FLUIDES FRIGORIGÈNES
AVEC ODP (OZONE DEPLETION POTENTIAL)
ET GWP (GLOBAL WARMING POTENTIAL)

Fluide	Les fluides naturels		Les HFC <i>Fin en 2015? 2020? 2030?</i>				Les HCFC pour mémoire
	R 744 CO ₂	R 717 NH ₃	R 404 A	R 134 A	R 410 A	R 407 C	R 22
ODP	0	0	0	0	0	0	0,055
GWP	1	1	3800	1300	1900	1600	1700
Toxicité	non	oui	non	non	non	non	non
Inflammabilité	non	faible	non	non	non	non	non
Domaine d'application	Installation industrielle basse température	Installation industrielle toute température	Froid positif et négatif	Froid positif Refroidissement d'eau	Froid négatif Cycle en cascades	Froid négatif	Froid positif et négatif

(présence dans les salles de fluides frigorigènes).

La détente directe :

- simplifie les installations industrielles inférieures à 200 kW ;
- permet des prix de réalisation en usine et des effets de gamme ;

- permet des gains de place grâce à un faible encombrement ;
- utilise de l'air pour la condensation (pas de problème de légionellose) ;
- utilise de petites tuyauteries en cuivre ou inox avec isolation simple de type coquille.

Toutefois il faut tenir compte du fait que :

- les fluides frigorigènes employés pourraient être interdits dans un avenir très proche ;
- les molécules de ces fluides frigorigènes sont petites (le fluide est très fuyard et difficile à rechercher - maintenance et recherche de fuite à suivre de manière assidue) ;
- l'utilisation de la condensation à air ne permet pas ou permet très peu une récupération de chaleur (à l'exception du chauffage de locaux adjacents).

Photo 3
GROUPE DE PRODUCTION DE FROID EN DÉTENTE DIRECTE
UTILISANT LE R 404 A (Réalisation MATAL)

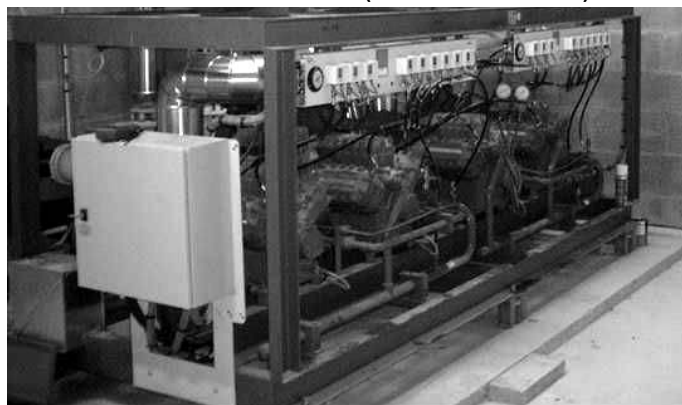


Photo 4
GROUPE DE PRODUCTION TRANE RÉALISÉ EN USINE
DÉTENTE DIRECTE UTILISANT LE R134 A (TYPE HFC)
(Installation MATAL)



Puissance frigorifique positive comprise entre 200 kW et 600 kW

La production frigorifique sera du type monobloc avec détente directe (fluides frigorigènes de type HFC) refroidissant un fluide caloporteur (photo 4).

Ceci permet :

- une faible charge en fluide frigorigène HFC ;
- des prix de réalisation en usine et des effets de gamme ;
- des gains de place grâce à un faible encombrement ;
- une réalisation en usine de circuits fermés non sujets à fuite ;
- d'utiliser de l'air pour la condensation (pas de problème de légionellose) ;
- l'utilisation de petites tuyauteries en cuivre ou inox avec isolation simple de type coquille.

Toutefois :

- les fluides frigorigènes employés pourraient être interdits dans un avenir très proche ;

- ces installations n'utilisent que les fluides caloporteurs de type glycol du fait de la nature des échangeurs. Les bâches tampon d'accumulation sont obligatoires sur les circuits caloporteurs.
- l'utilisation de la condensation à air ne permet pas ou permet très peu de récupération de chaleur.

Puissance frigorifique positive de 500 à 6000 kW

La production frigorifique du type détente directe avec alimentation par gravité d'échangeurs à plaques (emploi de fluides frigorigènes naturels tels NH₃) (photo 5)

Ceci permet

- une faible charge en fluide frigorigène naturel NH₃ (charge inférieure à 150 kilos);
- un coefficient de performance amélioré grâce à l'utilisation du NH₃, des échangeurs à plaques à faible pincement et des fluides caloporteurs notamment l'alcali qui présentent des caractéristiques d'échange plus intéressantes que les glycols;
- des prix de réalisation en usine et des effets de gamme;
- des gains de place grâce à un faible encombrement;
- une réalisation en usine de circuits fermés non sujet à fuite;
- d'utiliser de l'air ou de l'eau pour la condensation (utiliser une condensation à eau permet de diminuer les consommations énergétiques fortement notamment en été ou en régions chaudes, voir tableau 2);
- l'utilisation de tuyauteries en inox avec isolation simple de type coquille;
- la récupération d'énergie pour chauffer de l'eau (les récupérations énergétiques pour chauffer de l'eau sont plus faciles si le type de condensation à eau est choisi) ou des locaux.

Cependant, comme dans les installations précédentes,

- le fluide frigorigène naturel employé (NH₃) reste soumis à réglementation car il est dangereux à forte concentration.

La distribution de froid

L'extraction de chaleur des salles équipées de systèmes de refroidissement s'effectuera en totalité prochainement grâce à la circulation de fluides caloporteurs.

Photo 5
ÉCHANGEURS NH₃ ALCALI OU GLYCOLS UTILISANT LA CONDENSATION À EAU, GROUPE DE COMPRESSION GRASSO (Installation MATAL)



Tableau 2
COMPARATIF ENTRE UNE PRODUCTION FRIGORIFIQUE MONOBLOC HFC OU NH₃

Spécifications	Unités	Groupe R134A Condensation air	Groupe NH ₃ Condensation eau
Puissance frigorifique	kW	428	420 extensible à 600
Température entrée sortie Eau glycolée	°C	-4,1/-8	-4,1/-8
Consommation condensation	kW	19,8	9,7
Puissance absorbée des compresseurs	kW	200	177
Efficacité (COP)	kW/kW	1,94	2,2
Comparatif coût - investissement		1	1,1

Photo 6
FRIGORIFÈRE REFRIGÉRISEUR D'AIR EN SALLE

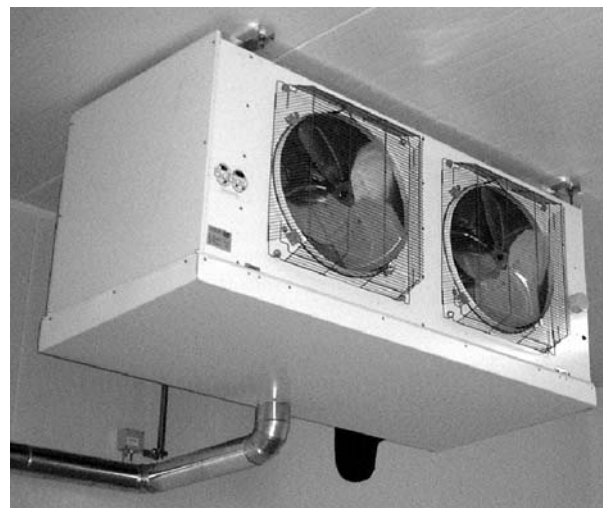


Tableau 3
CARACTÉRISTIQUES DE DIFFÉRENTS SYSTÈMES FRIGORIFIQUES DE SURGÉLATION OU CONGÉLATION

Chambre froide basse température	R 404 A détente directe	R 404 A par pompes		NH ₃	NH ₃ /Alcali	NH ₃ /CO ₂
Charge en fluide frigorigène	750 kg environ	1 500 kg environ		1 000 kg	150 kg	NH ₃ < 150 kg
Machines de compression	4 compresseurs à vis	4 compresseurs à vis	4 compresseurs à vis	4 compresseurs à vis	4 compresseurs à vis	4 compresseurs à vis
Condenseur	Air	Air	Évaporatif (eau/air)	Évaporatif	Échangeur à plaques/tour à Eau	Échangeur à plaques/tour à Eau
Régime de fonctionnement	-33/ + 45 °C	-34/ + 35 °C	-33/ + 35 °C	-33/ + 35 °C	-37/ + 37 °C	-35/ + 37 °C
Puissance frigo. (kW)	262,6	271,2	261,3	267,6	267	261,5
Puissance absorb. (kW)	233,6	237,6	143,7	146,8	173	159
COP	1,13	1,14	1,71	1,82	1,54	1,64
Nombre et type de Batteries	4 tube cuivre ailettes alu	3 acier galvanisé	3 acier galvanisé	3 acier galvanisé	3 acier galvanisé	3 acier galvanisé
Écart °C température évaporation/air	7	8	7	8	7	7
Dégivrage	Gaz chauds R 404A	Gaz chauds R 404A		Gaz chauds NH ₃	Alcali chaud	Glycol chaud
Base de prix	1	1,11	1,16	1,18	1,3	1,47

La circulation de fluides caloporteurs (photo 6) :

- permet de diminuer les charges de fluides frigorigènes;
- permet de distribuer les très grosses puissances frigorifiques (de 500 à 6000 kW);
- permet une adaptation précise par rapport aux besoins avec une consommation énergétique améliorée par le choix d'échangeurs à plaques à faible pincement (faible écart de température entre le fluide réfrigéré et le fluide réfrigérant);
- permet une régulation plus fine de température ce qui est intéressant pour éviter les pertes de poids par déshydratation due à des « pompes » entre la température des produits et la température du médium réfrigérant.
- Notons bien que pour des puissances distribuées allant jusqu'à 600 kW, l'investissement est plus élevé par rapport à celui réalisé lors de la mise en place d'une détente directe. Au-delà des 600 kW, la plupart des installations réalisées sont effectuées avec l'aide de circulation des fluides caloporteurs.

Puissances frigorifiques négatives (surgélation, congélation)

Dans le cadre de besoins de production et de distribution de froid négatif (surgélation congélation), le choix de conception des installations frigorifiques dépendra à l'avenir des consommations énergétiques à mettre en jeu pour satisfaire les besoins frigorifiques (besoins négatifs inférieurs à -40 °C ou besoins pour salles négatives de conservation pour produits surgelés à -15 °C -18 °C).

Pour les petites puissances, les productions frigorifiques et les équipements des salles seront du type détente directe avec des fluides frigorigènes de type H F C (présence dans les salles de fluides frigorigènes). Ce type d'installations négatives reste très gourmand en énergie.

Pour les plus grosses puissances les choix industriels se porteront vers des solutions moins énergétivores du type NH₃ ou CO₂ favorisant des temps de retour sur les investissements d'au-

tant plus rapides que la production frigorifique est importante et ce d'autant plus que les prix de l'énergie ne sont pas prévus à la baisse.

Le tableau 3 compare pour les mêmes puissances (environ 270 kW à -33 °C) les principaux systèmes frigorifiques et fluides utilisés pour produire une puissance négative.

CONCLUSION

La nécessité d'une chaîne du froid adaptée, sûre et de qualité demeure essentielle à la fourniture d'une alimentation carnée alliant sécurité, saveur et tendreté. Les évolutions futures y intégreront des données économiques et environnementales sur lesquels concepteurs et utilisateurs de cette chaîne de froid continuent en permanence d'apporter leur concours pour préparer à moindre coût l'assiette de demain.