



ARTICLE DE SYNTHÈSE

Jens K. Larsen est Directeur du Développement des produits de la division Sabroe Products chez Johnson Controls Danemark à Aarhus. Il travaille dans l'industrie du froid et du conditionnement d'air depuis qu'il a obtenu une maîtrise en science de l'Université technique du Danemark 1994. Entre 1994 et 2001, il a travaillé comme consultant et ingénieur chargé de projets dans l'industrie agro-alimentaire et le secteur pharmaceutique. Il a rejoint Johnson Controls en 2001 et a passé 3 ans dans le domaine des contrats avant de se lancer dans le développement des produits.



Perspectives des refroidisseurs à ammoniac dans le froid et le conditionnement d'air en Europe

par

Jens K. Larsen

Johnson Controls Denmark - Sabroe Products, Christian X's Vej 201, 8270 Højbjerg, Danemark

e-mail : Jens.K.Larsen@jci.com

Cet article a été présenté sous forme de communication à la 8e Conférence Gustav Lorentzen sur les fluides actifs naturels tenue à Copenhague du 7 au 10 septembre 2008.

L'élimination du R22 arrive à grand pas et aura un impact sur l'industrie du froid et du conditionnement d'air dans toutes les régions du monde. En Europe, l'utilisation du R22 vierge pour l'entretien sera interdite dès fin 2009 et une pénurie de R22 va probablement survenir. La demande et l'importance des solutions durables sont en voie d'augmentation. Une efficacité énergétique élevée et un impact environnemental faible sont des questions cruciales. L'ammoniac est un frigorigène très efficace, qui a obtenu des résultats attestés dans le froid industriel. L'utilisation de l'ammoniac pour des applications en dehors du froid traditionnel augmente, et l'ammoniac est considéré comme étant une solution de remplacement naturelle et viable aux halocarbures pour les applications dans le froid et le conditionnement d'air à condition d'être correctement manipulé. L'article met l'accent sur l'Europe, et décrit la réglementation actuelle, les applications, la technologie et les tendances. Une analyse TEWI d'un refroidisseur à ammoniac pour le conditionnement d'air est présentée. Les obstacles à une utilisation plus répandue, tels que la sécurité, la réduction de charge et le coût initial sont exposés.

I. INTRODUCTION

I.1. Le réchauffement planétaire et le Règlement F-gaz

Les frigorigènes HFC ont été développés pour remplacer les CFC et les HCFC, nocifs pour la couche d'ozone et dont l'usage est réglementé par le Protocole de Montréal. Les frigorigènes HFC sont utilisés depuis le début des années 1990. Leur impact sur l'ozone stratosphérique est nul, mais ils ont un effet de serre et sont donc visés par le Protocole de Kyoto.

Le réchauffement planétaire est un des défis auxquels le secteur frigorifique doit faire face. Selon l'IIF¹ : « les secteurs du froid et du conditionnement d'air consomment environ 15 % de l'électricité totale consommée dans le monde. Au-delà de l'impact positif sur les ressources énergétiques terrestres, l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations exerce également un effet positif sur les émissions indirectes de CO₂, le principal composant (80 % de l'impact global) du secteur du froid sur l'effet de serre et le réchauffement planétaire. »

L'objectif principal du Règlement européen F-gaz CE n° 842-2006 relatif aux gaz fluorés est de réduire les émissions des gaz à effet de serre fluorés couverts par le Protocole de Kyoto et de protéger ainsi l'environnement. Le Règlement F-gaz couvre le confinement, la récupération, la formation, la certification, le suivi et l'étiquetage. A compter du 4 juillet 2011, la Commission publiera un rapport basé sur l'expérience de l'application du Règlement F-gaz. Celui-ci comportera une évaluation de la nécessité pour la Communauté et ses états membres de poursuivre les actions à la lumière des engagements internationaux, nouveaux ou déjà existants, en vue de la réduction des émissions des gaz à effet de serre.

Dans cette situation, il est évident que l'utilisation accrue de frigorigènes tels que l'ammoniac, les hydrocarbures et le CO₂ aurait des avantages en termes d'efficacité énergétique, de coût et de sécurité.

La [Figure 1](#) donne une vue d'ensemble des frigorigènes naturels et des groupes de frigorigènes synthétiques disponibles ou en voie de remplacement.

1.2. Le remplacement des HCFC

L'Europe suit un calendrier de remplacement des HCFC plus rapide que celui des autres pays développés.² La [Figure 2](#) illustre les échéanciers. A noter : l'interdiction d'utiliser le R22 vierge, à partir de fin 2009 avec une autorisation d'utilisation du R22 recyclé uniquement pour l'entretien des systèmes existants jusqu'en 2015. Il est probable qu'une pénurie de R22 surviendra.

Selon l'application, le type d'équipement et la durée de vie restante d'une installation au R22, l'adaptation de l'installation pour fonctionner avec un HFC peut constituer une option à prendre en compte. Dans le cas de l'investissement dans de nouveaux équipements, les frigorigènes naturels devraient être envisagés.

1.3. Sélection d'un frigorigène et caractéristiques de l'ammoniac

Il n'existe pas un seul frigorigène qui soit le meilleur candidat pour toutes les gammes de températures et toutes les applications. Le choix d'un frigorigène est complexe, de nombreux aspects devant être pris en compte, et le résultat ne peut être exprimé par un seul chiffre. Le [Tableau 1](#) dresse une liste de quelques formules idéales et la réponse correspondante pour l'ammoniac (le R717) est donnée.

Tableau 1. Caractéristiques de l'ammoniac utilisé dans un système monobloc

Propriétés thermodynamiques et de transfert :	R717
Transfert de chaleur élevé	Oui
Efficacité volumétrique élevée	Oui
Cycle frigorifique d'une grande efficacité (COP)	Oui
Pressions au-dessus de la pression atmosphérique (pas d'humidité, pas de gaz non condensables)	Oui
Pression pas trop élevée (coût de l'équipement plus faible)	Oui
Faibles taux de compression (rendement isentropique élevé)	Oui
Exposant isentropique faible (température de refoulement basse)	Non
Chute de pression faible	Oui
Gamme de température importante	Oui
Stable	Oui
Vapeur plus légère que l'air en cas de libération	Oui
Odeur qui avertit en cas de fuite	Oui
Compatibilité :	
Avec de l'humidité et de l'air	Oui
Tuyauterie en cuivre	Non
Tuyauterie en acier	Oui
Soluble/miscible dans l'huile	Oui/Non
Huile insoluble (retour d'huile)	Oui
Non corrosif	Oui/Non
Système et équipement :	
Compresseurs et échangeurs de chaleur très efficaces	Oui
Faible charge par kW	Oui
Système étanche	Oui
Bonnes caractéristiques sous conditions de charge partielle	Oui
Système fiable et de grande qualité	Oui
Disponibilité à faible coût	Oui/Non
Sécurité :	
Non toxique	Non
Non inflammable	Non
Aspects environnementaux :	
ODP = 0	Oui
GWP = 0	Oui
TEWI faible	Oui
Production, recyclage et destruction faciles, rentables et sans impact contraire sur l'environnement	Oui
Autres aspects :	R717
Frigorigène disponible à faible coût	Oui
Nécessite une grande expertise et du personnel bien formé	Oui/Non
Normes de conception et de sécurité bien définies	Oui
Règles et réglementation uniformes	Oui/Non

Le survol ci-dessus est une façon simplifiée de présenter les caractéristiques de l'ammoniac. Malgré cette réserve, l'ammoniac est un très bon candidat pour plusieurs domaines d'application. Ceci est pleinement en accord avec la conclusion de Forbes Pearson³ : « *L'ammoniac continuera d'être utilisé tant qu'on aura besoin du froid, sauf si une méthode complètement neuve est développée.* »

L'utilisation de l'ammoniac comporte plusieurs contraintes. Le cuivre n'est pas adapté, et un problème de sécurité se pose. Pour la sécurité, selon Lindborg⁴ : « *En ce qui concerne la directive européenne ATmosphère Explosible dite ATEX, aucune classification n'est nécessaire pour les systèmes frigorifiques utilisant l'ammoniac comme frigorigène. L'ammoniac ne peut se consumer que dans des espaces clos, pas en plein air, et n'est donc pas classé comme inflammable en ce qui concerne l'utilisation en extérieur. L'ammoniac peut s'enflammer si la température est supérieure à 651 °C et, en tant que frigorigène, il est classé dans le groupe B2 (de faible inflammabilité). L'inflammabilité de l'ammoniac se situe dans une fourchette de 15 à 28 %. La ventilation devrait empêcher la concentration dans la pièce d'atteindre un niveau auquel l'embrasement est possible. Les systèmes frigorifiques à ammoniac fonctionnent en sécurité dès lors que les codes et la législation en matière de sécurité sont respectés.* »

La Norme Européenne EN378:2008⁵ est liée à des exigences de sécurité et environnementales, au niveau de la conception, de la fabrication, de la construction, de l'installation, du fonctionnement, de l'entretien, de la réparation et de la mise au rebut de systèmes et d'équipements frigorifiques en respectant l'environnement aux niveaux local et mondial. Elle est conçue pour minimiser les risques (vis-à-vis des personnes, du matériel et de l'environnement) provenant des systèmes frigorifiques et des frigorigènes. Schrempf⁶ résume la portée du projet de norme prEN378 (et l'estime encore valable). Concernant les limitations de charge en frigorigène, la classification des frigorigènes selon les critères de sécurité, de taux d'occupation, de catégorie de système (direct/indirect) et d'emplacement du système frigorifique sont des concepts importants. Les charges d'ammoniac de 10, 25, 50, 500, 1000 et 3000 kg sont des limites importantes assorties de contraintes croissantes. Les exigences pour les salles de machines avec ventilation, etc. ainsi que les exigences pour les installations électriques sont exposées. L'évaluation du site, y compris l'évaluation des risques, et les plans d'urgence doivent également être mis en œuvre pour les systèmes à ammoniac. A. Pearson⁷ signale que la réduction de la charge est un bon moyen de réduire la probabilité d'accidents, améliorant ainsi la sécurité.

Une formation concernant l'application de la norme sera nécessaire. C'est l'une des raisons expliquant les réponses « oui/non » figurant au [Tableau 1](#) sous la rubrique « autres aspects, compétences élevées et personnel bien formé ». Sous la rubrique « systèmes et équipements disponibles à faible coût », il existe une autre colonne « oui/non ». La compétition avec les refroidisseurs aux HFC est difficile à gagner en termes de coût initial, mais si le coût est évalué en termes de cycle de vie dans la prise de décision, la situation bascule souvent en faveur du système à ammoniac.

Les réponses « oui/non » figurant au [Tableau 1](#), à « autres aspects, ensemble uniforme de règles et de réglementation » s'expliquent par des contraintes locales particulières dans certains pays européens.⁸ Le but principal devrait être de respecter la norme EN378. Dans le cas où une législation supplémentaire s'avère nécessaire, celle-ci devrait être harmonisée.

Les réponses « oui/non » figurant au [Tableau 1](#), sous la rubrique « compatibilité, huile soluble/miscible » s'expliquent par le fait que la plupart des fabricants de compresseurs, par exemple, Bitzer,⁹ préfèrent les huiles PAO (poly-alpha-oléfinés) ou les huiles minérales avec l'ammoniac, dans les deux cas insolubles/non miscibles dans l'ammoniac. Ceci signifie que la séparation d'huile et/ou un retour d'huile adéquat doit être assuré. La plupart des refroidisseurs ont un retour d'huile automatique. On prévoit une longue durée de vie de l'huile, mais une vérification régulière de l'état de l'huile est nécessaire.

1.4. Analyse TEWI d'un refroidisseur pour conditionneur d'air

Tel qu'il est décrit par Halozan,¹⁰ le TEWI (contribution totale au forçage radiatif) est une meilleure mesure pour évaluer l'impact sur l'effet de serre que la valeur GWP d'un frigorigène. Il tient compte des émissions directes et indirectes, à partir de la consommation d'énergie exprimée comme kg équivalents de CO₂ relâchés dans l'atmosphère au cours de la durée de fonctionnement du système. Le calcul du TEWI implique la prise en compte d'un certain nombre de données non liées au frigorigène utilisé. Le [Tableau 2](#) montre une comparaison en termes de TEWI pour le refroidisseur d'un système de conditionnement d'air utilisant différents frigorigènes. En raison de ses propriétés thermodynamiques supérieures et de l'importance de l'efficacité énergétique dans le calcul de la contribution indirecte, le refroidisseur à ammoniac apparaît en meilleure position. Les [Figures 3](#) et [4](#) illustrent les résultats obtenus.

Tableau 2. Comparaison en termes de TEWI pour le refroidisseur d'un système de conditionnement d'air refroidi à l'eau

$$TEWI = [GWP \times L \times n] + [GWP \times m \times (1 - \alpha_{\text{récupération}})] + [n \times E_{\text{annuel}} \times \beta] \text{ selon EN378:2008}$$

Frigorigène	-	R22	R410A	R134a	R717 Ammoniac	R290 Propane	R718 Eau
Type de frigorigène	-	HCFC	HFC	HFC	Naturel	Naturel	Naturel
GWP*	kg CO ₂ eq./kg	1810	2088	1430	0	3	0
ODP	-	0,055	0	0	0	0	0
Eau glacée T _{entrée} / T _{sortie}	°C	12 / 7	12 / 7	12 / 7	12 / 7	12 / 7	12 / 7
Evaporateur	°C	3	3	3	3	3	3
Température d'évaporation	°C	4	4	4	4	4	4
Eau de condensation T _{entrée} / T _{sortie}	°C	30 / 35	30 / 35	30 / 35	30 / 35	30 / 35	30 / 35
Condenseur	°C	3	3	3	3	3	3
Température de condensation	°C	38	38	38	38	38	38
Surchauffe utile	°C	10	10	10	0	10	10
Sous-refroidissement	°C	0	0	0	0	0	0
COP ou EER théorique	kW/kW	5,1	4,8	5,1	5,3	5	5
COP ou EER théorique	kW/tonne	0,69	0,73	0,69	0,66	0,70	0,70
Heures de fonctionnement (équivalent pleine charge)	heures/an	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Puissance frigorifique	kW	600	600	600	600	600	600
Débit de gaz dans le compresseur	m³/h	567	388	876	500	662	144.504
Débit de gaz dans le compresseur (indice cf R717)	-	113	78	175	100	132	28.901
E _{annuel} , consommation d'énergie	kWh/an	176.471	187.500	176.471	169.811	180.000	180.000
n, années de fonctionnement	années	20	20	20	20	20	20
m, charge en frigorigène	kg	150	150	150	30	150	150
Taux de fuite	%/an	4	4	4	4	4	4
Fuites	kg/an	6	6	6	1.2	6	6
α, facteur de récupération	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
β, émissions de CO ₂ liées à la production d'énergie	kg CO ₂ /kWh	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
TEWI fuites	kg CO ₂ eq.	217.200	250.560	171.600	0	360	0
TEWI récupération	kg CO ₂ eq.	13.575	15.660	10.725	0	23	0
TEWI consommation d'énergie	kg CO ₂	1.870.588	1.987.500	1.870.588	1.800.000	1.908.000	1.908.000
TEWI total	kg CO ₂ eq.	2.101.363	2.253.720	2.052.913	1.800.000	1.908.383	1.908.000
TEWI indice (base R717)	-	117	125	114	100	106	106
TEWI direct (à partir de TEWI fuites et TEWI récupération)	%	11	12	9	0	0	0
TEWI indirect (à partir de TEWI consommation d'énergie)	%	89	88	91	100	100	100

* Valeur GWP selon le rapport AR4 du GIEC, 2007

En Europe, le conditionnement d'air est souvent fourni par des systèmes hydroniques, où l'eau glacée est circulée par les pompes vers les échangeurs de chaleur placés dans les systèmes de traitement d'air et les ventilo-convecteurs des immeubles. Les systèmes indirects nécessitent une boucle supplémentaire entre le système frigorifique et le lieu d'utilisation. L'échange de chaleur supplémentaire se traduit par une diminution de l'efficacité du système frigorifique. Un système indirect central facilite au contraire l'entretien et la détection des fuites. Il est très important pour la sécurité des refroidisseurs à ammoniac de pouvoir disposer d'un système à faible charge dans un espace contrôlé.

II. APPLICATIONS ET TECHNOLOGIE

II.1. Applications

Dans le domaine du froid industriel, l'ammoniac est le frigorigène de prédilection dans la plupart des pays européens et il est utilisé à la fois pour des systèmes directs et indirects. Des systèmes en cascade au CO₂ et à ammoniac sont également de plus en plus utilisés dans des applications basse température.

Parmi les applications typiques des refroidisseurs à ammoniac en Europe figurent les installations utilisées pour les boissons et les produits alimentaires, le refroidissement dans l'industrie pharmaceutique, les patinoires, les entrepôts frigorifiques, les immeubles de bureaux, les aéroports et les centres de données, pour n'en mentionner que quelques unes. En outre, on assiste à un intérêt croissant pour les pompes à chaleur à ammoniac. Les *Figures 5* et *6* montrent une installation pour un aéroport.

Forbes Pearson¹¹ décrit un système de thermosiphon à refroidissement naturel à ammoniac avec un COP de 13 à 15 dans les climats de l'Europe du Nord. Ce système est particulièrement adapté pour le refroidissement des centres de données dans lesquels un grand nombre d'heures de fonctionnement peuvent être assurées en mode refroidissement naturel.

II.2. Technologie des refroidisseurs à ammoniac

Les refroidisseurs à ammoniac monoblocs sont disponibles comme produits classiques ou sont adaptés aux exigences spécifiques du client. Certains fournisseurs de produits testent les refroidisseurs avec le frigorigène et l'huile avant de les installer, mettant en route un processus de branchement et de mise en œuvre.

Concernant le refroidissement pour le conditionnement d'air et le refroidissement des procédés, des produits sont disponibles chez plusieurs fabricants, couvrant les applications suivantes :

- Les refroidisseurs aux compresseurs à vis d'une puissance de 100 à 7000 kW. La vitesse variable existe en option.
- Les refroidisseurs aux compresseurs à piston de type ouvert ou semi-hermétique d'une puissance de 20 à 1600 kW. La vitesse variable existe en option.

Les puissances indiquées se réfèrent au conditionnement d'air à eau glacée. En ce qui concerne les compresseurs à vis, un économiseur peut être ajouté. Pour les températures d'évaporation élevées, l'effet sur la puissance et le COP est relativement limité (un gain d'environ 3 à 5 %).

Les refroidisseurs monoblocs sont également livrés avec des condenseurs refroidis à l'air ou évaporatifs, ainsi qu'un récipient permettant de faire face aux variations de charge à l'intérieur du système.

Parmi les évaporateurs utilisés, on trouve les types suivants :

- Multitubulaires à calandre noyés (évaporation à l'extérieur du tube) avec séparation à l'intérieur de la calandre ou avec un séparateur supplémentaire.
- Multitubulaires à calandre à détente directe (évaporation à l'intérieur du tube).
- A échangeur de chaleur à plaques ou multitubulaires à calandre noyé avec un séparateur supplémentaire.
- Echangeur de chaleur à plaques intégré et noyé (l'échangeur à plaques intégré à la calandre fonctionnant également comme un séparateur).

Les condenseurs, refroidis à l'eau, comprennent les types suivants :

- Multitubulaires à calandre (à condensation extérieure).
- A échangeur de chaleur à plaques ou à calandre et à plaques.
- A échangeur à plaques intégré.

Les échangeurs de chaleur à plaques comportent des cadres semi soudés avec des joints du côté frigoporteur et dans les orifices. Les échangeurs à plaques et à calandre et plaques existent également sous forme de versions intégralement soudées.

II.3. Diminution de la charge en frigorigène

Quelques chiffres approximatifs de la charge d'ammoniac liés aux systèmes directs basse et moyenne température :

- Habituellement une suralimentation de liquide par pompe de 2 à 4 kg/kW.
- Suralimentation à récipient basse pression Star sans pompe de 0,5 à 0,8 kg/kW.

Les *Figures 7* et *8* résument une étude sur les refroidisseurs à ammoniac refroidis à l'eau équipés d'échangeurs à chaleur à plaques, intégrés ou non, tels que décrits au paragraphe II.2. L'empreinte carbone spécifique est également

montrée. L'empreinte carbone est un paramètre important en Europe, où l'accent est mis sur la réduction des coûts de fabrication.

La [Figure 9](#) montre les échangeurs de chaleur multitubulaires à calandre. L'étude montre une réduction remarquable de la charge et de l'empreinte carbone spécifiques grâce à la technologie des échangeurs de chaleur à plaques intégrés.

Behnert¹² rend compte du développement d'un refroidisseur au R717 de 100 kW fournissant de l'eau à 12 à 6 °C avec une charge de 3 kg utilisant un évaporateur à échangeur de chaleur à plaques, un détendeur à détente directe et de l'huile soluble (FrigoBox d'Axima). Bhadsavle¹³ fait part d'un évaporateur à échangeur de chaleur à plaques et détente directe d'une puissance de 1750 kW à -9,4 °C avec 120 kg, correspondant selon estimation à 0,04 kg/kW dans les conditions de conditionnement d'air pour le seul évaporateur. Les défis pour les évaporateurs à détente directe et à échangeur de chaleur à plaques sont la distribution du frigorigène dans les échangeurs de chaleur à plaques, le retour d'huile sous des conditions de charge partielle (avec de l'huile soluble), ainsi que la régulation stable du détendeur. Les systèmes noyés à échangeurs à plaques intégrés offrent une meilleure régulation, ainsi que de meilleures caractéristiques à charge partielle, avec presque la même charge spécifique.

II.4. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est une question très importante, et elle le devient encore plus avec l'augmentation considérable des prix de l'énergie et l'attention croissante accordée au réchauffement climatique. Les mesures concernant la charge partielle telles que IPLV et ESEER sont importantes lorsqu'on sélectionne l'équipement le plus efficace possible, car un grand nombre d'heures de fonctionnement ont lieu à charge partielle. L'efficacité des compresseurs à charge partielle est d'une grande importance. La [Figure 10](#) montre les efficacités relatives d'un compresseur à piston à vitesse variable, un compresseur à vis à vitesse variable, ainsi qu'un compresseur à vis à régulation de puissance classique à tiroir. Les compresseurs à vitesse variable ont la meilleure performance à charge partielle.

III. PERSPECTIVES

III.1. Défis

Des codes de conception et des normes couvrant les aspects sécuritaires des systèmes à ammoniac sont d'ores et déjà disponibles, mais une plus grande harmonisation des exigences en matière de sécurité en Europe pourrait s'avérer nécessaire.

L'amélioration des compétences et de la formation constitue une condition sine qua non pour l'élargissement de l'utilisation de l'ammoniac dans les applications telles que le conditionnement d'air.

A l'heure actuelle, les refroidisseurs à ammoniac, qui sont produits en moins grand nombre que les refroidisseurs aux HFC, sont désavantagés en termes de coût initial par rapport aux refroidisseurs HFC. Les matériaux utilisés et la durée de vie escomptée des produits diffèrent également. En raison de l'efficacité énergétique élevée et des bonnes caractéristiques sous des conditions de charge partielle, les refroidisseurs à ammoniac sont compétitifs dès lors qu'un coût en termes de cycle de vie (LCC) est appliqué. Le défi est d'imposer le LCC comme critère d'achat principal auprès des clients.

III.2. Conclusion

En général, les perspectives des refroidisseurs à ammoniac sont encourageantes et on prévoit une utilisation encore plus répandue.

On estime que l'utilisation de systèmes à faible charge d'ammoniac et d'une grande efficacité augmentera et que de tels systèmes seront de plus en plus appliqués dans le secteur du conditionnement d'air. Le nombre de refroidisseurs à ammoniac aura tendance à augmenter pour les puissances supérieures à 100 kW. L'élimination du R22 constitue une bonne opportunité pour les refroidisseurs à ammoniac.

Outre l'intérêt grandissant pour le développement durable, de plus en plus d'utilisateurs commencent à témoigner de l'intérêt pour le coût en termes de LCC et le coût total d'utilisation. Des dispositifs tels que des mesures incitatives financières et de déductions fiscales associées à des exigences souples en terme d'efficacité énergétique devraient être envisagés par les décideurs politiques pour promouvoir et accélérer les solutions bénéfiques pour l'environnement, telles que les refroidisseurs à ammoniac.

Habituellement, les refroidisseurs commerciaux ont une durée de vie d'environ 10 à 20 ans alors que les refroidisseurs industriels ont typiquement une durée de vie de 20 à 30 ans. Ceci signifie que les implications des décisions prises aujourd'hui sont très importantes. En termes d'ingénierie, la constante « temps » du système est d'une grande importance, et le plus tôt des actions seront mises en place pour contrôler et réduire les émissions directes et indirectes de gaz à effets de serre, le mieux ce sera pour l'environnement.

REFERENCES

1. IIR, *Report on Refrigeration Sector Achievements and Challenges*. The World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, 2002.
2. Kuijpers L. Aspects involved in the replacement of refrigerants by low GWP gases. *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.
3. Pearson SF. Ammonia – Yesterday, today and forever. *Bulletin of the IIR* 2005-4/5.
4. Lindborg A. The future for ammonia as a refrigerant. *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.
5. EN378:2008: Refrigerating systems and heat pumps - safety and environmental requirements.
6. Schrempf B. Revision of the standard EN378 and the refrigerant ammonia. *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.
7. Pearson A. Ammonia's future, *ASHRAE Journal*, February 2008.
8. Prier C. A comparative EU national legislation and unfair competition for end users in some EU Member States. *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.
9. Bitzer. *Bitzer Refrigerant Report*, a-501-14, 2007.
10. Halozan H. HFCs or the old refrigerants? *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.
11. Pearson SF. Ultra-efficient ammonia systems. *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.
12. Behnert T, König H. Entwicklung eines NH₃-Standard-Flüssigkeitskühlsatzes mit minimaler Füllmenge. *Kälte Klimatech*, 2003(6): 32-37.
13. Bhadsavle A, Kumar H. Advances in plate heat exchangers used as DX evaporators. *Proc. Ohrid Conf., IIR*, 2007.

Voir également : Future of Industrial Refrigeration, *ScanRef*, No. 1. February: 52-55.

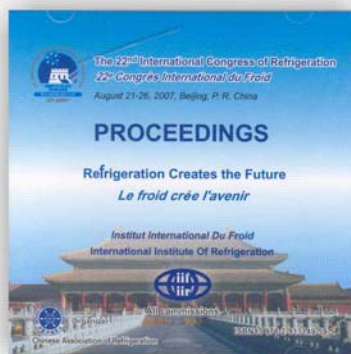


INTERGOVERNMENTAL ORGANIZATION FOR THE DEVELOPMENT OF REFRIGERATION

INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION
177, Bd Malesherbes - 75017 PARIS (France)
Tel.: 33 (0)1.42.27.32.35
Fax: 33 (0)1.47.63.17.98
E-mail: iif-iir@iifir.org
Web site: www.iifir.org

22nd International Congress of Refrigeration Refrigeration Creates the Future

Beijing, CHINA - August 21-26, 2007



CD-ROM

Code: CRBEIJ 2007 - Price: 95 €

(+ Postage: 10 % Europe-20 % for the rest of the world)

→ 877 papers - English version only

These proceedings comprise the 877 papers (in English) presented during the 22nd International Congress of Refrigeration held in **Beijing, China**, on **August 21-26, 2007**.

Topics:

- A1 - Cryophysics, cryoengineering: pulse tubes, thermoacoustics, space technology...
- A2 - Liquefaction and separation of gases: recent progress in production and separation methods and equipment
- B1 - Thermodynamics and transfer processes: new developments in natural refrigerants with a focus on CO₂, optimization of heat transfer, modelling and simulation...
- B2 - Refrigerating equipment: enhancement of the energy efficiency of refrigeration systems, new developments in compressors, mini- and microchannel exchangers, phase-change materials...
- C1 - Cryobiology, cryomedicine: new developments in cryopreservation, cryosurgery...
- C2 - Food science and engineering: heat and mass transfer analysis and modelling, food quality and safety...
- D1 - Refrigerated storage: optimization of design and operation of cold stores, supermarkets, display cabinets...
- D2 - Refrigerated transport: recent trends in road, marine, rail and air transport
- E1 - Air conditioning: sustainable air conditioning of buildings, introduction of CO₂ in mobile air conditioning, absorption/adsorption technologies...
- E2 - Heat pumps: performance analysis, CO₂ heat pumps, district cooling...

Please surf our Web site: **www.iifir.org**

or

contact us directly for more information

Tel.: 33 (0) 1.42.27.32.35 / Fax: 33 (0) 1.47.63.17.98 / E-mail: **iif-iir@iifir.org**



FIGURES

REVIEW ARTICLE / ARTICLE DE SYNTHESE

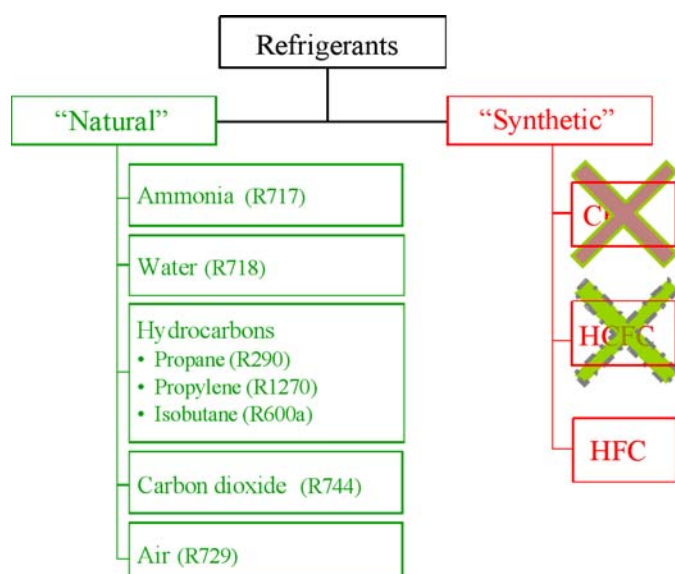


Figure 1. Available refrigerants
Frigorigènes disponibles

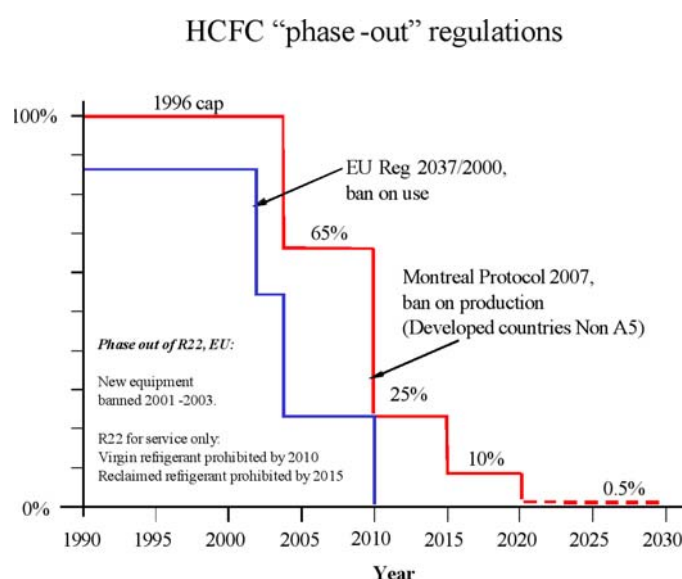
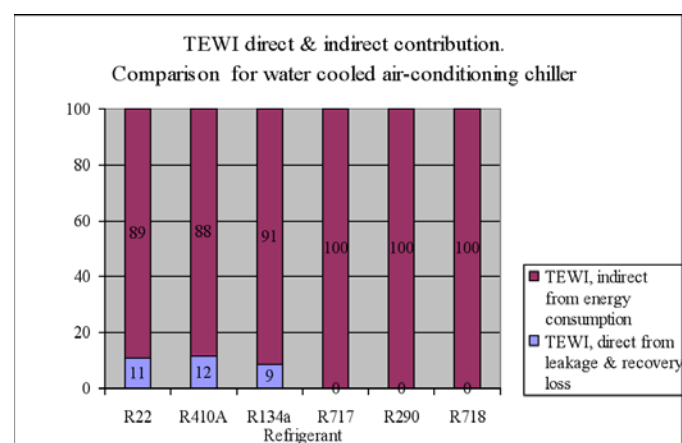
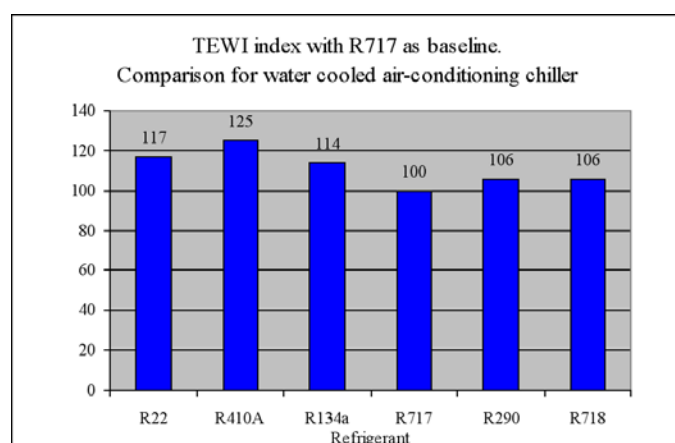
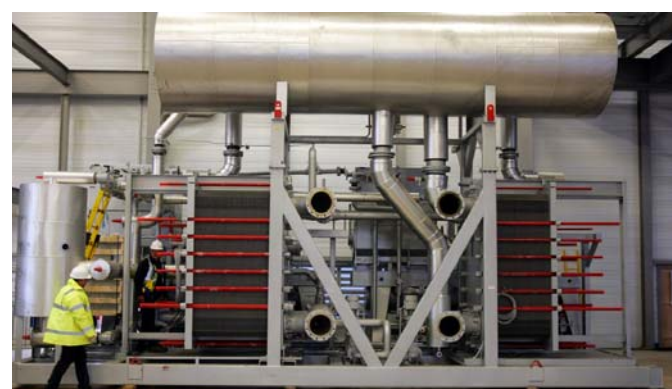


Figure 2. Phase-out of HCFCs
Remplacement des HCFC



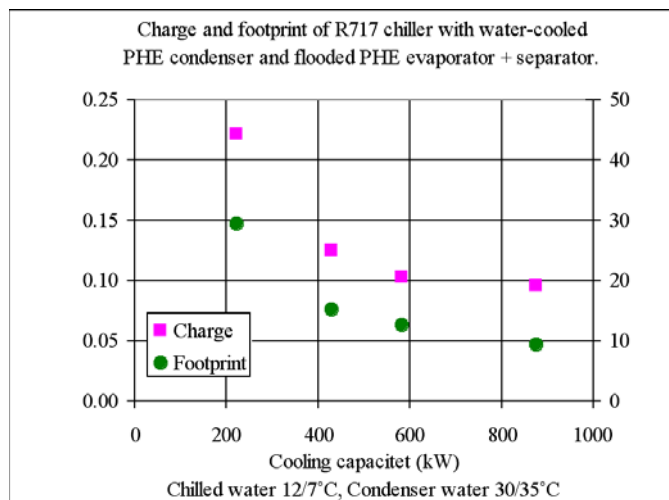
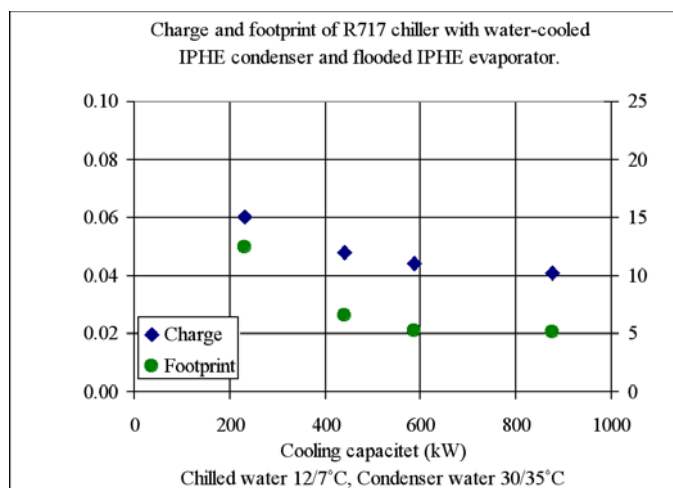
Figures 3-4. TEWI for air-conditioning chiller using different refrigerants
Les TEWI d'un refroidisseur de conditionnement d'air utilisant différents frigorigènes



Figures 5-6. One of four packaged ammonia chillers of 6.6 MW each being installed at Heathrow Airport's Terminal 5
L'un des quatre refroidisseurs à ammoniac de 6,6 MW en voie d'installation au Terminal 5 de l'aéroport de Heathrow

FIGURES

REVIEW ARTICLE / ARTICLE DE SYNTHESE



Figures 7-8. Specific charge and footprint for ammonia chillers type ChillPAC

with IPHE and type PAC with traditional PHE (Johnson Controls, Sabroe Products)

Charge spécifique et empreinte des refroidisseurs à ammoniac de type Chill PAC avec échangeurs à plaques intégrés et des échangeurs de chaleur à plaques traditionnels de type PAC (Johnson Controls, Sabroe Products)

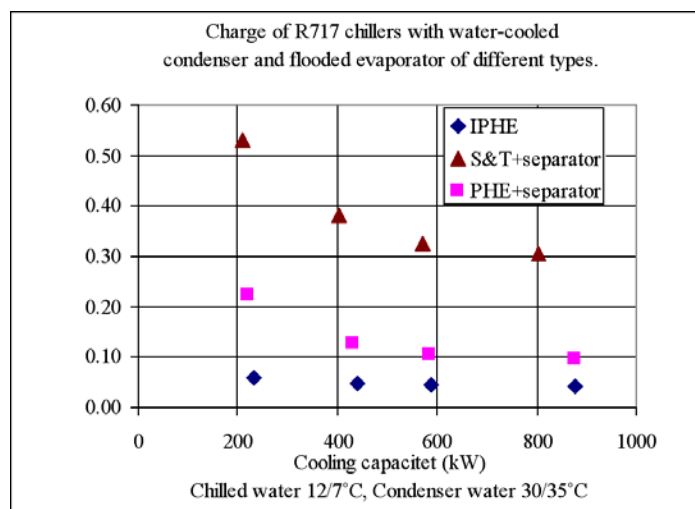


Figure 9. Specific charge for ammonia chillers with different types of heat exchangers

Charge spécifique des refroidisseurs à ammoniac avec divers types d'échangeurs à chaleur

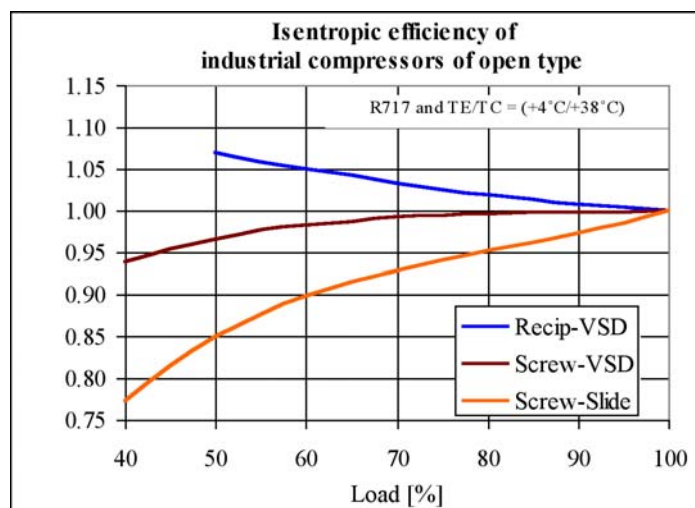


Figure 10. Compressor part-load efficiencies

Efficacités des compresseurs à charge partielle



INTERGOVERNMENTAL ORGANIZATION FOR THE DEVELOPMENT OF REFRIGERATION

INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION

177, Bd Malesherbes - 75017 PARIS (France)

Tel.: 33 (0)1.42.27.32.35

Fax: 33 (0)1.47.63.17.98

E-mail: iif-iir@iifiir.org

Web site: www.iifiir.org

Ammonia as a Refrigerant

BOOK.

English only. Paper color.

88 p., 16 x 24 cm

This third edition of the IIR's acclaimed guide to ammonia has been completely updated to take into account the latest trends, cost-effective solutions and legislation. It has been prepared by Dr A.B. Pearson, a well-known expert in the field who has considerable experience in the use of ammonia.

The overarching aim, as for the previous editions, is to enhance decisionmakers', designers', fitters' and end-users' knowledge of the potential uses of ammonia as a refrigerant, in this way promoting demand for plant and equipment designs that utilize the economic benefits of ammonia while safeguarding operating personnel, refrigerated products and the environment.

Main topics:

- Thermophysical properties of ammonia
- Exposure to ammonia, safety precautions
- Design of ammonia installations
- Ammonia applications
- Future prospects
- Standards and regulations
- Bibliography



Code: AURA2008 - Price: 39 €

(+ Postage: 10 % Europe-20 % for the rest of the world)

Order form

Return to: INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION - 177, Bd Malesherbes - 75017 PARIS (FRANCE)
Tel.: 33 (0)1.42.27.32.35 / Fax: 33 (0)1.47.63.17.98 / E-mail: iif-iir@iifiir.org / Web site: www.iifiir.org

Please send copy (copies) of the book: **Ammonia as a Refrigerant (Paper version in English only)**

Price: 39 € - Code: AURA2008 (+ Postage = 10 % Europe-20 % for the rest of the world)

Name:

Company:

Address:

Country: Tel: Fax:

Payment by card: VISA / MASTERCARD / EUROCARD

Card holder:

Card number: / / / / / / / / / / / / / / / /

Exp. Date: / /

Card security code (the last three figures on the back of your credit card): / / /

Signature:

Payment by cheque or bank transfer

- Société Générale, Agence Paris-Villiers
72, avenue de Villiers, 75847 PARIS CEDEX 17
IBAN: FR76 30003 03180 00650020079-91/BIC: SOGEFRPP