



©www.freepresspicture.com

NOTE DE SYNTHÈSE SUR LES TECHNOLOGIES DE LA CHAÎNE DU FROID

LES APPLICATIONS AUX BATEAUX DE PÊCHE




ONU
programme pour
l'environnement



Remerciements : Cette note de synthèse a été préparée par Paul de Larminat (expert de l'IIF) ; elle a été relue par Artie Dubrie et Alvin Jose, experts du programme ActionOzone de l'ONU Environnement, ainsi que par plusieurs experts des commissions de l'IIF.

Note de synthèse sur la chaîne du froid pour les applications aux bateaux de pêche par l'IIF et l'ONU Environnement



ActionOzone
ONU Environnement,
Division du Droit
1 rue Miollis, Bâtiment VII
75015 Paris - FRANCE
Fax: +33 1 4437 1474
www.unep.org/ozonaction
ozonaction@unep.org

Institut International du Froid
International Institute of Refrigeration
177, boulevard Malesherbes,
75017 Paris - FRANCE
Tel. +33 (0)1 42 27 32 35
Fax +33 (0)1 47 63 17 98
www.iifiir.org
iif-iir@iifiir.org

Résumé

Les bateaux de pêche sont d'abord destinés à capturer du poisson, mais doivent également disposer d'une chaîne du froid appropriée jusqu'au déchargement du poisson. Lorsqu'il n'est pas consommé frais, le poisson est transformé de différentes manières, comme la préparation de plats cuisinés, la congélation ou la mise en conserve. Ces opérations peuvent être effectuées dans des usines à terre, ou à bord de grands navires-usines ; ceci nécessite l'utilisation du froid, avec diverses mises en œuvre selon les modes de pêche et de transformation. Les applications du froid relatives aux différents besoins pour les processus de transformation à bord des bateaux de pêche sont présentées, ainsi que les technologies actuellement utilisées. Le HCFC-22 (R-22) reste de loin le fluide frigorigène le plus utilisé, mais fait partie des « substances appauvrissant l'ozone » qui doivent être éliminées selon le Protocole de Montréal. En application de l'accord de Kigali, tous les pays devront aussi réduire progressivement leur usage des hydrofluorocarbures (HFC) (UNEP, 2017¹). Ces divers impératifs du Protocole de Montréal devront être pris en compte dans les systèmes mobiles marins.

Pour les nouveaux systèmes frigorifiques, il existe des substances alternatives commercialement disponibles, sans effet sur la couche d'ozone, et ayant un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) faible ou quasiment nul. Mais les défis concernent la maintenance des systèmes au R-22 existants, ce qui requiert la persistance de la disponibilité de frigorigènes R-22 et de composants adéquats à un prix abordable. Il est généralement possible de reconverter les systèmes à détente directe (D-X) de faible puissance avec des substances sans effet sur la couche d'ozone. Mais pour les grands systèmes noyés au R-22, la conversion vers des fluides alternatifs n'est pas recommandée.

¹UNEP, 2017: https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/ratification_kigali.pdf

1 Introduction

Cette note présente les besoins et les applications du froid à bord des navires de pêche réfrigérés, avec les technologies et les fluides frigorigènes actuellement utilisés, ainsi que les alternatives possibles pour les nouveaux systèmes. Les questions liées à la gestion des flottes actuelles et les implications du Protocole de Montréal sur les substances, appauvrissant l'ozone y sont également présentées.

2

Vue d'ensemble des navires de pêche frigorifiques

2.1. Types de navires de pêche

La pêche et l'industrie connexe sont très diversifiées selon le mode de capture du poisson et le circuit entre sa capture et sa consommation. Lorsqu'il n'est pas consommé localement, le poisson peut être transformé de différentes façons : congelé en tant que prise fraîche, ou en filets, en plats cuisinés et en conserve. Cela peut être fait dans des usines à terre, ou en mer à bord de « navires-usines ».

Le nombre total de navires de pêche dans le monde est estimé à environ 4,4 millions, dont plus de 80 % font moins de 12 m de long. L'Asie et le Pacifique ont la plus grande flotte, représentant 73 % du total mondial. 2 % environ de tous les navires de pêche motorisés sont des navires de pêche industrialisés de 24 m ou plus (UNEP, 2016²). Les navires de pêche se distinguent également par leurs méthodes de pêche. Pour la pêche à grande échelle, les méthodes les plus utilisées sont la senne et les palangres, illustrées dans les Figures 5 et 6.

Les petits bateaux de pêche artisanale illustrés par la Figure 3 ne sont pas équipés de systèmes frigorifiques. Les petits bateaux motorisés, qui ne sortent que pour quelques heures, chargent de la glace chaque matin au départ du port et y conservent leurs prises, comme illustré par la Figure 2. Les navires commerciaux de taille moyenne à grande qui partent pour une distance moyenne (de l'ordre de deux semaines de navigation) ont habituellement à bord des réservoirs d'eau de mer réfrigérée et des machines à fabriquer de la glace. Les grands navires industriels qui parcourent de longues distances ou qui naviguent pendant de longues périodes (habituellement plusieurs mois) ont besoin de la congélation pour la conservation du poisson. En fonction des espèces de poisson capturées, des engins de pêche et des besoins de traitement, ces navires disposent souvent d'installations d'usine complètes avec diverses combinaisons de congélateurs à air pulsé, de congélateurs à plaques, de réservoirs d'eau de mer réfrigérée et de machines à glace.

2.2. Technologies du froid

2.2.1. Refroidissement par bain de saumure et eau de mer réfrigérée

Certaines espèces de poissons sont surtout préférées pour la mise en conserve comme le thon, les sardines ou les anchois. La mise en conserve est souvent effectuée à terre, dans des usines de transformation des produits de la mer. Une pratique courante consiste à congeler rapidement le poisson entier à bord par immersion dans une cuve de saumure à environ -20 °C, aussitôt qu'il a été capturé. Ensuite, il peut être stocké dans la cuve ou dans des chambres froides. Les cuves à saumure sont également largement utilisés pour la pêche à la senne coulissante, car cette méthode est idéale pour congeler rapidement de grandes quantités de prises simultanées, inhérentes à ce mode de pêche (Awira, 2015³).

Dans les climats chauds, un pré-refroidissement rapide des prises



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

² UNEP, 2016. TEAP TF-XXVII-4 Report; annex 2 / June 2016

³ Ribanataake Awira, 2015: "Refrigerant Consumption in Fishing Vessels operating in the Waters of Pacific Islands Countries". MOP27 Side event. Nov. 1, 2015, Dubai-UAE

est nécessaire avant que ces dernières soient mises dans la glace ; ceci est accompli en immergeant le poisson dans de l'eau de mer réfrigérée par des refroidisseurs. D'une manière générale, l'eau de mer est refroidie à une température proche ou légèrement au-dessus de son point de congélation (-2 °C). Dans les petits bateaux sans refroidisseurs à bord, l'eau peut être refroidie en faisant fondre de la glace stockée dans un réservoir d'eau de mer.

2.2.2. Congélateurs à plaques et à air pulsé

Les filets minces sont généralement congelés dans des congélateurs à plaques, tandis que les coupes plus grosses, y compris les gros poissons entiers, sont congelées dans des réservoirs de saumure ou des congélateurs à air pulsé. Dans un congélateur à plaques, les plateaux contenant les filets sont généralement placés sur des piles de plaques comme le montre la Figure 7. Ces plaques sont refroidies par évaporation du frigorigène à l'intérieur de ces plaques. Le transfert de chaleur est essentiellement réalisé par un contact étroit entre les plaques refroidies et les aliments se trouvant dans les plateaux. Le procédé est différent de celui des congélateurs à air pulsé : dans ces derniers, de l'air froid est soufflé sur les aliments à congeler, comme dans la Figure 8. Cet air est refroidi par des serpentins de refroidissement.

Dans les deux cas, la température de fonctionnement est d'environ -40°C, soit pour les plaques, soit pour l'air refroidi ; mais elle peut être encore

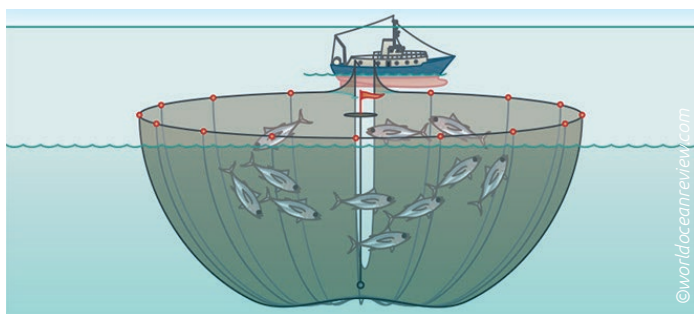


Fig.5

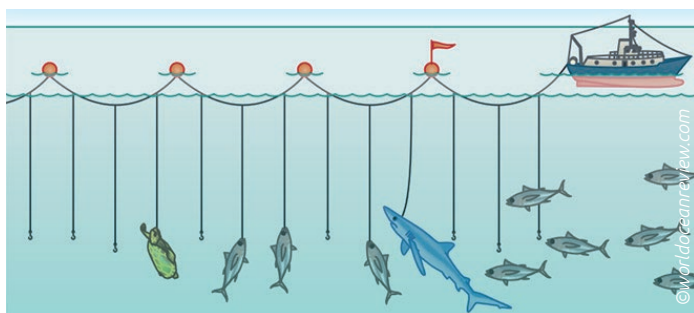


Fig.6

abaissée jusqu'à atteindre -70 °C lorsque l'on veut obtenir des « UBT » (Ultra Basse Température), comme pour les sushis ou les sashimis.

2.2.3. Refroidissement par air

Le refroidissement par air est nécessaire à différentes étapes du traitement. Les espaces de travail nécessitant des salles blanches hygiéniques équipées d'un contrôle de température. Pour le stockage, l'air de la cale à température positive est aussi souvent refroidi, surtout dans les pays chauds. Les produits congelés dans les navires-usines sont stockés dans des chambres froides à environ -25 °C. Le présent document se focalise autour des applications « procédés » et n'aborde donc pas les questions de conditionnement d'air relatives au confort de l'équipage, de sa vie quotidienne et la conservation de ses provisions de bord.



Fig.7



Fig.8

- Fig.1 : Filets surgelés
- Fig.2 : Poisson frais conservé dans la glace
- Fig.3 : Petits bateaux de pêche - Thaïlande
- Fig.4 : Navire de pêche à la senne thonière - 90 m de long
- Fig.5 : Pêche à la senne coulissante
- Fig.6 : Palangres pélagiques
- Fig.7 : Chargement d'un congélateur à plaques
- Fig.8 : Congélateurs à air pulsé

3 Enjeux actuels et tendances du marché

3.1. Besoins en matière de procédés - similitudes et différences avec d'autres industries alimentaires

La plupart des besoins en matière de procédés sont similaires à ceux des applications de transformation des aliments sur terre, comme la coupe et la transformation dans les salles blanches, la congélation dans des congélateurs à plaques ou à air pulsé, l'entreposage, etc. Comme les besoins en matière de procédés sont semblables, les technologies sont dérivées de celles utilisées pour les applications terrestres, avec une adaptation spécifique à l'environnement marin (« marinisation »).

Compte tenu des contraintes importantes spécifiques au milieu marin, une très grande fiabilité est attendue. Les équipements doivent être adaptés au mouvement du navire et résister à la corrosion en milieu marin. Il existe également des contraintes de compatibilité des matériaux pour les condenseurs refroidis à l'eau de mer. La pratique courante est d'utiliser des condenseurs à tubes et calandre. Les tubes en cuivre-nickel sont compatibles avec l'eau de mer et avec les fluides synthétiques comme le R-22, mais les alliages de cuivre ne sont pas compatibles avec l'ammoniac. Le titane est en pratique le seul matériau qui soit compatible à la fois avec l'ammoniac et l'eau de mer.

3.2. Architecture des systèmes

Il existe de nombreuses architectures de système possibles pour les applications de procédés. Les différents besoins peuvent être satisfaits par des systèmes indépendants, ou les systèmes peuvent être centralisés, ce qui signifie qu'un système combiné répond à toutes les demandes de froid (eau de mer, refroidissement, congélation) à partir d'une salle des machines centrale (Norden, 2000⁴). De manière générale, les grands navires doivent avoir un degré d'intégration plus élevé. Ils disposent généralement d'un système centralisé qui produit le froid à deux niveaux différents de température d'évaporation, environ -38 °C pour la congélation (basse température, « LT »), et environ -8 °C pour d'autres besoins comme le refroidissement par air dans les zones de travail et les cales, le refroidissement à eau de mer, etc. Les grands systèmes sont généralement des systèmes noyés alimentés par des pompes, comme le montre la Figure 9. Ils utilisent actuellement un frigorigène monocomposant, généralement du R-22, mais l'usage de l'ammoniac est en augmentation. Dans ces systèmes, la charge de frigorigène est importante (plusieurs tonnes), avec de longues tuyauteries et de nombreux raccords, ce qui entraîne souvent des fuites de frigorigène relativement importantes. Les systèmes plus petits sont souvent des systèmes à détente directe (« D-X »). Ils sont surtout utilisés dans les applications de refroidissement à air (dans les cales et les chambres froides), mais ils sont inadaptés pour les congélateurs à plaques. Ils sont moins efficaces sur le plan énergétique que les systèmes noyés, mais le coût initial est moins élevé et ils nécessitent une charge de frigorigène moins élevée (de l'ordre de quelques centaines de kilogrammes).

3.3. Considérations climatiques

Compte tenu de la nature de l'activité, les bateaux de pêche peuvent opérer dans des climats extrêmes et variables. Toutefois, les systèmes de réfrigération se trouvent à l'intérieur du navire et les condenseurs sont généralement refroidis à l'eau de mer. Même dans les climats chauds, la température de l'eau de mer ne dépasse pratiquement jamais 32 °C, ce qui rend la conception du système plus facile. Par conséquent, bien qu'un climat chaud doive être pris en compte dans la conception le cas échéant, cela ne constitue pas un problème technique majeur.

⁴Norden, 2000. "Alternatives to HCFC as refrigerant in Fishing Vessels", ISBN 92-893-0504-5.

Fig.9 : Système inondé centralisé utilisant un fluide monocomposant : R-22 ou ammoniac

Fig. 10 : Exemple de cascade avec du CO₂ pour la basse température et de la saumure pour la température moyenne.

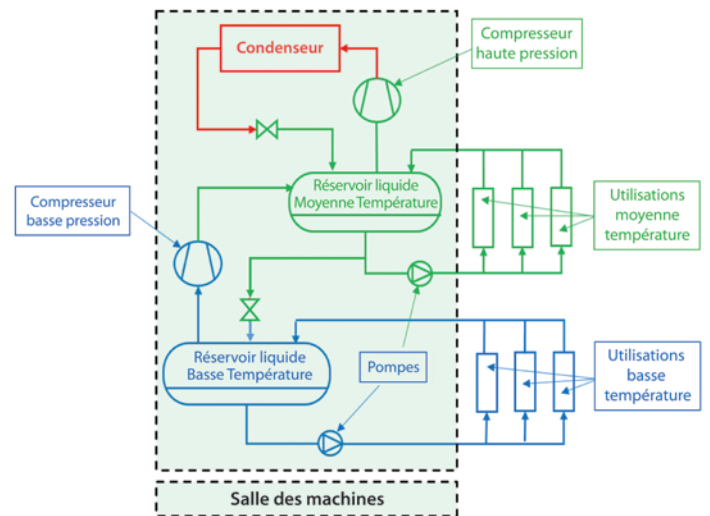


Fig.9

©Schéma : Paul de Larminat

3.4. Gestion de la sécurité à bord

Les machines frigorifiques doivent être construites conformément à une norme de sécurité d'équipement existante et reconnue telle que la norme EN-378 ou équivalente. Pour les systèmes frigorifiques embarqués, il n'existe actuellement aucun code de construction navale reconnu à l'échelle internationale. Conformément aux pratiques de l'industrie, les décisions en matière de conception doivent être fondées sur des analyses de risques solides menées en coordination avec les sociétés de classification, les compagnies d'assurance et d'autres intervenants clés de l'industrie et du secteur public. Cette approche standard de gestion de la sécurité est nécessaire pour tous les types de frigorigène et toutes les technologies. Il convient également de noter que certains pays ont exigé des normes maritimes nationales juridiquement contraignantes, qui peuvent s'appliquer également aux navires de pêche.

Dans une conception conforme à la Figure 9, la plus grande partie de la charge de frigorigène se trouve dans la salle des machines, disposant de détecteurs de fuites, d'une ventilation adéquate et d'un accès très restreint, surtout si le frigorigène est inflammable. Cependant, bien qu'en quantité insignifiante, il y a aussi un peu de frigorigène dans les zones de travail ou de stockage (« utilisation »). Bien que les fluides ininflammables soient privilégiés, l'expérience avec l'ammoniac a montré que de telles conceptions peuvent être mises en œuvre avec une sécurité acceptable, à condition que le système soit conçu en conséquence, que l'équipage soit correctement formé et que les procédures opérationnelles et la maintenance soient adéquates.

Pour des raisons de sécurité, il est toujours préférable de n'avoir que des fluides ininflammables, surtout dans les espaces de travail. En plus de sa grande efficacité, c'est une des raisons pour lesquelles le CO₂ est maintenant largement reconnu comme étant approprié en marine, en particulier pour l'étage basse température des systèmes en cascade. Combiné à l'ammoniac pour l'étage supérieur, l'utilisation du CO₂ facilite l'élimination de l'ammoniac des zones de travail, avec confinement dans la salle des machines. La Figure 10 est un exemple de conception d'un système centralisé sans ammoniac dans les espaces de travail. Il combine une cascade ammoniac / CO₂ pour les basses températures, et un système indirect pour les utilisations à moyenne température. Notons cependant que de nombreuses autres architectures de système sont possibles.

Bien que ce qui précède se concentre sur l'ammoniac, les frigorigènes A2L sont également susceptibles d'avoir certaines applications, comme les HFO pour les refroidisseurs à saumure, les mélanges pour les systèmes D-X, ou le R-32 pour les besoins de certains procédés. Les technologies frigorifiques à base d'hydrocarbures ne sont actuellement pas considérées comme acceptables dans les bateaux de pêche.

4 Frigorigènes utilisés actuellement et alternatives possibles à plus long terme

4.1. Systèmes frigorifiques existants

On estime que 70 % de la flotte de pêche mondiale utilise encore le R-22 pour toutes les applications frigorifiques (UNEP, 2016², §-ES4). Avant les exigences normatives du Protocole de Montréal, le R-22 était une option privilégiée pour des raisons d'efficacité, de coût et de sécurité. Certains navires construits au cours des deux dernières décennies utilisent des HFC tels que le R-404A ou le R-507. Dans certains navires construits récemment ou rénovés, on a fait usage d'ammoniac ou de cascades ammoniac/CO₂.

4.2. Mélanges ou frigorigènes monocomposants

L'acceptabilité technique des frigorigènes alternatifs dépend de l'architecture du système. Les concepteurs ont le choix d'utiliser des fluides monocomposants ou des mélanges, mais tous les mélanges proposés comme alternatives au R-22 présentent un certain « glissement » de température. C'est le cas notamment des mélanges R-407a, R-407F, R-438a, R-448A et R-449A, R449B. Tous ces mélanges ont un PRP compris entre 1300 à 2400, c'est-à-dire environ la moitié de celui du R-404A ou du R-507, mais avec un glissement d'environ 6 à 7 K. Ceci est généralement acceptable dans les systèmes D-X, mais n'est pas envisageable dans les grands systèmes noyés, où le glissement peut provoquer de grandes pénalités de performance.

4.3. Fluides à faible PRP - Nouveaux systèmes

Systèmes D-X : comme mentionné précédemment, les frigorigènes proposés comme solutions alternatives au R-22 sont des mélanges dont le PRP est d'environ 1 300 à 2 400 pour les mélanges ininflammables. En raison de leur glissement, ils sont plus compliqués à utiliser que les fluides purs. Les systèmes doivent donc être conçus avec soin, mais on peut généralement considérer que de tels mélanges sont viables comme solutions alternatives aux HCFC, mais avec des préoccupations inhérentes à leur PRP.

Refrigerateurs de saumure ou d'eau de mer (« RSW » : Refrigerated Sea Water) : la plupart des refroidisseurs marins sont dérivés de refroidisseurs terrestres standard, avec une marinisation appropriée. Le choix des frigorigènes n'est pas aussi critique pour les refroidisseurs que pour les grands systèmes inondés, car la charge de frigorigène est limitée et les taux de fuite sont beaucoup plus faibles. Pour des températures moyennes de -10 °C, on utilise des frigorigènes fluorés à PRP moyen ou faible (comme le R-134a) ou des HFO à PRP plus faible ou des mélanges comme le R-513a. Pour des températures inférieures à -10 °C, les frigorigènes utilisés sont principalement le R-404A ou le R-507. Les substituts appropriés au R-404A ou au R-507 pourraient être le R-410A qui a un PRP comparativement plus faible ; le R-32 pourrait aussi être un substitut approprié à PRP moyen ou faible, mais les préoccupations relatives à l'inflammabilité doivent être prises en compte. L'ammoniac convient également à tous les niveaux de température, à condition que la gestion du risque soit jugée acceptable compte tenu des problèmes liés à la toxicité et à l'inflammabilité de l'ammoniac.

Systèmes centralisés noyés : pour répondre aux besoins de refroidissement à moyenne et basse température simultanément avec un frigorigène commun à faible PRP, l'ammoniac est techniquement une alternative simple au R-22 ; il est rentable et très efficace sur le plan énergétique, mais avec des contraintes de sécurité. Une alternative possible est d'utiliser deux frigorigènes différents en cascade, avec du CO₂ pour l'étage basse température. De tels systèmes au CO₂ sont compacts et très efficaces. L'excellent transfert de chaleur du CO₂ à

basse température améliore les performances des congélateurs, ce qui réduit leur coût d'investissement et améliore leur productivité. Si le CO₂ est utilisé pour l'étage basse température, il reste à savoir quel fluide utiliser pour l'étage moyenne température. Différentes options sont possibles. Le CO₂ transcritique est possible en théorie, mais il n'est pas prêt pour les bateaux de pêche. D'autres solutions nécessitent un frigorigène différent pour l'étape moyenne température de la cascade. Le plus utilisé jusqu'à présent est l'ammoniac. Dans la cascade ammoniac/CO₂, la sécurité est plus facile à gérer qu'avec les systèmes 100% ammoniac, car la charge d'ammoniac est plus faible et peut être contenue dans les salles des machines. Le R-134a ou l'une de ses alternatives à faible PRP peut également être utilisé pour l'étage moyenne température. Une autre option consiste à utiliser des systèmes « indirects ». Dans ce cas, un refroidisseur refroidit la saumure à la température « moyenne » souhaitée, soit environ -8 °C. Ce refroidisseur à saumure est utilisé pour répondre aux besoins à ce niveau de température, et aussi pour condenser le CO₂ du circuit basse température, comme l'illustre la Figure 10. Comme pour le RSW, ce refroidisseur à saumure peut utiliser une variété de frigorigènes comme l'ammoniac, les HFC, les HFO, ou des mélanges appropriés.

Un des inconvénients du CO₂ est qu'il ne peut pas atteindre les températures ultra-basses (inférieures à -50 °C) qui sont parfois souhaitées pour des applications spécifiques, comme le poisson surgelé de première qualité pour les sushis. Aucune technologie n'a été largement acceptée pour ces températures ultra-basses. Le R-23 pourrait être utilisé en théorie, mais il a un PRP extrêmement élevé. L'éthane serait techniquement approprié, mais il est hautement inflammable. Les technologies particulières, comme les cycles à air, sont réalisables, mais plutôt inefficaces et encore très coûteuses. Les HFC à haute pression comme le R-32 ou le R-410A sont probablement les meilleurs compromis acceptables.

4.4. Conversions

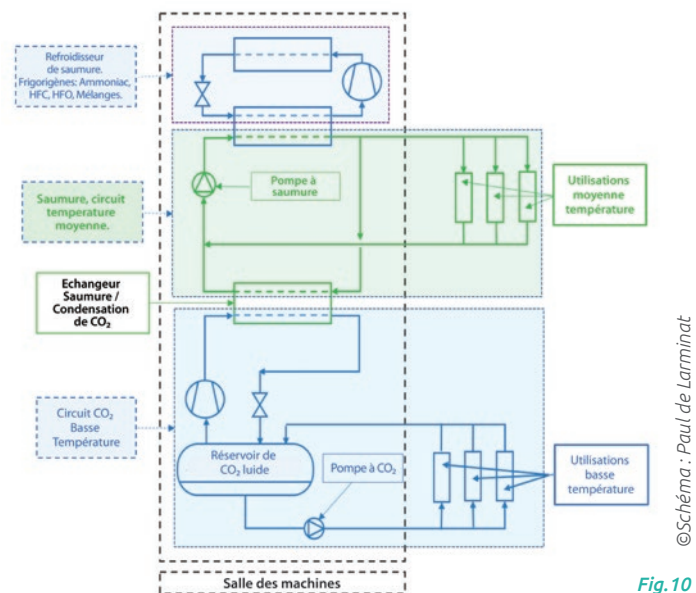


Fig.10

Parmi les diverses contraintes de la mise à niveau des systèmes existants, la puissance doit rester similaire ; les pressions de fonctionnement ne doivent pas être sensiblement supérieures à celle du frigorigène de référence, et l'efficacité ne doit pas être inférieure, d'autant plus que l'alimentation électrique à bord est limitée. La compatibilité avec les matériaux, par exemple les huiles, doit également être prise en compte. Par sécurité, les frigorigènes inflammables ne peuvent pas être utilisés dans les systèmes initialement conçus pour le R-22 ininflammable.

Même avec ces contraintes, il est normalement possible de trouver des mélanges acceptables pour moderniser les systèmes D-X de petite et moyenne taille, mais il est fortement recommandé d'effectuer des essais sur des installations pilotes avant de passer à une plus grande échelle.

La situation est beaucoup plus difficile pour les grands systèmes noyés. Il n'est pas possible de convertir le R-22 à l'ammoniac pour des raisons de compatibilité des matériaux et de sécurité.

Les essais antérieurs de conversion au R-404A ne se sont pas révélés techniquement satisfaisants et ne sont pas souhaités de toute façon en raison du PRP très élevé de ce frigorigène. L'utilisation de mélanges HFC/HFO est également très problématique car leur glissement de température n'est pas souhaité dans les grands systèmes noyés. Il n'y a donc pas, à ce stade, de solution éprouvée pour moderniser les grands systèmes noyés. C'est pourquoi certains navires qui ont encore une longue durée de vie prévue sont complètement remis à neuf avec de nouveaux systèmes, en particulier les cascades ammoniac/CO₂. Le coût initial est élevé, mais il peut être rentable grâce à une meilleure efficacité énergétique et à une productivité accrue.

5 Perspectives de développement et défis à relever

Que ce soit pour les nouveaux navires, le remplacement des systèmes sur les navires existants ou les conversions lorsque cela est possible, les technologies utilisées sur les navires de pêche devront passer à des frigorigènes ayant un PRP plus faible. Pour les nouveaux navires ou pour la remise à neuf de navires existants, des technologies adéquates sont déjà disponibles. Les coûts différentiels ou d'exploitation des nouvelles technologies par rapport aux technologies conventionnelles devraient être évalués avec soin pour comprendre les possibilités économiques et de financement qui peuvent être offertes par différentes plateformes internationales ou locales.

Le défi réel et urgent est la gestion de la flotte existante fonctionnant au R-22. Ces navires de pêche ont souvent plusieurs tonnes de R-22 à bord. Les navires ont un statut juridique complexe car ils peuvent être construits, immatriculés, exploités et entretenus dans différents endroits. L'entretien est un problème majeur : la recharge de systèmes aussi importants peut consommer une grande partie du R-22 alloué à certains des pays insulaires, ce qui entraîne de grandes difficultés dans la mise en œuvre de leur plan d'élimination des HCFC. Cela soulève des questions d'ordre technique, économique, juridique et politique.

Techniquement, des solutions de conversion peuvent être trouvées dans la plupart des cas pour les systèmes D-X de petite et moyenne taille, mais pas pour les grands systèmes noyés. La réduction de la consommation de R-22 pour l'entretien peut être obtenue par une combinaison de mesures : une meilleure détection et la réparation des fuites, la conversion des systèmes lorsque cela est possible, le retrait de certains navires existants, le remplacement des systèmes des grands navires lorsque cela est économiquement sensé compte tenu de leur durée de vie restante, et la récupération et la réutilisation éventuelles du fluide après la fin de la vie ou la conversion. Mais de grandes quantités de R-22 resteront nécessaires de toute façon.

Si l'on considère le millier de navires de diverses nationalités qui pêchent le thon dans l'océan Pacifique, et même plus en élargissant au niveau mondial, il est urgent de mettre en place des mécanismes pour surveiller et contrôler la consommation de tous les frigorigènes utilisés (UNEP 2016², p. 120). Cela permettrait aux pays, en particulier ceux des îles du Pacifique, de respecter leurs obligations au titre du Protocole de Montréal ainsi que d'autres engagements internationaux ou régionaux qui pourraient intéresser d'autres parties.

Conclusions

Le R-22 est toujours le frigorigène dominant dans les navires frigorifiques maritimes en mer. Pour les systèmes D-X de petite et moyenne taille, des solutions à court terme pour les nouveaux systèmes peuvent être trouvées en utilisant des fluides fluorés avec un PRP moyen, principalement des mélanges de HFC et de HFO, dont certains sont ininflammables. La conception de ces systèmes doit tenir compte du « glissement » de ces mélanges. Ces mélanges peuvent aussi être considérés pour la conversion des systèmes D-X au R-22 existants.

Comme alternative au R-22 pour les nouveaux systèmes noyés de grande taille, les cascades utilisant du CO₂ à basse température sont très intéressantes. Pour l'étage moyenne température de telles cascades, l'ammoniac est déjà largement utilisé et s'est avéré d'une sécurité acceptable à condition que des procédures de formation et d'exploitation adéquates soient mises en œuvre. Des alternatives ininflammables, comme des systèmes indirects, sont également possibles pour l'étage moyenne température des cascades, et offrent des réductions importantes de l'équivalent CO₂ des charges. Ces technologies sont adéquates pour les nouveaux systèmes, mais ne peuvent pas être utilisées pour la conversion des systèmes existants ; les mélanges avec glissement ne sont pas non plus une option satisfaisante. Par conséquent, aucune solution satisfaisante n'a encore été trouvée pour la modernisation des grands systèmes de R-22 noyés. Pour les bateaux de pêche qui ont une longue durée de vie restante, il faut remplacer complètement le système existant. Pour les navires plus anciens, on peut envisager de continuer à utiliser leurs systèmes au R-22 jusqu'à la fin de leur vie.

Avertissement : les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'ONU Environnement et de l'IIF aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. En outre, les opinions exprimées ne représentent pas nécessairement la décision ou la politique déclarée de l'ONU Environnement et de l'IIF, pas plus que la citation de noms commerciaux ou de procédés commerciaux ne constitue une approbation.