

## Quelles solutions de « drop-in » pour remplacer le R404A dans le transport ?

V. LASSERRE<sup>(a)</sup>, G. CAVALIER<sup>(b)</sup>, T. MICHINEAU<sup>(b)</sup>, T. SUQUET<sup>(b)</sup>

**Les groupes frigorifiques de transport doivent faire face aux nouvelles réglementations en vigueur (F-Gas). Des solutions d'alternatives technologiques ou utilisant des fluides naturels sont envisagées afin de remplacer rapidement le fluide frigorigène R404A.**

### Résumé

Le nouveau règlement F-gas n°517/2014 devrait se traduire par le remplacement du R404A dans les groupes frigorifiques de transport dans des délais très courts. La durée de vie moyenne des matériels étant d'une dizaine d'années en France, il n'est pas envisageable pour les transporteurs de remplacer tous ces équipements dans les délais induits par la F-gas pour remplacer les HFC de PRG (pouvoir de réchauffement global) supérieurs à 2 500. Par ailleurs, si des groupes utilisant des fluides naturels sont en cours de développement, ils ne permettront pas de remplacer toutes les machines commercialisées actuellement avant quelques années. Les constructeurs ont donc recherché des HFC de PRG inférieurs à 2 500 susceptibles de remplacer, à court terme, le R404A avec des perfor-

mances équivalentes et sans modification des machines, tant dans les groupes en service que dans les groupes neufs, dans l'attente de solutions alternatives durables. Après analyse du contexte, des enjeux de ce remplacement et des possibles solutions de « drop in » du R404A actuellement envisagées, il apparaît d'ores et déjà qu'il existera rapidement des mélanges de HFC pouvant à court ou moyen terme se substituer au R404A. Il est souhaitable au regard de la taille du marché, et pour faciliter la vie des transporteurs, que les différents fabricants retiennent le même fluide comme pour les changements de fluides précédents et en particulier le passage du R22 au R404A. Le R452A actuellement privilégié pourrait remplacer le R404A dans les groupes frigorifiques de transport.

**Mots clés :** transport sous température dirigée, fluides frigorigènes, R404A, R452A, « drop-in »

faible PRG sont en développement ou à l'essai. Elles ne résoudront pas le problème de la maintenance des groupes en service et risquent de ne pas d'être disponibles pour toutes les applications à court terme, mais seulement d'ici 3 à 10 ans pour certaines gammes.

Le présent article analyse les solutions possibles de « drop-in » du R404A qui pourraient être disponibles à très court terme, et en particulier celle du R452A, qui semble privilégiée actuellement. Il met en lumière les caractéristiques de ce fluide, ses performances et son adéquation face aux attentes des transporteurs.

### Contexte

#### La nouvelle réglementation européenne sur les fluides frigorigènes

Couvert dès 1992 dans la réglementation nationale sur le suivi des fluides frigorigènes, puis lors de la modification du Code de l'Environnement en 2007, en conformité avec le règlement n°842/2006 dit F-gas, relatif aux émissions des gaz à effet de serre, le transport frigorifique figure désormais formellement dans le nouveau règlement F-gas européen n°517/2014, entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2015 et qui remplace et renforce les dispositions du règlement 842/2006.

### Introduction

Le transport sous température dirigée est sans doute l'un des secteurs les plus impactés par la disparition programmée du fluide frigorigène R404A\*, qui représente la quasi-totalité des fluides utilisés dans le transport sous température dirigée. Dans un contexte réglementaire strict, et

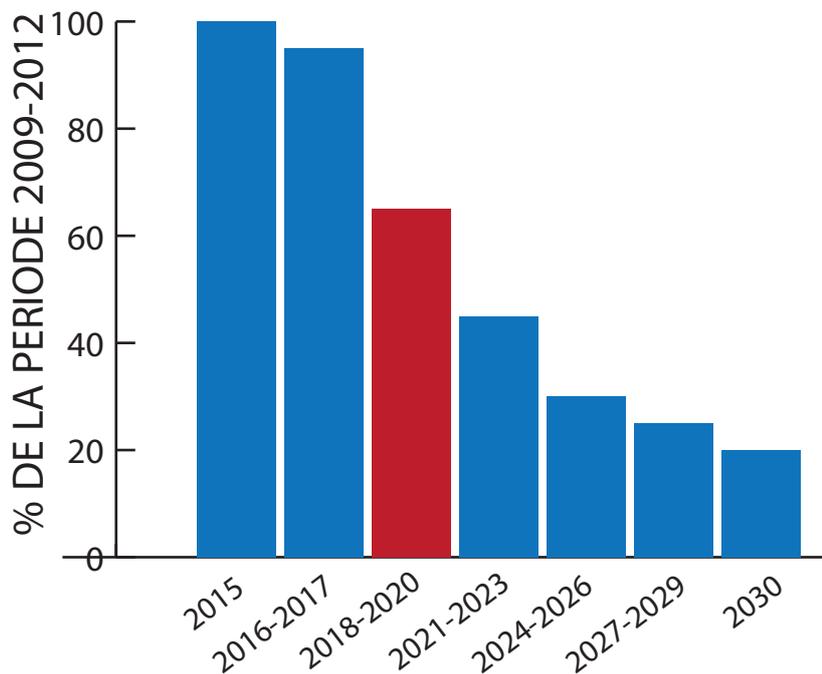
face à un quasi-monopole du R404A, les constructeurs de groupes frigorifiques de transport doivent proposer très rapidement des solutions simples et durables aux transporteurs sous température dirigée.

Des solutions d'alternatives technologiques ou utilisant des fluides à très

(a) Transfrigoroute France, 36, rue de Laborde, 75 008 Paris, France, valerie.lasserre@usnef.fr, Tél. : +33 1 53 04 16 80

(b) Cemafrroid, 5 Avenue des Prés - CS 20 029 - 94 266 Fresnes cedex, France, gerald.cavalier@cemafrroid.fr, thomas.michineau@cemafrroid.fr et thomas.suquet@cemafrroid.fr, Tél. +33 1 49 84 84 84

\*Mélange azéotropique de fluoroéthane



Calendrier du Phase Down des HFC prévu dans le règlement européen 517/2014

Les obligations de certification des personnels et des entreprises pour manipuler les fluides ainsi que le contrôle périodique de l'étanchéité des installations frigorifiques de transport, qui existaient déjà en France, sont maintenues. Elles deviennent obligatoires pour les véhicules frigorifiques de plus de 3,5 t dans les autres pays européens qui ne les avaient pas encore mises en place.

Le nouveau règlement prévoit également une diminution progressive des quantités de fluides mises sur le marché, appelée couramment « phase down ».

Un système complexe de quotas attribués aux producteurs de fluides sera déployé pour assurer le bon respect du « phase down ». Ce dispositif de quotas et le « phase down » vont entraîner une hausse importante des prix des fluides (déjà initiée avec des augmentations de prix importantes dès 2015), pour le R404A, par exemple.

Enfin, des échéances pour la mise en œuvre d'installations neuves utilisant des gaz à effet de serre viennent compléter le dispositif, applicables pour la plupart à partir de 2020, mais qui ne concernent pas le secteur du transport et c'est là qu'il convient d'être vigilant.

Le nouveau règlement considère les fluides frigorigènes en fonction de leur pouvoir de réchauffement global<sup>1</sup> exprimé en t.eq CO<sub>2</sub>, et non plus selon la masse contenue dans les équipements, exprimée en kg, favorisant ainsi l'utilisation de fluides à faible potentiel de réchauffement global (PRG).

Les fluides de PRG élevé seront rapidement interdits dans de nombreuses applications frigorifiques, mais le transport sous température dirigée n'est pas concerné par ces interdictions. Le nouveau règlement fixe à 2 500 le seuil au-delà duquel le PRG de ces substances est considéré élevé.

## Les fluides frigorigènes dans le transport en France

Le parc d'engins de transport sous température dirigée français, en légère baisse depuis 3 ans, est évalué fin 2014 par le Cemafruid à environ 135 000 engins en service dont 105 739 ayant une attestation ATP valide au 31 décembre 2014 [1]. Hors citernes, les utilitaires de moins de 3,5t représentent 51,8 % de ce parc, les camions 20,8 % et les semi-remorques 25,1 %, les 2,4 % restants sont constitués des caisses rails routes, divers conteneurs, remorques et wagons.

Ce parc comprend principalement des engins réfrigérés, la flotte isotherme représentant moins de 2 % à fin 2014. Sur la même période, les sources de froid sont dans plus de 99,5 % des cas des groupes frigorifiques à compression de vapeur dont 96 % sont à évaporateurs ventilés dits frigorifiques et classés « F » dans l'ATP et moins de 4 % à plaques ou tubes eutectiques. Les solutions alternatives, comme par exemple la cryogénie solide ou liquide à base de CO<sub>2</sub> ou d'azote restent, très rares.

En 2014, 96 % des groupes frigorifiques en service en France, soit environ 125 000 engins, utilisent des HFC. Le R404A dont le PRG est de 3922<sup>2</sup> est de très loin le fluide majoritaire avec environ 85 % des unités chargées en R404A et 95 % de la charge totale en masse (kg). Il a remplacé le R22 qui équipait jusque là les groupes frigorifiques de transport. Le R134a représente en France environ 4 % de la masse et 14 % des unités. Il est surtout utilisé pour les unités de faible puissance et plus particulièrement les groupes poulie-moteur présents sur les véhicules légers utilisant souvent des compresseurs développés pour la climatisation automobile. Le R134a est également généralement réservé aux températures positives, les

1/ (PRG ou GWP – global warming potential)

2/ Données IPCC AR4 2007 utilisées comme référence pour la F-gas.

groupes destinés aux surgelés et descendant au-dessous de  $-20^{\circ}\text{C}$  utilisent de préférence du R404A. Le restant des groupes, soit moins de 1 % de la charge et des unités choisissent du R410 ou d'autres fluides.

En 2014, la charge moyenne des groupes frigorifiques est de 3,86 kg/groupe selon les données DA-TAFRIG®. Elle est de 1,6 kg/groupe en moyenne pour les poulies moteur dont les puissances varient de quelques centaines de Watts à 5 000 Watts, et de 6,6 kg/groupe pour les groupes autonomes dont la puissance varie de 5 000 à 25 000 Watts environ.

Au total, les HFC utilisés dans les groupes frigorifiques de transport en France représentent une masse totale d'environ 480 tonnes de fluides soit environ 455t de R404A, 20t de R134a et quelques 5 t d'autres HFC, R410 et R407c. A l'échelle de l'Union Européenne, le Cemafrroid estime cette charge à un peu plus de 3 000t de HFC pour un peu plus de 800 000 engins de transport sous température dirigée, soit environ 9 millions de tonnes équivalent  $\text{CO}_2$  ou en moyenne 11 teq  $\text{CO}_2$  par engin.

Par ailleurs un peu plus de 3 % des engins en service sont des engins réfrigérants. Ces groupes représentent 7,3 % de la charge de fluides pour 2,85 % des engins mis sur le marché en France en 2014. Si 31 % de ces groupes utilisent du R404A, 69 % font le choix du R507.

### Les impacts du nouveau règlement F-gas sur le transport sous température dirigée

Le calendrier, très ambitieux, du « phase down » prévoit, dès 2018, une réduction de 27 % (en équivalent  $\text{CO}_2$ ) des quantités de fluides réglementées mises sur le marché mais n'impose aucune contrainte sur la mise en œuvre d'équipements neufs

avant 2020. La quantité de fluides nécessaires pour assurer la maintenance des engins en service va donc être en concurrence directe avec les besoins des installations neuves et ce toutes applications confondues, qu'il existe ou non des alternatives sur le marché.

Face à la forte hausse du prix des fluides, plus de 15 % annoncés par Arkema sur le R404A entre 2014 et 2015, les transporteurs vont devoir trouver des solutions alternatives, plus vertueuses en termes d'impact climatique, leur permettant à la fois de maintenir leur flotte et de respecter les engagements qu'ils ont pu prendre dans le cadre de la « charte  $\text{CO}_2$ , les transporteurs s'engagent » de l'ADEME<sup>3</sup> en matière de diminution de leur empreinte carbone<sup>4</sup>.

Des fluides plus rares et plus chers dans un secteur qui en utilise tant pour la maintenance que pour les engins neufs ne peuvent laisser les transporteurs indifférents. Ils doivent trouver des solutions de remplacement à court ou moyen terme à la fois pour la maintenance et pour les engins neufs. Ces alternatives doivent tenir compte des exigences de performance du métier et en particulier du maintien pour les engins en service de l'attestation ATP, ce qui implique d'obtenir des puissances frigorifiques équivalentes ou supérieures.

### Les alternatives possibles

Pour remplacer les HFC à fort PRG dans les groupes frigorifiques de transport, les constructeurs ont trois grandes orientations possibles :

- le remplacement du R404A par un autre mélange de HFC ne nécessitant aucun changement sur le groupe : un véritable « drop-in ».
- l'utilisation de nouveaux fluides dans des groupes à compression

de vapeur et évaporateurs ventilés nécessitant des changements de conception des machines ou des modifications de composants.

- l'utilisation de technologies alternatives de production de froid comme la cryogénie, l'absorption, l'adsorption...

S'il existe des solutions de technologies alternatives sur le marché à base de cryogénie directe ou indirecte, à base de  $\text{CO}_2$  pour la gamme CryoTech de Thermoking ou d'azote pour les modèles Cryo-Di et Cryo-In fabriqués par Frappa et Blueeze d'Air Liquide, ces dernières peuvent être bien adaptées à certaines applications mais pas généralisables, du moins à court terme, du fait de l'absence d'une infrastructure de distribution de fluides. D'autres solutions sont en phase expérimentales comme celles à base d'absorption qui sont déjà commercialisées, par exemple, sur de petits conteneurs mais pas encore applicables aux volumes des engins de transport.

Quant aux solutions de groupes à compression de vapeur et évaporateurs ventilés utilisant des fluides frigorigènes à très faible PRG et plus particulièrement des fluides dits « naturels », elle sont en cours de développement ou d'essais comme les groupes prototypes pour semi-remorques présentés par Carrier au salon IAA de Hanovre en 2014. Mais s'il existe des solutions commerciales pour le transport maritime et les groupes de conteneur maritimes frigorifiques, les modèles testés ou présentés pour le transport terrestres sont encore des prototypes. Tous les fluides à très faible GWP, au-dessous de 150 nécessitent des modifications de machines.

Enfin pour les groupes eutectiques utilisant du R507, le remplacement par du  $\text{CO}_2$  peut sembler naturel,

3/ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

4/ Objectif  $\text{CO}_2$  - Les transporteurs s'engagent

mais ces engins sont en général utilisés sur des véhicules légers pour lesquels la charge utile est une contrainte extrêmement forte. Or les compresseurs au CO<sub>2</sub> et les contraintes constructives rendent les machines au CO<sub>2</sub> plus lourdes que les machines actuelles. La solution définitive devra aussi régler ce problème.

## Les solutions de remplacement du fluide ou « drop in » par un mélange de HFC à faible PRG

A court ou moyen terme pour les engins en service et à plus long terme pour les neufs, la seule solution consiste à remplacer le fluide par un fluide offrant des performances équivalentes sans avoir à modifier la machine : une vraie solution de remplacement est nécessaire comme ce fut le cas pour le remplacement du R22.

Depuis plusieurs années, les constructeurs de groupes frigorifiques de transport et les chimistes ont cherché des solutions de remplacement du R404A par des mélanges de HFC, de HFO ou de nouveaux HFC. Après de nombreux tests, le R407C a été présenté pour un « drop-in » dans le transport par les chimistes, mais il s'est avéré ne pas être un vrai « drop-in » et nécessite des adaptations coûteuses et complexes des machines jugées non satisfaisantes par les constructeurs et par leurs clients transporteurs.

La solution définitive n'est pas encore arrêtée, mais à ce stade le fluide R452A est privilégié.

## Le R452A une alternative possible ?

Le R452A est un mélange de HFC et de HFO, ces derniers étant également des HFC. Il est composé de R-1234yf (2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-en) pour 30 %, de R-125 (Pentafluorethane) pour 59 % et enfin de R-32 (Difluorméthane) pour 11 %. Sa formule chimique est donc CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> + CHF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub> + C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>.

Ce fluide a été élaboré par DuPont sous le nom déposé d'Opteon

XP44. Il s'inscrit dans une série de mélanges de HFC développés pour remplacer le R404A dans ses différentes applications actuelles. D'après son fabricant, le PRG du R452A est de 2141, 45 % inférieur à celui du R404A qu'il doit remplacer, et surtout inférieur au seuil fatidique de 2 500, bien qu'encore relativement élevé et supérieur à celui du R22 de 1 760 que le R404A avait lui-même remplacé ! Ses performances sont annoncées proches de celles du R404A par le fabricant qui le préconise pour les solutions de groupes frigorifiques de transport. Ce fluide est classé A1, non inflammable, une caractéristique importante dans le transport pour permettre l'accès des camions frigorifiques dans les sous-sols, les tunnels, les parkings...

D'après le fabricant, il s'agit d'un véritable « drop-in » qui pourrait être utilisé pour réaliser une conversion simple et rapide des équipements, autrement dit en remplacement de charge ne nécessitant aucune modification des composants de l'équipement et sans changement d'huile.

L'arrivée à très court terme de cette solution pourrait être une très bonne nouvelle pour les transporteurs qui pourront ainsi à la fois assurer l'entretien et la maintenance de leurs engins en service et prendre le temps d'étudier les technologies alternatives pour le froid embarqué de demain. Qu'en est-il exactement de ses performances ?

## Les résultats obtenus lors des essais du R452A et les perspectives

Différents essais ont été réalisés sur ce fluide en conditions réelles et en laboratoire, par son fabricant, les constructeurs de groupes frigorifiques de transport et des laboratoires indépendants.

## Les résultats du fabricant du fluide et des constructeurs

Les fabricants de fluides ont réalisé des campagnes de tests comparatifs des nouveaux fluides orchestrés par l'ARHI (Air-Conditioning and

Refrigeration Institute). Le R452A a fait l'objet d'un rapport spécifique publié début janvier 2015. Les essais ont été réalisés sur un groupe Thermoking SLX400 aux températures fixées par l'AHRI dans les laboratoires Thermoking de Prague en 2014.

Les essais montrent des puissances frigorifiques avec le R452A globalement comparables à celles obtenues avec le R404A mais souvent légèrement inférieures. Les écarts mesurés varient de -5,5 % à +0,3 % à 100°F (37,78 °C) extérieurs et de -1,7 % à +0,1 % à 86 °F (30 °C), la température extérieure de l'ATP.

## Les résultats des essais des laboratoires indépendants

Afin de pouvoir maintenir les attestations ATP des engins en service, les constructeurs de groupes ont lancé des essais comparatifs des performances des groupes frigorifiques de transport suivant les protocoles de tests de l'ATP. Les groupes sont montés sur des calorimètres. Pour les groupes multi-températures, chaque évaporateur est monté sur un calorimètre séparé. Les groupes sont testés d'abord au R404A, leur fluide d'origine, puis au R452A après simple changement de fluide, sans modification de la machine ni changement de composant ou d'accessoire. Les essais sont réalisés à +30 °C extérieur en mode route (diesel) et en mode secteur et à des températures comprises entre 0 °C et -20 °C pour toutes les machines. La puissance frigorifique et la consommation énergétique sont également mesurées. Pour les groupes mono-température, un autre point est testé en général à -25 °C ou à -10 °C.

Pour que le « drop-in » d'un groupe au R452A soit validé il faut que la puissance frigorifique obtenue avec celui-ci soit équivalente ou supérieure à celle obtenue avec le R404A sur la même machine.

Les essais en cours réalisés pour les deux principaux constructeurs mon-

# Dossier (Transport et logistique)

diaux de groupes frigorifiques de transport que sont Carrier et ThermoKing semblent confirmer que le R452A pourrait être un « drop-in » crédible.

Après plus de 20 essais de comparaison validés sur des machines autonomes et non autonomes destinées aux véhicules légers, aux poids lourds ou aux semi-remorques, les variations de puissances frigorifiques, sans aucune modification des machines vont d'environ -5 % à +13 %. Dans la majorité des cas, les puissances obtenues avec le R452A sont comparables à celles obtenues avec le R404A.

Les consommations d'énergie du R404A et du R452A sont tout à fait comparables que ce soit en mode secteur (électrique) ou en mode route (gasoil). Les écarts mesurés à ce stade sur plus de 20 essais dans les différents modes varient de -2 % à +4 % environ.

S'il ne s'agit que de résultats sur certaines machines, ils laissent présager un possible remplacement du R404A par le R452A, pour les machines en service (maintenance) ou les machines neuves sans modification des puissances et consommations ATP.

## Conclusion

Dans un contexte fortement contraint, les constructeurs de groupes doivent trouver des solutions durables pour les transporteurs et pouvant être rapidement déployées à toute leur gamme en service et de machines neuves. Relever ce défi nécessitera inévitablement la mise en œuvre de deux types de solutions : les solutions transitoires avec des mélanges de HFC disponibles d'ici quelques mois en « drop-in » pour les machines en service et pour les nouveaux groupes et, d'autre part, les solutions durables utilisant des fluides « naturels » ou à très faible PRG nécessitant des mo-

difications de machines et le développement de nouveaux produits, à horizon 2018 à 2025 ans suivant les modèles et les utilisations.

Ces solutions n'éviteront pas à court terme aux transporteurs des hausses de prix d'achat des fluides pour la maintenance de leurs équipements. Les essais présentés dans cet article permettent d'être optimistes sur les solutions de « drop-in » à très court terme. Les travaux de développement en cours et déjà présentés lors des derniers salons Solutrans à Lyon en 2013 et IAA à Hanovre en 2014 laissent espérer des solutions avec des fluides à très faible PRG à moyen terme pour les groupes frigorifiques. Le développement d'alternatives technologiques à moyen terme est également souhaitable et les essais en cours sont également prometteurs.

Le remplacement du R507 dans les groupes eutectiques reste lui plus délicat aujourd'hui et nécessite encore des développements.

## Bibliographie

- [1] Données DATAFRIG® base de données des engins de transport sous température dirigée français de l'autorité compétente ATP Cemafrigid.
- [2] M. Youbi-Idrissi, G. Cavalier, T. Suquet, "Qualification ATP des groupes cryogéniques indirects multi-températures », in Revue générale du froid n°1139 - décembre 2013.

- [3] G. Cavalier, Ph Nol, N Valentin and S Ben Amara, "Cryogenic refrigerated transport equipment tests: methodology and results", 1st IIR International Cold Chain and Sustainability conference, Cambridge March 2010.
- [4] DuPont, The Opteon® Family of Lower GWP Refrigerants.
- [5] Michal Hegar, Michal Kolda, "TEST REPORT #41 - System Drop-In Tests of Refrigerant -

Blend DR-34 (R-452A) in a Trailer Refrigeration Unit Designed for R-404A, Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI) Low-GWP Alternative Refrigerants Evaluation Program (Low-GWP AREP)". Ingersoll-Rand Engineering and Technology Center, Prague, Florianova 2460, Hostivice, Czech Republic January 13, 2015

