

## ***Note technique Arkema***

# **Forane<sup>®</sup> 407A**

## **L'alternative performante et bas GWP au R-404A et R-507A**

Les éléments contenus dans ce document résultent d'essais de nos Centres de Recherche, complétés par une documentation sélectionnée : ils ne sauraient toutefois constituer de notre part, ni une garantie, ni un engagement formel en aucune manière. Notre engagement quant à la qualité du produit se limite au respect des spécifications de celui-ci. Nous déclinons ainsi toute autre garantie, expresse ou implicite, relativement aux produits notamment, sans que cette liste soit exhaustive, concernant la commerciabilité, l'adaptation à un usage particulier ou les résultats tirés de l'utilisation des produits. L'utilisateur du produit supporte ainsi les risques relatifs à l'utilisation du produit, qu'il soit utilisé seul ou combiné à d'autres produits. Par ailleurs, la manipulation des produits, leur mise en œuvre et leurs applications restent soumises à la réglementation résultant de la législation en vigueur dans chaque pays.

## Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction</b>   | <b>3</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Caractéristiques et domaines d'utilisation principaux du R-404A et du R-507 <span style="float: right;">3</span></li> <li>○ Pourquoi remplacer le R-404A et R-507 : une pression réglementaire grandissante sur les fluides frigorigènes à GWP élevé <span style="float: right;">4</span></li> </ul>   |           |
| <b>Présentation du Forane® 407A</b>   | <b>7</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Principales caractéristiques <span style="float: right;">7</span></li> <li>○ Domaines d'utilisation <span style="float: right;">7</span></li> <li>○ Principales propriétés thermodynamiques <span style="float: right;">7</span></li> </ul>  |           |
| <b>Résultats d'évaluation expérimentale du Forane® 407A</b>   | <b>9</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Caractéristiques de l'installation utilisée pour réaliser les tests <span style="float: right;">9</span></li> <li>○ Conditions de tests <span style="float: right;">10</span></li> <li>○ Résultats obtenus pour la réfrigération moyenne température (-4°C) <span style="float: right;">10</span></li> <li>○ Résultats obtenus pour la réfrigération basse température (-32°C) <span style="float: right;">12</span></li> <li>○ Impact de la température de refoulement <span style="float: right;">15</span></li> </ul> |           |
| <b>Conclusion</b>   | <b>16</b> |

## Introduction

### **Caractéristiques et domaines d'utilisation principaux du R-404A et du R-507**

Le R-404A et R-507 sont les fluides frigorigènes majoritairement utilisés en Europe pour la réfrigération. Ces 2 fluides ont des PRG<sup>1</sup> (Potentiel de Réchauffement Global, GWP en anglais) relativement élevés (proches de 4000<sup>2</sup>).

En s'appuyant sur une partie des données du rapport sur les inventaires Européens des fluides frigorigènes publié en octobre 2011 par Armines / ERIE<sup>3</sup>, il peut être estimé que la proportion de 404A / 507 sur la banque totale de fluides frigorigènes installée en Europe en 2010 pour les applications de réfrigération est la suivante :

- **Froid commercial** (super / hypermarchés, et installations de petite et moyenne tailles) : il est estimé que plus de 80% de la banque installée est du 404A/507, soit approximativement 53 KT de 404A/507 sur un total de 70 KT de fluides frigorigènes installés dans les systèmes de réfrigération commerciale en Europe des 27.
- **Transport frigorifique** (camions et containers réfrigérés...): il est estimé qu'approximativement 3 KT de 404A était installé en Europe dans ce type d'application en 2010, ce qui représente environ la moitié de la banque totale de fluides frigorigènes contenue dans ces installations.
- **Réfrigération industrielle** : il est estimé qu'environ un tiers de la banque installée est du 404A/507, soit 18 KT de 404A/507 utilisé dans les applications de froid industriel en Europe en 2010.

| Applications   | Proportion en R-404A/507A sur la banque européenne totale installée (EU27)* |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Supermarchés</b> (<i>stockage frigorifique, vitrines...</i>)</li> <li>➤ <b>Réfrigération commerciale – installations de petite et moyenne tailles</b></li> </ul> | <p>&gt; 80%</p> <p>(53 KT)</p>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Transport frigorifique</b> (<i>camions réfrigérés, containers...</i>)</li> </ul>   | <p>~ 50%</p> <p>(3 KT)</p>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Réfrigération industrielle</b></li> </ul>  | <p>~ 30%</p> <p>(18 KT)</p>   |

*Principaux secteurs d'utilisation du 404A/507 et proportion en 404A/507 par rapport à la banque de fluides frigorigènes installée en Europe des 27 en 2010 (et volumes estimés correspondants en 404A/507) (source : rapport Armines / ERIE sur les inventaires en fluides frigorigènes, octobre 2011)*

<sup>1</sup> Le PRG est un indice de comparaison qui quantifie la contribution marginale au réchauffement global d'un gaz comparativement à celle du dioxyde de carbone, cela sur une période de référence choisie. Par définition, le PRG du CO<sub>2</sub> est égal à 1.

<sup>2</sup> Valeur de PRG sur une période de 100 ans (valeur exprimée selon le 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC de 2007)

<sup>3</sup> Référence: rapport Armines / ERIE, "1990 to 2010 Refrigerant inventories for Europe - Previsions on banks and emissions from 2006 to 2030 for the European Union", octobre 2011

## Pourquoi remplacer le R-404A et R-507 : une pression réglementaire grandissante sur les fluides frigorigènes à GWP élevé

La révision en cours du règlement F-Gas propose d'interdire l'utilisation des fluides à GWP élevés, au premier rang desquels figurent le R-404A et R-507, dans les équipements neufs ainsi qu'en maintenance, et ce relativement rapidement.

En l'état actuel des discussions sur ce sujet, les différentes propositions (proposition de la Commission Européenne publiée en novembre 2012<sup>4</sup> et version amendée et votée par le Parlement Européen le 19 juin 2013) proposent d'introduire des interdictions d'utilisation de fluides ayant un GWP supérieur à 2150 ou 2500<sup>5</sup> (ceci concernera donc le R-404A et le R-507 car ces 2 fluides ont un GWP supérieur à 2500) entre 2015 et 2017<sup>6</sup> dans les équipements neufs et entre 2017 et 2022 pour la maintenance des équipements existants (cette interdiction en maintenance ne concernera pas les petites unités ayant une charge en réfrigérant inférieure à un certain seuil exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>).

Si l'on se réfère à la proposition initiale de la Commission Européenne publiée en novembre 2012, il est proposé une mise en place des interdictions d'utilisation des fluides à GWP > à 2500 (dont le R-404A et R-507) suivant le calendrier suivant :

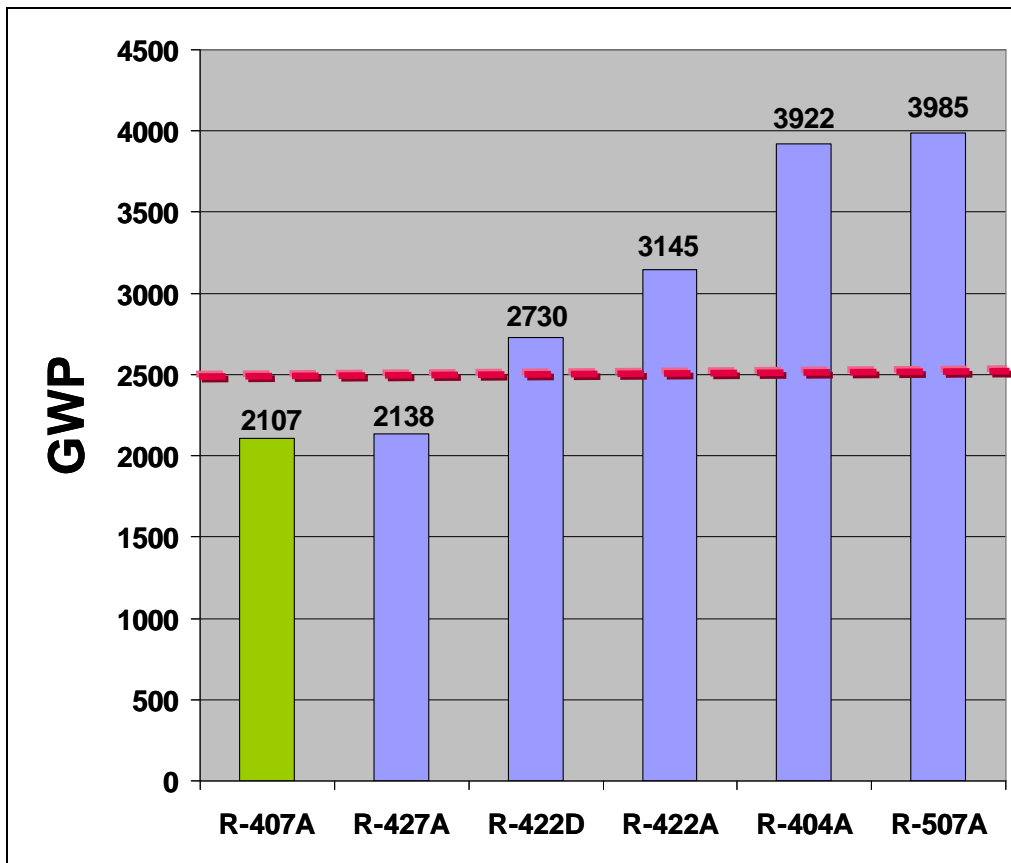
- **À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2017**: interdiction dans les **réfrigérateurs et congélateurs commerciaux neufs** (systèmes hermétiques) => cette interdiction sera étendue aux HFC dont le GWP est > à 150 à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020.
- **À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020**: **utilisation pour la maintenance interdite** dans les équipements existants ayant une charge supérieure à 5 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>. 5 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> équivaut à 1,3 kgs de R-404A, donc tous les systèmes ayant une charge supérieure à 1,3 kgs de R-404A ne pourront plus être rechargés avec ce fluide en cas de fuite après le 1<sup>er</sup> janvier 2020.

On observe dans le schéma ci-dessous que des fluides frigorigènes, tels que le Forane<sup>®</sup> 407A (fluide de remplacement du R-404A et R-507 ayant un GWP de 2107) et le Forane<sup>®</sup> 427A (fluide de rétrofit du R-22 ayant un GWP de 2138) ne seront pas concernés par ces futures interdictions, que ce soit dans les équipements neufs ou en maintenance d'équipements existants en raison de leur GWP inférieur à 2500.

<sup>4</sup> "Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases", Commission Européenne, 7 novembre 2012

<sup>5</sup> La limite de GWP fixée pour les interdictions varie suivant le type d'applications visées.

<sup>6</sup> Les dates d'entrée en application des interdictions varient selon l'application visée et suivant le texte de référence utilisé (proposition initiale de la Commission Européenne ou sa version amendée et votée par le Parlement Européen).



*Valeurs de GWP<sup>7</sup> à 100 ans des principaux fluides utilisés en réfrigération et limite à 2500 proposée par la Commission Européenne comme seuil d'interdiction en neuf et en maintenance*

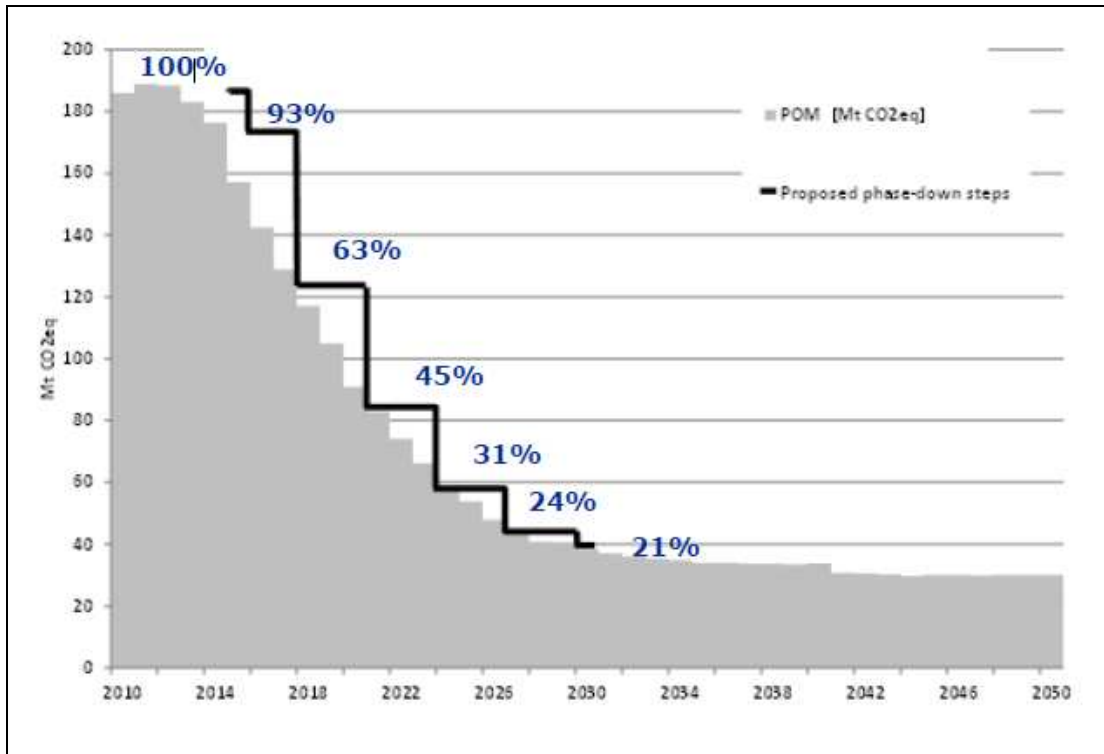
En complément de ces futures interdictions d'utilisation des fluides à GWP élevé, la Commission Européenne propose de limiter les quantités de fluides HFC autorisées à être mises sur le marché (introduction de quotas sur les ventes de fluides) progressivement à partir de 2016 en réduisant les quantités autorisées à être mises sur le marché de 7% par rapport à une ligne de référence qui correspond à la moyenne des volumes vendus sur la période 2008 à 2011 en Europe, pour atteindre un niveau résiduel de 21% de la quantité de référence en 2030. Il s'agit du cap and phase-down. Les quantités autorisées à être mises sur le marché sont exprimées en équivalents CO<sub>2</sub>, calculés directement en fonction du GWP de chaque fluide.

Le R-404A et R-507 étant les fluides à GWP les plus élevés, ils seront donc des fluides fortement consommateurs de quotas. Par exemple, 1 tonne de R-404A ou R-507 équivaut à presque 4000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>.

Par ailleurs, la Commission Européenne s'est appuyée sur un des scénarios du rapport SKM<sup>8</sup> pour proposer cette réduction progressive des quantités de HFC autorisées à être mises sur le marché en Europe. Le rapport SKM explique notamment que le passage de 93% de la ligne de référence en 2016-2017 à 63% dès 2018 n'est possible que si une transition rapide est opérée à la fois dans les équipements neufs et existants pour remplacer le R-404A ou R-507 avec des fluides à plus faible GWP, comme le R-407A.

<sup>7</sup> Valeurs de GWP à 100 ans calculées selon le 4<sup>ème</sup> rapport de l'IPCC de 2007

<sup>8</sup> Référence : rapport SKM ENVIROS, "Phase Down of HFC Consumption in the EU – Assessment of Implications for the RAC Sector", septembre 2012






*Mécanisme de réduction progressive des quantités de HFC autorisées à être mises sur le marché proposé par la Commission Européenne<sup>9</sup>  
(quantités exprimées en équivalent CO<sub>2</sub> et en pourcentage de la quantité de référence vendue sur la période 2008 à 2011)*

<sup>9</sup> "Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases", Commission Européenne, 7 novembre 2012

## Présentation du Forane® 407A

### 1. Principales caractéristiques

- Le Forane® 407A est un mélange HFC constitué à 40% de R-134a, 40% de R-125 et 20% de R-32.
- C'est un réfrigérant classé A1 par l'ASHRAE<sup>10</sup>, c'est-à-dire non toxique et non inflammable.
- Son GWP est presque moitié moindre que celui du R-404A et celui du R-507 (2107).
- Il est compatible et miscible avec les huiles POE (Polyolester), tout comme le R-404A et le R-507.

|                              |   |  |   |
|------------------------------|---|--|---|
| Composition                  | R-134a (40%)  | R-125 (40%)  | R-32 (20%)  |
|                              |  |  |  |
| Type                         | HFC blend   |  |   |
| ASHRAE safety classification | A1 - non-toxic and non-flammable  |  |   |
| GWP                          | 2107  |  |   |
| Recommended lubricant        | POE   |  |   |

### 2. Domaines d'utilisation

Le **Forane® 407A** est un fluide à faible GWP destiné au **remplacement du R-404A et R-507** (dans les équipements neufs et pour la reconversion d'équipements existants) pour la réfrigération moyenne et basse température.

Les applications les plus courantes sont :

- la réfrigération commerciale (vitrines réfrigérées, stockages frigorifiques...),
- le transport frigorifique (camions, conteneurs...),
- l'industrie agro-alimentaire...

### 3. Principales propriétés thermodynamiques

Le Forane® 407A a des propriétés thermodynamiques très proches de celles du R-404A et R-507 (voir tableau ci-dessous). Les deux principales différences sont :

- Le glissement de température de 6,4°K du Forane® 407A, par rapport au R-404A qui est un fluide quasi azéotrope et le R-507 qui est un fluide azéotrope. Du fait de ce glissement de température, l'utilisation du Forane® 407A n'est pas recommandée dans les systèmes à évaporateurs noyés.
- Le GWP du Forane® 407A est presque moitié moindre que celui du R-404A et celui du R-507, ce qui en fait un fluide de remplacement très intéressant vis-à-vis des évolutions réglementaires en cours.

<sup>10</sup> ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

| <b>Propriétés<sup>a</sup></b>                        |                      |                      |                 |
|--|----------------------|----------------------|-----------------|
|  | <b>Forane® 407A</b>  | <b>R-404A</b>        | <b>R-507A</b>   |
| • Point de bulle (°C)                                | <b>-45</b>           | <b>-46.2</b>         | <b>-46.7</b>    |
| • Glissement de température                          | <b>6.4 K</b>         | <b>0.7 K</b>         | <b>0 K</b>      |
| • Chaleur latente de vap. au pt d'ébullition (kJ/kg) | <b>238</b>           | <b>200</b>           | <b>197</b>      |
| • Température critique (°C)                          | <b>83.2</b>          | <b>72</b>            | <b>71</b>       |
| • Masse volumique à 25°C (kg/m <sup>3</sup> )        | <b>1145</b>          | <b>1044</b>          | <b>1048</b>     |
| • Pression à 25°C                                    | <b>12.5/10.9 bar</b> | <b>12.5/12.4 bar</b> | <b>12.8 bar</b> |
| • Pression à 50°C                                    | <b>23.2/21.2 bar</b> | <b>23.1/23.0 bar</b> | <b>23.6 bar</b> |
| • ODP  | <b>0</b>             | <b>0</b>             | <b>0</b>        |
| • <b>GWP<sup>b</sup></b>                             | <b>2107</b>          | <b>3920</b>          | <b>3985</b>     |
| • Classification ASHRAE                              | <b>A1</b>            | <b>A1</b>            | <b>A1</b>       |

<sup>a</sup> : REFPROP version 9.0  
<sup>b</sup> : valeur de GWP à 100 ans calculée d'après le 4<sup>e</sup> rapport de l'IPCC



## Résultats d'évaluation expérimentale du Forane® 407A

Dans le cadre des restrictions futures d'utilisation du R-404A et du R-507, Arkema a cherché à identifier la meilleure alternative possible à ces deux fluides ayant un GWP réduit, tout en maintenant des performances et des conditions de fonctionnement proches de celles du R-404A et du R-507.

Pour cela, différents fluides ont été testés et comparés en condition de « drop-in » : les différents fluides ont été testés dans les mêmes conditions dans un équipement désigné pour fonctionner au R-404A.

### 1. Caractéristiques de l'installation utilisée pour réaliser les tests

L'équipement de test en question est une unité de condensation de type walk-in freezer, d'une puissance de 4,4kW et équipée d'un compresseur scroll avec injection liquide. Les tests sont réalisés dans des chambres psychométriques à humidité et température contrôlées, avec l'unité de condensation et son évaporateur disposées dans 2 chambres distinctes.



*Photos des 2 chambres réfrigérées contenant respectivement l'unité d'évaporation (photo du bas) et l'unité de condensation (photo à droite)*

Les caractéristiques techniques complètes de l'installation utilisée sont les suivantes :

- **Unité de condensation**
  - Compresseur Scroll Copeland ZF15K4ETF5
  - Capacité (-34.4°C SST<sup>11</sup>, 35°C<sup>12</sup>) : 4.396 kW
  - Capacité (-18°C SST<sup>13</sup>, 35°C<sup>14</sup>) : 8.206 kW
  - Dimension ligne liquide : 13mm
  - Dimension ligne aspiration : 29mm
  - Capacité du receveur liquide : 90% volume = 10 kgs
- **Evaporateur**
  - Capacité (-28.9°C SST<sup>15</sup>, 5°C TD<sup>16</sup>) : 5.569 kW, 3810 CFM
- **Organe de détente**
  - Basse température : Sporlan EGSE2ZP, 2 tons R404A
  - Moyenne température : Sporlan EGSE2C, 2 tons R404A

## 2. Conditions de tests

Les différents fluides ont été testés dans les conditions de température suivantes :

- Températures intérieures : -4, -18 et -32°C
- Températures extérieures : 32 et 43°C

Ces températures ont été sélectionnées afin de couvrir une large gamme de conditions de températures et d'applications du R-404A.

## 3. Résultats obtenus pour la réfrigération moyenne température (-4°C)

Les critères recherchés pour une alternative performante au R-404A et R-507 sont les suivants :

- Maintenir un niveau de puissance frigorifique équivalent à celui du R-404A et R-507,
- Améliorer l'efficacité énergétique de l'installation (COP),
- Réduire significativement le GWP du fluide, afin de réduire les émissions directes de CO<sub>2</sub>.

Les résultats de nos tests comparatifs sont présentés ci-dessous. En bleu est représenté le coefficient de performance (COP), et en orange la puissance frigorifique (P frigo). Les résultats pour le R-407A et le R-407F sont exprimés par rapport au R-404A qui sert de référence.

La ligne rouge en pointillés représente la marge de variabilité expérimentale des résultats (+/-2%).

Pour une température extérieure de 32°C, on constate que :

- La puissance frigorifique du R-407A et du R-407F est équivalente ou supérieure à celle du R-404A.
- L'efficacité énergétique (COP) est améliorée avec le R-407A : +4% par rapport au R-404A.

<sup>11</sup> Température d'aspiration saturée

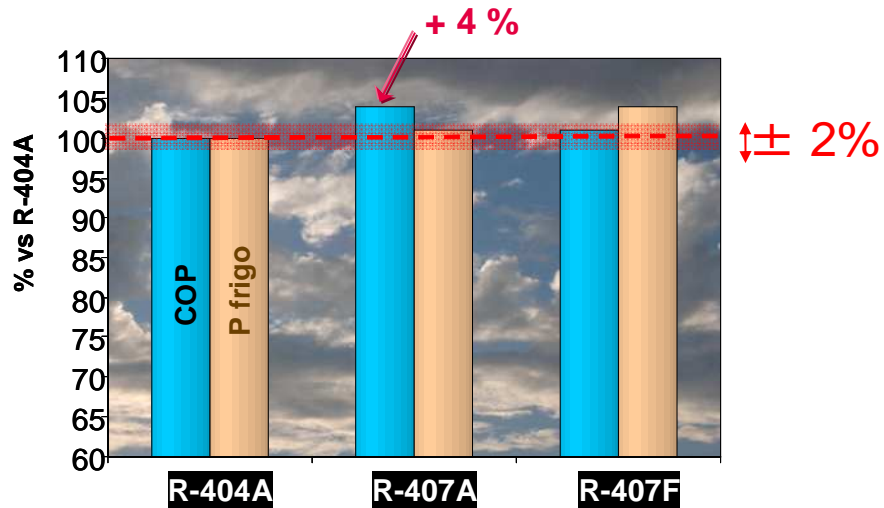
<sup>12</sup> Température ambiante

<sup>13</sup> Température d'aspiration saturée

<sup>14</sup> Température ambiante

<sup>15</sup> Température d'aspiration saturée

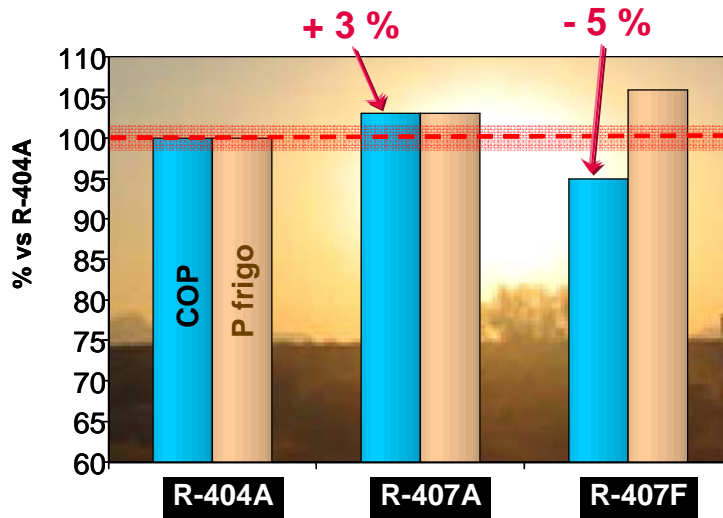
<sup>16</sup> Différence de température entre la température ambiante et la température de l'évaporateur



*Résultats pour une température intérieure de -4°C et une température extérieure de 32°C*

Pour une température extérieure de 43°C correspondant aux températures maximales généralement rencontrées en période estivale, on constate que :

- La puissance frigorifique du R-407A et du R-407F est supérieure à celle du R-404A.
- L'efficacité énergétique (COP) est améliorée avec le R-407A : +3% par rapport au R-404A, et +8% par rapport au R-407F.



*Résultats pour une température intérieure de -4°C et une température extérieure de 43°C*

Le tableau ci-dessous résume les principaux paramètres mesurés pour le R-407A et R-407F, ces valeurs étant exprimées par rapport au R-404A qui est la référence.

On constate que la température de refoulement est supérieure de 6°C par rapport à celle du R-404A. Cette valeur correspond à celle enregistrée avec l'injection liquide et reste proche de la température de refoulement du R-404A.

Le débit massique du R-407A et du R-407F est inférieur à celui du R-404A, nécessitant de ce fait des ajustements du détendeur (TXV). On note que le débit massique du R-407A est celui qui se rapproche le plus du R-404A.

Les pressions d'aspiration et débits gazeux sont quant à eux très proches entre les 3 fluides. A ce titre, aucune différence dans le retour d'huile n'a été observée avec le R-407A et R-407F par rapport au R-404A.

| <b>Propriétés par rapport au R-404A</b> |                 |                    |
|---|-----------------|--------------------|
| <b>T°extérieure : 32°C</b>              | <b>R-407A</b>   | <b>R-407F</b>      |
| <b>Pression d'aspiration</b>            | <b>-0.6 bar</b> | <b>-0.5 bar</b>    |
| <b>Température de refoulement*</b>      | <b>+6°C</b>     | <b>+6°C</b>        |
| <b>Débit massique</b>                   | <b>73%</b>      | <b>68%</b>         |
| <b>Débit gazeux</b>                     | <b>102%</b>     | <b>100%</b>        |
| <b>Ajustement de la TXV**</b>           | <b>+5 tours</b> | <b>+4.75 tours</b> |

\* Avec injection liquide  
 \*\* Par convention, un ajustement positif correspond à la fermeture de la TXV

*Valeurs des paramètres mesurés pour le R-407A et R-407F en référence au R-404A pour la réfrigération moyenne température (-4°C)*

**Conclusion :**

Pour la réfrigération moyenne température, le Forane® 407A est le fluide qui offre une amélioration de l'efficacité énergétique par rapport à celle du R-404A et du R-407F dans les conditions de température testées, tout en maintenant une puissance frigorifique équivalente voire supérieure à celle du R-404A.

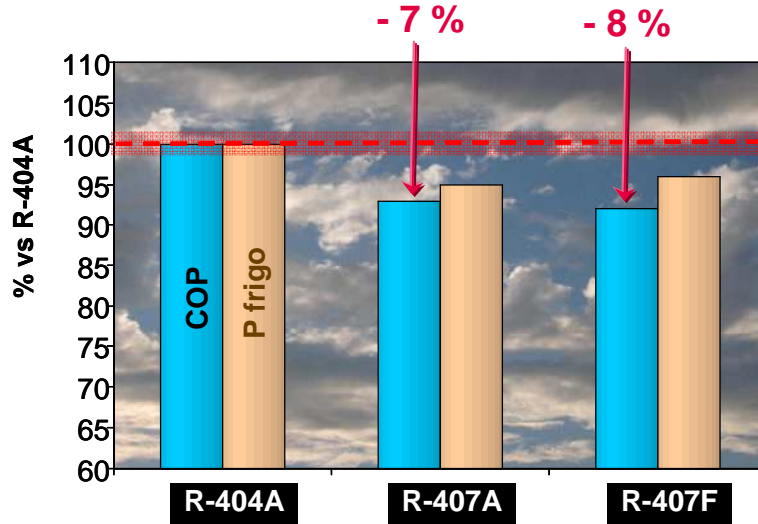
Cette amélioration de l'efficacité énergétique permet une réduction de la consommation énergétique des équipements pour une production de froid équivalente à celle du R-404A, ce qui permet des économies en terme de coûts de fonctionnement et une réduction des émissions indirectes de CO<sub>2</sub> liées à la consommation énergétique de l'équipement.

**4. Résultats obtenus pour la réfrigération basse température (-32°C)**

Les mêmes tests comparatifs ont ensuite été réalisées pour une température intérieure de -32°C. Voici les résultats obtenus.

Pour une température extérieure de 32°C, on constate que :

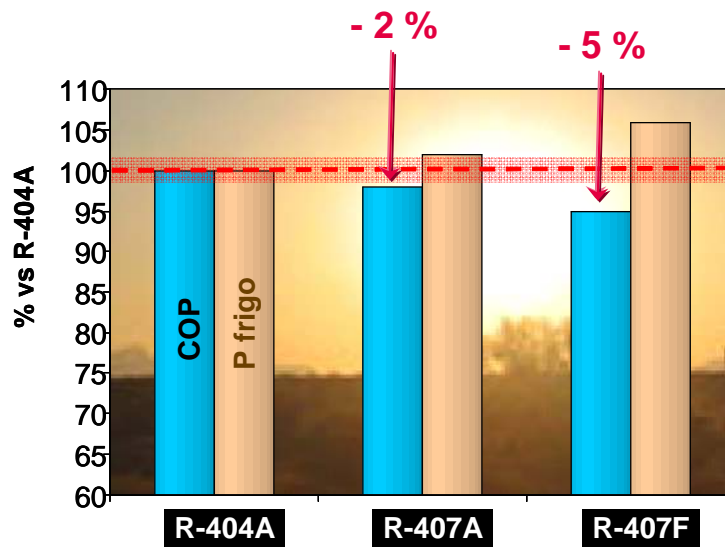
- La puissance frigorifique du R-407A et du R-407F est cette fois-ci inférieure à celle du R-404A, cette diminution étant tout de fois limitée : environ 5% inférieure à celle du R-404A.
- L'efficacité énergétique (COP) est inférieure également de quelques % par rapport au R-404A.



*Résultats pour une température intérieure de -32°C et une température extérieure de 32°C*

En revanche, pour une température extérieure plus élevée (43°C), on constate que le R-407A est très proche du R-404A en termes de performances :

- La puissance frigorifique du R-407A et du R-407F est désormais supérieure à celle du R-404A.
- L'efficacité énergétique (COP) reste inférieure à celle du R-404A, mais à nouveau le R-407A est le fluide qui offre le COP le plus proche du celui du R-404A.



*Résultats pour une température intérieure de -32°C et une température extérieure de 43°C*

Comme précédemment, le tableau ci-dessous résume les principaux paramètres mesurés pour le R-407A et R-407F, ces valeurs étant exprimées par rapport au R-404A qui est la référence.

On constate que l'augmentation de la température de refoulement du R-407A et du R-407F est beaucoup plus limitée : seulement 1°C supérieure à celle du R-404A, toujours avec l'injection liquide en fonctionnement.

Le débit massique du R-407A et du R-407F est inférieur à celui du R-404A, nécessitant de ce fait des ajustements du détendeur (TXV). On note que le débit massique du R-407A est celui qui se rapproche le plus du R-404A.

Les pressions d'aspiration et débits gazeux sont quant à eux très proches entre les 3 fluides.

| <b>Propriétés par rapport au R-404A</b> |                    |                 |
|---|--------------------|-----------------|
| <b>T° extérieure : 43°C</b>             | <b>R-407A</b>      | <b>R-407F</b>   |
| <b>Pression d'aspiration</b>            | <b>-0.3 bar</b>    | <b>-0.3 bar</b> |
| <b>Température de refoulement*</b>      | <b>+1°C</b>        | <b>+1°C</b>     |
| <b>Débit massique</b>                   | <b>68%</b>         | <b>61%</b>      |
| <b>Débit gazeux</b>                     | <b>97%</b>         | <b>91%</b>      |
| <b>Ajustement de la TXV**</b>           | <b>+1.25 tours</b> | <b>+1 tour</b>  |

\* Avec injection liquide  
 \*\* Par convention, un ajustement positif correspond à la fermeture de la TXV

*Valeurs des paramètres mesurés pour le R-407A et R-407F en référence au R-404A pour la réfrigération basse température (-32°C)*

**Conclusion :**  
 Pour la réfrigération basse température, le Forane® 407A est le fluide qui offre les performances les plus proches de celles du R-404A dans les conditions de température testées.  
 Il est à noter que pour les conditions les plus critiques en terme de sollicitations du compresseur (basse température à l'évaporation et haute température à la condensation), les performances sont nettement améliorées avec le R-407A par rapport au R-407F

## 5. Impact de la température de refoulement

Tous les résultats présentés précédemment sont ceux obtenus avec l'injection liquide en fonctionnement.

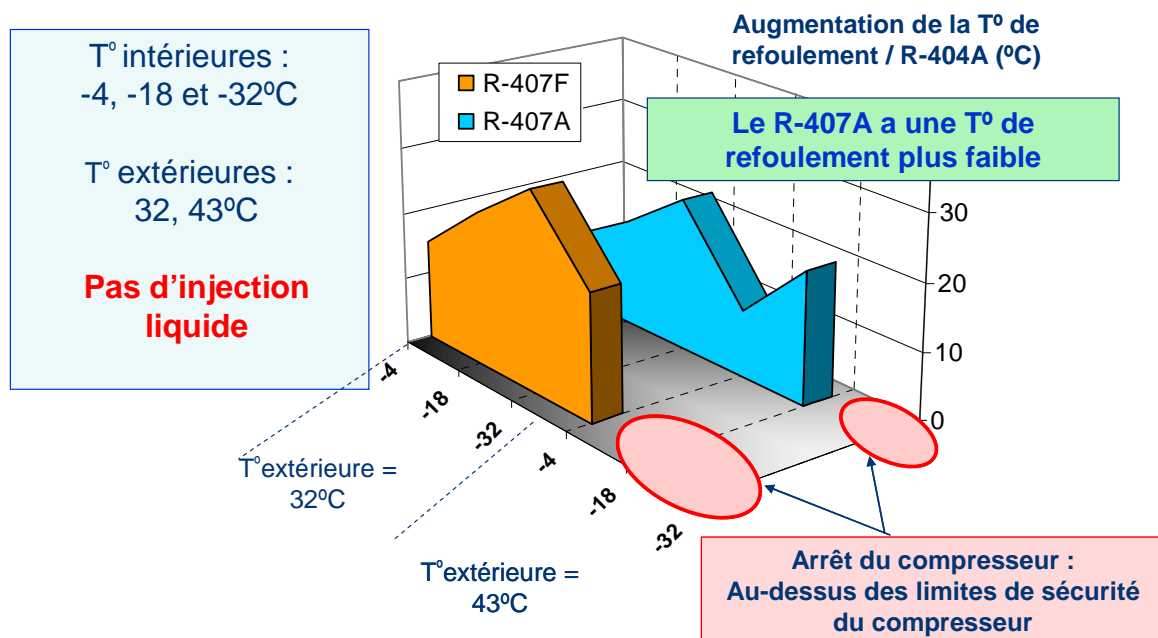
Nous avons voulu étudier l'impact de l'injection liquide sur la température de refoulement du R-407A et du R-407F. Pour ce faire, nous avons réitéré tous les tests précédents dans les mêmes conditions de températures, mais cette fois-ci en coupant l'injection liquide.

Le graphique ci-dessous représente l'augmentation de la température de refoulement du R-407F (en orange) et du R-407A (en bleu) par rapport à celle du R-404A pour les différentes températures testées (intérieures -4 à -32°C, et extérieures 32 à 43°C).

Pour chaque condition de température testée, l'augmentation de la température de refoulement par rapport au R-404A est toujours plus réduite avec le R-407A et est en moyenne inférieure de 10°C par rapport à celle du R-407F.

On constate par ailleurs que la plage de fonctionnement sans injection liquide est plus étendue avec le R-407A qu'avec le R-407F. En effet, pour certaines conditions de tests, l'augmentation de la température de refoulement est tellement importante par rapport au R-404A que cela déclenche l'arrêt du compresseur.

Ceci se produit uniquement à une condition de température pour le R-407A ( $T_{ext}=43^{\circ}C$  et  $T_{int}=-32^{\circ}C$ ), alors que l'on dépasse les limites de sécurité du compresseur pour 2 conditions de température avec le R-407F ( $T_{ext}=43^{\circ}C$  et  $T_{int}=-18^{\circ}C$  et  $-32^{\circ}C$ ).



*Comparaison de l'augmentation de la température de refoulement du R-407A (en bleu) et du R-407F (en orange) par rapport au R-404A sans injection liquide*

Par conséquent, la plage de fonctionnement est beaucoup plus étendue pour le R-407A sans injection liquide que pour le R-407F.

Ceci est un avantage énorme du R-407A par rapport au R-407F lorsque les compresseurs ne sont pas équipés d'injection liquide ou autre système de refroidissement additionnel.

## 6. Conclusion

### a) Performances

- Le Forane<sup>®</sup> 407A est un fluide frigorigène offrant de bonnes performances à moyenne et basse température.
- Sa capacité frigorifique est similaire au R-404A et R-507A sur une large gamme d'applications.
- Il permet **d'améliorer l'efficacité énergétique**, en particulier à température ambiante élevée, ce qui permet des gains en terme de frais de fonctionnement.

### b) Simplicité d'utilisation

- Le Forane<sup>®</sup> 407A est relativement simple à mettre en œuvre puisqu'il ne **nécessite pas de changement d'huile** : le Forane<sup>®</sup> 407A est compatible avec les huiles POE, tout comme le R-404A et R-507A.
- Sa mise en œuvre dans des équipements existants fonctionnant initialement au R-404A ou R-507A peut nécessiter des ajustements du détendeur, du fait du débit massique plus faible du R-407A par rapport à ces 2 autres fluides.
- Le Forane<sup>®</sup> 407A a une **température de refoulement plus faible** que celle du R-407F : par conséquent, le Forane<sup>®</sup> 407A peut être utilisé sur une gamme d'applications plus étendue sans refroidissement additionnel et la gamme de compresseurs approuvés pour le R-407A est beaucoup plus importante que le R-407F.

### c) Références

- Le Forane<sup>®</sup> 407A n'est pas un fluide nouveau. Il est utilisé depuis de nombreuses années dans plusieurs pays comme les États-Unis et l'Angleterre, et plus récemment en France et en Espagne, par plus de 12 chaînes de supermarchés, dont Walmart, Marks and Spencer, Condis supermarchés...
- **Ce fluide est approuvé par plusieurs compressoristes**, dont Copeland, Carlyle et Bitzer.

### d) Bénéfices environnementaux

Le Forane<sup>®</sup> 407A permet de réduire les émissions globales CO<sub>2</sub> et donc l'empreinte carbone d'un équipement grâce à son GWP presque 2 fois plus faible que celui du R-404A et du R-507, et sa consommation énergétique réduite dans certaines conditions de températures.

Le Forane<sup>®</sup> 407A est donc une alternative performante au R-404A et R-507A pour les équipements neufs et existants permettant de :

- ⇒ réduire significativement les émissions globales CO<sub>2</sub> d'un équipement grâce à son GWP réduit (2107) et à sa meilleure efficacité énergétique par rapport au R-404A et R-507A,
- ⇒ garantir un niveau de performances très proche voire supérieur à celui du R-404A et R-507A,
- ⇒ faire face aux futures réglementations qui viseront à interdire l'usage des fluides à GWP élevé (tels que le R-404A et R-507A) dans les équipements neufs et en maintenance.



FORANE<sup>®</sup> 407A / FORANE<sup>®</sup> 427A

# LES RÈGLES CHANGENT, GARDEZ LA TÊTE FROIDE

Le Forane<sup>®</sup> 427A (GWP 2138) est la solution de reconversion idéale pour les installations R-22 existantes. Plus proche équivalent du R-22 en termes de performances et de conditions d'utilisation, le Forane<sup>®</sup> 427A est le fluide de substitution le plus polyvalent et peut être utilisé dans une large gamme d'applications. Passer du R-22 au Forane<sup>®</sup> 427A ne requiert aucune modification de l'installation.

Le Forane<sup>®</sup> 407A (GWP 2107) est l'alternative bas GWP au R-404A et au R-507 pour les équipements neufs et existants. Réduisez votre consommation énergétique et votre empreinte carbone grâce au GWP plus faible et à la meilleure efficacité énergétique du Forane<sup>®</sup> 407A.

#### REFRIGÉRANTS HAUTE PERFORMANCE

- FAIBLE GWP
- EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
- NON TOXIQUES, NON INFLAMMABLES
- SOLUTIONS À LONG TERME

www.arkema.com



[forane.com](http://forane.com) - [info.forane@arkema.com](mailto:info.forane@arkema.com)

**FORANE<sup>®</sup>**  
REFRIGÉRANTS  
BY ARKEMA