



# Tout savoir avant la conversion des installations au R404A

**Dossier technique**

**FRAMACOLD** 

## Table des matières

Préambule : Convergence Politique et Physique globale .....	3
Pourquoi la thermodynamique utilise-t-elle des gaz polluants ? .....	3
Les limites de la physique : .....	3
1. CADRE REGLEMENTAIRE SELON LA F-GAZ: .....	4
1.1 Niveaux de GWP autorisés selon la F-GAZ.....	4
1.2 Le calendrier des obligations de GWP pour les nouveaux équipements. ....	4
1.3 HFC Phase Down : à quoi correspondent les quotas ? .....	5
1.4 quelles conséquences pour les installations ?.....	5
2. LES CHOIX DISPONIBLES POUR LE RETROFIT DES INSTALLATIONS au R404A .....	6
2.1 Parlons tout d’abord des problématiques physiques : .....	6
Le R32 a un problème sérieux de miscibilité aux huiles POE : .....	6
Le R32 entraine un débit massique inférieur au R404A :.....	7
2.2 Conséquences pratiques dans les installations au R404A .....	7
2.3 Convergence des facteurs aggravants !.....	8
2.4 Le R32 augmente la température de refoulement .....	8
3. LE R442A SEUL FLUIDE PREVU POUR RESOUDRE LES PROBLEMATIQUES DE CONVERSION. ....	9
3.1 Avantages énergétiques concrets .....	9
3.2 Tests comparatifs réalisé à l’aveugle par l’UPC .....	9
Résultats des tests dynamiques .....	10
Résultats à régime constant .....	10
CONCLUSION.....	11
TEMOIGNAGES.....	11
BIBLIOGRAPHIE .....	12

## Préambule : Convergence Politique et Physique globale

Le monde de la réfrigération et plus largement de la thermodynamique évolue en raison des réglementations sur la protection de l'environnement. Nous souhaitons vous apporter un aperçu clair, et le plus objectif possible pour vous permettre de comprendre les enjeux techniques, scientifiques, écologiques qu'imposent ces réglementations. Ainsi vous pourrez vous faire votre propre avis sur les choix de réfrigérant à venir, sur la baisse des GWP et décider des changements à réaliser.

La réglementation européenne [F-GAS](#) (Gaz Fluorés) résulte des accords internationaux de Montréal (1987) sur la réduction des gaz agissant sur la couche d'ozone -les CFC-, puis de Kyoto (1997), sur la réduction des gaz à effet de serre -les HFC-. Ce dernier mois d'octobre 2016, l'accord de Kigali décide de la diminution progressive des HFC au niveau mondial.

Cet accord est le plus important pour nous en Europe car, avec la F-Gas2, nous étions la seule région du monde à avoir décidé des contraintes de baisse drastiques de GWP alors que nous n'avons pas de solution simple et efficace pour le remplacement du R404A sous GWP de 150. La décision mondiale de diminution des HFC d'ici 2050 donne les moyens à la science de rechercher des solutions globales.

## Pourquoi la thermodynamique utilise- t-elle des gaz polluants ?

Comme vous le savez, depuis plus de 100 ans, le moyen le plus efficace et simple pour produire du froid est le cycle thermodynamique par le changement d'état d'une substance liquide à gazeuse.

Pour pouvoir absorber des calories lors de l'évaporation, **une des caractéristiques du liquide est de s'évaporer entre -20 et -50°C (à 1bar)**. Certains fluides « naturels » utilisés à l'origine remplissent ces caractéristiques comme l'ammoniac, le dioxyde de soufre, le propane. Malheureusement, ceux-ci sont toujours dangereux à utiliser pour les personnes car inflammables et/ou toxiques. Donc par soucis de sécurité, en 1920 les CFC, molécules stables, non toxiques, non inflammables furent mises au point pour les remplacer. 50 ans après, certains scientifiques s'aperçurent que ces molécules détruisaient la couche d'ozone, elles furent donc interdites. Aujourd'hui, les CFC ont été remplacés par les HCFC ou les HFC sur la quasi-totalité du globe, mais nous savons maintenant que ces molécules augmentent l'effet de serre en cas d'émission dans l'atmosphère.

Le HFC R404A, utilisé actuellement dans une majorité des installations en Europe est un réfrigérant non toxique, non inflammable, particulièrement **stable**, pouvant être utilisé indéfiniment dans le cycle thermodynamique d'une installation, sans aucune pollution directe. C'est seulement en cas de fuite que le R404A libéré reste des dizaines d'années dans l'atmosphère, engendrant le réchauffement de l'atmosphère par effet de serre. Les scientifiques ont calculé pour chaque réfrigérant leur impact : cette unité de mesure est le GWP (Global Warming Impact), ou le PRP (Potentiel de Réchauffement Planétaire), ou encore le PRG (Potentiel de Réchauffement Global).

Par exemple, pour le R404A, son GWP est de 3922\* c'est-à-dire que 1kg de R404A libéré dans l'atmosphère correspond à 3922kg de CO2 rejeté sur 100 ans.

\* L'ensemble des GWP fournis sont basés selon le rapport IPCC 4 pris en compte à ce jour dans la réglementation F-Gas II 2014.

## Les limites de la physique :

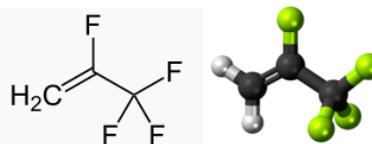
**Les HFC étant des molécules saturées**, elles sont **stables**, donc mettent longtemps à se détruire quand libérées dans l'atmosphère. Pour réduire le GWP, donc accélérer leur dégradation, des molécules **insaturées** (HFO) commencent à être synthétisées, mais ce n'est pas si simple. Ce qu'il faut comprendre, c'est que l'instabilité d'une molécule la rend plus ou moins réactive à son environnement. La molécule insaturée cherchera à se lier à certaines molécules ambiantes, pouvant alors créer :

- Soit une inflammabilité plus ou moins importante,
- Et/ou une toxicité si elle se lie aux êtres vivants.

Ce qui complique le problème pour la réfrigération par rapport à la climatisation, c'est que plus le point d'ébullition est bas, plus l'instabilité des molécules insaturées s'accroît !

Ainsi les applications de climatisation peuvent avoir des solutions techniques plus accessibles qu'en réfrigération et surgélation.

Fig1. Les HFO (hydro-fluoro-oléfines) sont des HFC insaturés car ils comportent tous une double liaison éthylénique, comme indiqué sur la figure ci-dessous. La dénomination HFO est souvent utilisée pour disposer d'une dénomination différente vis-à-vis des HFC saturés dont le GWP est élevé. Scientifiquement, il est plus approprié de les appeler HFC insaturés.



Exemple : Structure du R-1234yf

Cette double liaison s'ouvre facilement en présence du radical oxyhydroyle très abondant dans l'atmosphère, d'où la destruction extrêmement rapide de ce type de molécule. Par contre cette molécule est classée A2L (inflammabilité faible).

# 1. CADRE REGLEMENTAIRE SELON LA F-GAZ :

Avant de choisir les fluides de remplacement, nous décrivons dans ce chapitre les contraintes réglementaires de la phase down des HFC.

## 1.1 Niveaux de GWP autorisés selon la F-GAZ

La ligne de conduite pour le choix des réfrigérants est clairement définie jusqu'en 2030 :

Au 1<sup>er</sup> janvier 2020 la maintenance des équipements frigorifiques ne sera possible qu'avec des fluides vierges d'un GWP inférieur à 2500.

Le R404A et R507 ne pourront être utilisés uniquement régénéré jusqu'en 2030.

Pour les installations neuves, un calendrier plus restrictif, par type d'installation, est programmé. Ceci pour permettre d'atteindre les objectifs des quotas. Ce sont les fabricants d'équipements qui imposeront progressivement leurs choix car les technologies changent, soit vers des équipements utilisant des réfrigérants plus ou moins inflammables, soit des équipements de Très Hautes Pressions (CO2), soit à Toxicité (Ammoniac).

## 1.2 Le calendrier des obligations de GWP pour les nouveaux équipements.

Pour aider à atteindre ces quotas, des contraintes importantes sont imposées aux fabricants d'équipements neufs selon les tableaux ci-contre :

Nous pouvons voir dans ce tableau les 2 limites maximales principales de GWP 2500 et 150 selon les applications et date.

### Application de la F-GAS-II (2014) en réfrigération

Maintenance	Installation NEUVE			
Réfrigération (charge >40teq CO2)	Réfrigération fixe (tout sauf usage commercial)	Réfrigération usage commercial		
Dès 2020	Dès 2020	Hermétiquement scellé	Centrale >40kW	
GWP max 2500	GWP max 2500	01/01/2020	01/02/2022	01/01/2022
		GWP max 2500	GWP max 150	Centrale mono étage
				Centrale Cascade
		GWP max 150	1 <sup>er</sup> étage GWP max 1500	2 <sup>ème</sup> étage GWP max 150

### Application de la F-GAS-II (2014) autres applications

Climatisation équipement neuf	Automobile neuve	Aucune obligation		
Split < 3kg fluide	Mobile Autonome	Tout véhicule neuf	Maintenance de Climatisation	Autre (VRV, Chiller) +3kg charge
Dès 2025	Dès 2020	Dès 07/2017		Transport Frigorifique
GWP max 750	GWP Max 150	GWP max 150		

(une exception en réfrigération commerciale sur les équipements centralisés ou le 1<sup>er</sup> étage des systèmes en cascade peut être de GWP 1500)

Comme vous pouvez le voir, nous ne pouvons donner une moyenne de GWP d'un fluide à utiliser car il dépend précisément de son application.

La solution que les fabricants d'équipement choisiront ne dépendra pas seulement du GWP.

Les autres critères seront :

- La bonne performance énergétique du fluide, du système. (éco-conception).
- Le coût de production de l'équipement (il doit rester compétitif)
- Les normes de sureté d'installation (inflammabilité / toxicité/pression).

La réglementation est plus simple pour le choix de fluide dans la maintenance des installations existantes : il faut choisir un réfrigérant adapté, d'un GWP inférieur à 2500.

Par contre, techniquement et financièrement, le choix du fluide appartient à la société de maintenance.

### 1.3 HFC Phase Down : à quoi correspondent les quotas ?

Pour parvenir à une réduction des gaz à effet de serre, le règlement F-Gas met en œuvre un mécanisme de quotas de HFC utilisables, décroissant entre le 1er janvier 2015 et 2030, exprimé en tonnes équivalent CO2 (tCO2eq). La valeur initiale du quota en 2015 - 182,5 Millions tCO2eq - devait être répartie au 1er janvier 2015 entre les 79 producteurs et importateurs Européens de HFC en vrac qui avaient déclaré des ventes durant la période de référence 2009-2012. Une part est prévue pour de nouveaux entrants sur le marché.

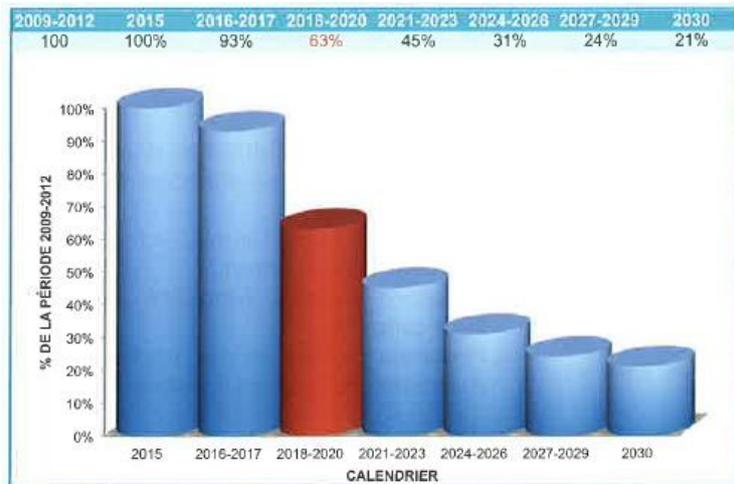
Fig.2 En rouge, la période 2018 montre une baisse de 30% de ces quotas. Les conséquences seront importantes pour les utilisateurs de R404A, ce fluide étant le plus grand « consommateur » de quotas.

Cette diminution drastique correspond à l'arrêt du R134A dans les voitures neuves, ce qui amortira la chute par une compensation des tCOeq.

### Pour atteindre les objectifs de diminution des HFC la F-GAZ se base sur 4 piliers :

1. L'arrêt des GWP supérieurs à 2500
2. La mise en place de quotas
3. L'imposition de faible GWP pour les équipements neufs
4. Le meilleur contrôle des fuites accidentelles.

Fig2. Calendrier Européen de Phase Down des HFC



Calendrier de diminution progressive des fluides disponibles.

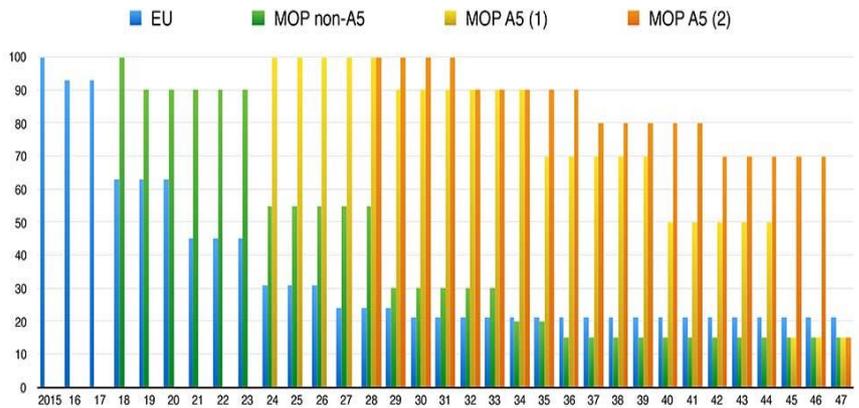
### 1.4 Quelles conséquences pour les installations ?

**NEUF :** nous avons vu dans le chapitre précédent que le calendrier progressif est exigeant pour atteindre les objectifs.

**MAINTENANCE :** pour les installations existantes, en 2020, le GWP maximum autorisé sera de 2500. Le GWP du R404A est de 3922. Le R404A sera alors interdit.

Par contre, la baisse importante des quotas prévue en 2018, va faire augmenter énormément le prix du R404A dès 2017 afin d'inciter son remplacement et éviter les pénuries effectives en 2018.

Fig3. Calendrier Mondial de Phase Down des HFC selon l'accord de Kigali



**Europe:** Phase down under the European F-gas regulations

Baseline calculated from average annual consumption from 2009-2012. Freeze in 2015, followed by a first reduction in 2016

**Non-A5 (developed countries):**

Baseline calculated from average annual consumption from 2011-2013

**A5 (developing countries) – Group 1:**

Baseline calculated from average annual consumption from 2020-2022. Freeze in 2024, followed by a first reduction in 2029

**A5 (developing countries) – Group 2 (GCC, India, Iran, Iraq, Pakistan):**

Baseline calculated from average annual consumption from 2024-2026. Freeze in 2028, followed by a first reduction in 2032

**DETECTEUR DE FUITE :** Les installations de plus de 500tCO2eq (127kg de R404A) ont l'obligation d'être équipées d'un système d'alerte en cas de fuite. Ce détecteur doit pouvoir déclencher une alarme au plus tard lorsque la fuite conduit à la plus grande des pertes : soit 50 gramme par heure ; soit 10% du vol. de fluide de l'équipement.  
 Ex. : le système DNI de Matelex répond à cette réglementation.

## 2. LES CHOIX DISPONIBLES POUR LE RETROFIT DES INSTALLATIONS au R404A

Ayant désormais fait le tour de la réglementation, nous décrivons dans ce chapitre les contraintes techniques des fluides de remplacement.

### 2.1 Parlons tout d'abord des problématiques physiques :

En diminuant le GWP sous les 2500, tous les fabricants ont dû avoir recours, au remplacement (fig4) du R143A par le R32 pour sa haute capacité volumique frigorifique, son faible GWP, et sa disponibilité de production industrielle.

Les HFO 1234yf et 1234ze font diminuer le GWP mais ont des propriétés thermodynamiques proches de celles du R134A pour le R1234yf et bien inférieures pour le R1234ze ; ceci entraînant une baisse de performance énergétique mais aussi une inflammabilité si leur proportion est importante. Dans tous les cas, ils entraînent une hausse de prix importante du réfrigérant.

Le R32 est traditionnellement utilisé dans les mélanges de fluides en climatisation comme le R410A et R407C, car il a un comportement proche du R22. Mais il n'est pas bien adapté à la réfrigération : POURQUOI ?

Le R32 a un problème sérieux de miscibilité aux huiles POE :

Bien connu des fabricants de lubrifiant, il a été mis en évidence par AHRI de US Dpt NRJ (Fig5.) Source AHRI de US Department of Energy, rapport Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute Inc. July 1993. -> sous 10°C la miscibilité de l'huile ISO 22 (-10°C ISO32) au réfrigérant est incomplète.

Réfrigérants	Composants en %							
	R125	R134a	R32	R152A	R227ea	R143A	1234yf	1234ze
R404	44	4				52		
R407F	40	40	20					
R442A	31	30	31	3	5			
R448A	26	21	26				20	7
R449A	27,4	25,7	24,3				25,3	
R452A	59		11				30	

Fia4. Principaux remblacants du R404A. en rouae le R32 remplace en partie le R143A.

Fig5. Rapport mesurant la non miscibilité du R32

DOE/CE/23810-20

MATERIALS COMPATIBILITY AND LUBRICANTS RESEARCH ON CFC-REFRIGERANT SUBSTITUTES

Quarterly MCLR Program Technical Progress Report

1 April 1993 - 30 June 1993

David S. Godwin  
Glenn C. Hourahan  
Steven R. Szymurski

Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Inc.  
4301 North Fairfax Drive, Suite 425  
Arlington, Virginia 22203

July 1993

Prepared for  
The U.S. DEPARTMENT OF ENERGY  
Grant Number DE-FG02-91CE23810

This program is supported, in part, by U.S. Department of Energy grant number DE-FG02-91CE23810. Materials Compatibility and Lubricants Research (MCLR) on CFC-Refrigerant Substitutes. Federal funding supporting this program constitutes \$4,143,000 or 93.67% of allowable costs. Funding from non-government sources supporting this program consists of direct cost sharing totaling \$280,000 or 6.33% of allowable costs, and significant in-kind contributions from the air-conditioning and refrigeration industry.

DOE/CE/23810-20

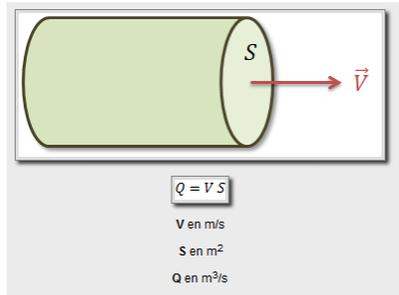
TABLE 1. Miscibility of Lubricants with Refrigerants

Lubricant	Refrigerant									
	R22	R32	R123	R124	R125	R134	R134a	R142b	R143a	R152a
Pentaerythritol Ester mixed acid ISO 22 cSt	M	> 50 < 10	M	M	M	M	< -50	M	I	M
Pentaerythritol Ester mixed acid ISO 32 cSt	M	< -10	M	M	M	M	< -40	M	I	M
Pentaerythritol Ester mixed acid ISO 100 cSt	M	---	M	M	> 60	M	< -10	M	I	M
Pentaerythritol Ester branched acid ISO 32 cSt	M	---	M	M	M	M	M	M	I	M
Pentaerythritol Ester branched acid ISO 100 cSt	M	---	M	M	> 40	M	> 60	M	I	> 90

Le R32 entraîne un débit massique inférieur au R404A :

Tous les fluides de substitutions à faible GWP du R404A ont un débit massique inférieur au R404A (généralement entre 20 et 40% selon les températures)

-> la vitesse du fluide n'est plus adaptée à un bon retour d'huile car les diamètres de tuyauteries calculés au R404A sont trop importants.



## 2.2 Conséquences pratiques dans les installations au R404A

« L'effet cocktail » d'une baisse de la miscibilité et d'une vitesse fluide réduite amplifie les phénomènes suivant :

**1 Une accumulation de l'huile** aux points froids, aux points bas et points de rugosités (notamment sur les tubes rainurés).

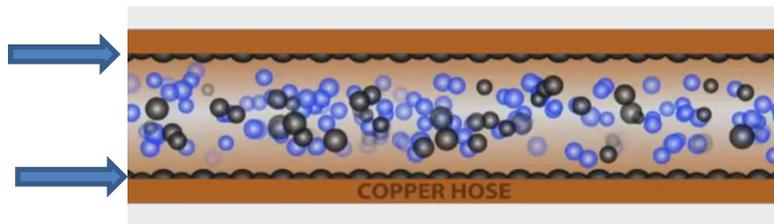


Fig6 : L'huile s'accumule sur la périphérie sous forme de film d'huile. Les tubes rainurés créent plus de points de rugosités augmentant les dépôts d'huile.

Entrainant :

-> une baisse significative de l'efficacité des échangeurs.

-> une augmentation la fraction d'huile par son retour imparfait.

**2 Une augmentation de la viscosité :**

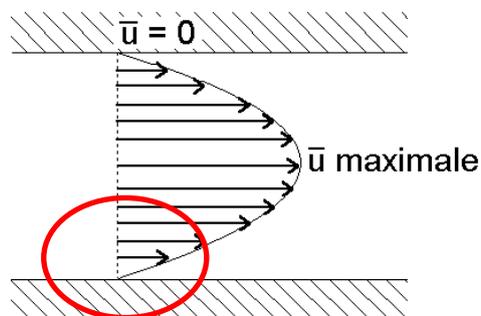
Entrainant :

- > des pertes de charges,
- > un moins bon échange thermique,
- > un film d'huile plus épais.

Une augmentation de la viscosité du mélange huile-réfrigérant produit un flux laminaire central dans lequel la vitesse interne du fluide dans le tube est plus rapide, et la vitesse périphérique plus lente.

Ceci diminue aussi l'échange thermique et augmente la formation et l'épaisseur du film d'huile.

Les tubes rainurés amplifiant le phénomène.



Ces pertes d'efficacité augmentent la consommation électrique inutilement. Les calculs de COP ne tiennent généralement pas compte du coefficient de performance fluctuant des échangeurs en fonction de l'huile résiduelle du circuit.

---

*DES UNE FRACTION D'HUILE CIRCULANT SUPERIEURE A 2%, LE COEFFICIENT D'ÉCHANGE DANS L'ÉVAPORATEUR EST SIGNIFICATIVEMENT RÉDUIT.*

---

Le R32 composant les mélanges des substituts est **LE** facteur déclenchant de la perte d'efficacité.

*Tous ces résultats sont une synthèse de différentes publications scientifiques de chercheurs Français, Européens, Américains, sur l'impact de l'huile dans un circuit frigorifique. Cf bibliographie M.Youbi Idrissis*

## 2.3 Convergence des facteurs aggravants !

Les systèmes centralisés tels ceux des supermarchés ou des chambres de stockage sont particulièrement sensibles au phénomène d'accumulation des huiles.

En effet, voici les facteurs aggravants de l'accumulation de l'huile dans les systèmes :

- ✓ La baisse de la miscibilité de l'huile ( $\Delta$ R32)
- ✓ La baisse du débit massique ( $\Delta$ R32)
- ✓ La baisse de la température ( $\Delta$  les applications classiques R404A)
- ✓ La hausse du % d'huile circulant ( $\Delta$ R32)
- ✓ La longueur importante des circuits ( $\Delta$ centrales R404A)
- ✓ La baisse de la surchauffe
- ✓ Les tubes rainurés

**Attention donc aux conditions de conversion des applications du R404A qui sont quasi toutes aggravantes !**

## 2.4 Le R32 augmente la température de refoulement

Le R32 est très performant mais augmente la température de refoulement selon sa proportion dans les mélanges de réfrigérant.

C'est un paramètre à surveiller même si tous ces réfrigérants ont des températures de refoulement inférieures au fameux R22.

Tout d'abord, une augmentation de la température de refoulement ne se produit qu'en basses températures d'évaporation à partir environ -35°C.

De plus, par expérience, nous observons en pratique que les températures de refoulement observées pour les différents fluides sont inférieures à celles simulées par les programmes de calcul.

Autre constat : malgré une proportion de R-32 plus élevée pour le R407F et le R442A comparée aux R448A/R449A, la différence de température de refoulement reste réduite et de nombreuses fois tous ces réfrigérants auront besoin des mêmes contrôles de température de refoulement.

Enfin ces augmentations de la température de refoulement sont observées sur de courtes périodes de l'année, en été, à midi, etc., mais pas pendant le reste de l'année.

**Quels sont les moyens de contrôler la température de refoulement ? :**

La condensation :

Sur une installation existante, cette augmentation de température peut être atténuée par :

- l'utilisation de condenseurs déjà largement dimensionnés,
- l'ajout d'un condenseur supplémentaire,
- l'augmentation de la vitesse des ventilateurs.

La surchauffe :

En réduisant légèrement la surchauffe, le réfrigérant arrivera plus froid au

compresseur, réduisant ainsi cette température de refoulement.

L'aspiration :

vous pouvez obtenir le refroidissement directement sur l'aspiration en ajoutant une électrovanne. C'est une méthode très fiable et économique.

L'injection de liquide :

Les fabricants de compresseurs proposent une injection de liquide pour permettre de maintenir la température de refoulement dans les limites de sécurité du compresseur en basse température. Cette solution permet d'être indépendante de l'installation.

Ce sont des solutions simples et peu coûteuses limitant, si besoin, la température de refoulement dans la limite de tolérance des compresseurs.

---

*Maintenant que nous connaissons les contraintes de conversion des installations au R404A, nous avons les moyens de choisir objectivement le réfrigérant remplissant ces prérogatives.*

---

### 3. LE R442A (RS-50) SEUL FLUIDE PREVU POUR RESOUDRE LES PROBLEMATIQUES DE CONVERSION.

Sachant que la conversion des installations au R404A poserait des problèmes de retour d'huile, le laboratoire Refrigerant Solutions Ltd a utilisé 2 adjuvants le HFC R227ea et R152a.

---

*Refrigerant Solution Ltd (RSL) a découvert que le R227ea et le R152a permettent une miscibilité et une solubilité complète de l'huile POE dans le R32.*

---

#### **R227ea :**

Refrigerant Solution Ltd (RSL) a découvert la propriété de miscibilité et de solubilité du R227ea : un brevet a été déposé et accordé aux Etats-Unis (brevet américain n 6.991.743).

Il agit sur la phase liquide en stabilisant l'émulsion du mélange huile/réfrigérant. Ainsi il permet une parfaite circulation de l'huile dans les tuyauteries, même surdimensionnées (pour le R404A). D'autre part il réduit la viscosité du mélange huile/réfrigérant, diminuant les pertes de charges et améliorant l'efficacité de l'échange dans le condenseur.

#### **R152a :**

La présence de R152a a, quant à lui, la faculté de rendre l'huile parfaitement miscible en phase gazeuse. Le R152a évite alors la séparation de phase de l'huile entre le réfrigérant liquide et gazeux, évitant l'apparition de film d'huile sur les tubes de l'évaporateur.

Les études de cas de conversions suivantes nous confirment l'amélioration du retour d'huile et de la performance des échangeurs :

- Etude de cas *Auchan Bordeaux* : la centrale R404A convertie au RS-50 (alimentant 87 meubles positifs) a permis de ressortir plus de 80 litres d'huile de l'installation en 3 semaines. (*Annexe 1*).

- Etude de cas du *Huit à 8 (59)* : un gain de 30% de puissance (ajout d'un linéaire) sur la centrale positive initiale au R404A, convertie au RS-50 (*Annexe 2*)

- Etude de cas : Conserverie à Boulogne. Le groupe frigorifique d'un surgélateur de poisson initialement au R404A a été converti au R442A. Résultat : un gain de 25% de temps de process de surgélation et d'énergie (le temps de surgélation de 60 minutes au R404A à diminué à 45 minutes au R442A).

A présent, ce sont plusieurs milliers d'installations qui ont été converties au RS-50, avec la même satisfaction des clients :

- Un retour d'huile idéal,
- Un gain de consommation d'énergie de 20 à 30% généralement constaté.

Ainsi, le RS-50 est le seul réfrigérant mis au point pour le remplacement du R404A des installations existantes. Ses performances sont aussi démontrées sur les installations neuves.

### 3.1 Avantages énergétiques concrets

La conséquence de gains d'énergie et de capacité frigorifique fut une réelle surprise car l'impact de l'huile n'est pas anticipé dans les diagrammes d'Enthalpie.

Les recherches effectuées sur l'impact de l'huile dans les systèmes démontrent qu'à partir de 2% d'huile résiduelle circulant, l'enthalpie réactive du fluide est fortement dégradée.

Les installations R404A, qui ont fonctionné plusieurs années dépassent sans aucun doute cette limite.

L'impact de l'huile dans la performance des centrales frigorifiques est prépondérant. Pourtant l'incidence du coefficient d'échange des échangeurs n'est jamais simulée dans les diagrammes de Mollier. Ainsi la simulation du calcul des COP ne correspond pas à la consommation d'énergie finale. En effet, à COP égal, c'est l'installation ayant les meilleurs échanges thermiques qui aura moins de temps de fonctionnement de compresseur, donc moins de consommation d'énergie.

### 3.2 Tests comparatifs réalisés à l'aveugle par l'UPC

Des tests indépendants ont été réalisés sur le fluide frigorigène RS-50 (R442A) par le laboratoire de l'Université Polytechnique de Catalogne (UPC) à Barcelone ([lien ici](#)).

L'objectif de ces tests est la comparaison de cinq réfrigérants, prévus pour des applications similaires, dans des conditions de réfrigération classiques et dans un environnement strictement identique.

Chaque essai démontre que le R442A est plus performant que tous les autres réfrigérants testés :

- Dans des conditions dynamiques, le R442A montre un temps de descente en basse température plus rapide que n'importe quel autre réfrigérant.

- Dans des conditions de régime permanent, le COP du R442A est plus élevé de 44% par rapport à celui du R404A et 10% meilleur que celui du R407F.

- Dans des conditions de régime permanent, la capacité de refroidissement du R442A est supérieure de 52% par rapport à celle du R404A et 16% meilleure que celle du R407F.

## Résultats des tests dynamiques

Les résultats pour chaque fluide frigorigène à partir des essais dynamiques sont résumés dans les tableaux suivants.

Dans ce rapport, le terme «Capacité de refroidissement» se réfère à la vitesse à laquelle la chaleur est éliminée de la charge ; elle est donc donnée en Watts.

Le COP "Coefficient de performance" est le rapport de la "capacité de refroidissement" sur la puissance électrique d'alimentation.

La température d'évaporation a été maintenue à +35°C.

## Résultats à régime constant

Le tableau 7.1 résume les résultats obtenus dans des conditions stabilisées, avec le réfrigérant à condensation nominale à 35°C et évaporation à -35°C.

Tableau 6.1 COP

Temp °C	R407F	R407A	R442A R550	R507	R404A	R22
-30°C	1,800	1,618	1,911	1,551	1,547	1,575
-20°C	2,385	2,144	2,533	2,056	2,052	2,087
-10°C	2,879	2,588	3,057	2,481	2,477	2,519

Tableau 6.2 Capacité de refroidissement (W)

Temp °C/W	R407F	R407A	R442A R550	R507	R404A	R22
-30°C	1384	1336	1552	1323	1308	1388
-20°C	2245	2168	2517	2147	2121	2252
-10°C	3353	3238	3761	3207	3169	3364

Temps de descente en température à -20°C

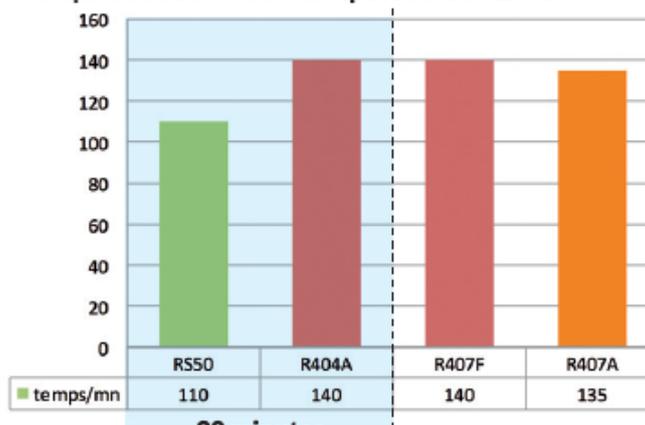


Tableau 7.1

Temp °C	R407F	R407A	R442A R550	R507	R404A	R22
Pression Evaporation (bar)	1.35	1.3	1.35	1.7	1.64	1.27
Pression Condensatio (bar)	16.1	14.8	16.2	17	16.05	12.68
HP/BP	11.93	11.33	12	10	9.78	9.98
Temp. de Refoulement (°C)	85	82	83	79	78	85
Capacité frigorifique (W)	1252	935	1477	1090	992	1263
Puissance alimentation (W)	711	583	760	717	720	669
COP	1.76	1.6	1.94	1.52	1.37	1.89

## CONCLUSION

Nous avons décidé de mettre en avant le R442A (RS-50) car c'est réellement le seul réfrigérant spécifiquement étudié pour pallier les problématiques des installations au R404A.

Ainsi le RS50 pérennisera aux mieux les installations et compresseurs grâce à un meilleur retour d'huile malgré la problématique de la vitesse fluide réduite et le composant R32.

L'autre conséquence de la parfaite miscibilité de l'huile est l'amélioration importante des échanges thermiques des échangeurs. Le principal bénéfice est la réduction de la consommation d'énergie (généralement de 20 à 30%) et le temps réduit de descente en température des cellules de refroidissement.

Les composants du RS50 étant communs, **son prix est très compétitif** et sa disponibilité est garantie pour les installations R404A.

Grâce aux économies d'énergies importantes qu'il génère, c'est la première fois que les utilisateurs réalisent des économies tout en pérennisant leurs installations. (R.O.I. < 2 ans)

Grâce au RS50, vos installations au R404A sont un formidable gisement d'économie d'énergie.

*Le RS50 : la solution de bon sens pour les utilisateurs, les frigoristes et les installations.*

FRAMACOLD défend la solution la plus écologique et la plus économique sachant que :

**En Europe, l'impact électrique émet 7 fois plus de CO<sub>2</sub> que les fuites accidentelles !**

(Installation moyenne = 3kg fluide par kW moteur ; GWP 2000 ; taux fuite 10% ; 450g de CO<sub>2</sub> par kW/h)

## TEMOIGNAGES :

Depuis 2012 ce sont plusieurs milliers d'installations en service en Europe, Amérique et dans le monde. Voici quelques-uns des témoignages :

**Lionel Michot**, frigoriste, responsable de la conversion du [Auchan Bordeaux](#) :

« C'est une conversion par drop-in, sans changement du type d'huile, ni des équipements principaux. Par contre, comme le débit massique que du RS50 est inférieur de 40% à celui de R404A, les détendeurs ont dû être refermés, leur buse changée. Nous avons mis en fonctionnement les variateurs et la BP flottante, régler la consigne de -15 à -10°C. Aucun changement de type de lubrifiant ne fut nécessaire.

Au bout d'un mois de fonctionnement nous avons récupéré 80 litres d'huile dans le réservoir de l'installation, ceci malgré une vitesse de fluide plus basse ! Le RS50 améliore encore le retour d'huile par rapport au R404A. Les échangeurs ont donc une bien meilleure conduction thermique, ce qui réduit le temps de fonctionnement des compresseurs. La température de refoulement mesurée sur la centrale 1 encore au R404A est très proche de celle au RS50.

**Mais le bénéfice le plus important pour le client est l'économie d'énergie au quotidien. Nous estimons que le passage au RS50 améliore le rendement de 30% par rapport au R404A ».**

**E. Baldo :**

Mr Eric Baldo, gérant de l'entreprise Baldo Froid entretient les installations le [MARQUISAT](#) depuis son début.

« Devant descendre la température des salles de conditionnement de son site, et après des essais de baisse des points de consigne, les locaux ne descendaient au maximum qu'à 8°C. Pour atteindre les 4°C souhaité, la décision fut prise de changer le R404A par le RS50 (R442A) afin de gagner les 30% de la puissance frigorifique nécessaire. La conversion au RS-50 a été effectuée en Septembre 2014 :

-récupération de la charge de R404A  
-vidange de l'huile POE pour la même.

-remplacement des cartouches déshy et filtres à huile.

-Charge en RS50 équivalente au R404A

-Fermeture de 40% des détendeurs sur les postes.

-Changement des buses si nécessaire.

-Réglage des surchauffes des évaporateurs

-Aucun changement sur les condenseurs.

La centrale fonctionne de manière satisfaisante, sans aucun problème en utilisant le RS-50.

Le gros avantage pour le client est le gain de puissance frigorifique énergétique énorme que génère ce fluide : nous l'estimons à 30%. »

**Christophe Desprière**, le co-gérant la société DT FROID de LOMME, gère la maintenance du [8 à Huit](#) (Lambre les Douai) : « c'est une conversion par drop-in, sans changement du type d'huile, ni des équipements principaux.

Par contre, comme le débit massique du RS50 est inférieur de 40% à celui de R404A, les détendeurs ont dû être refermés, leur buse changée.

Nous avons mis en fonctionnement les variateurs et la BP flottante, régler la consigne de -15 à -10°C.

Aucun changement de type de lubrifiant ne fut nécessaire. Aucune fuite n'a été créée par le changement de fluide. Notre client est extrêmement satisfait :

- Il a son linéaire supplémentaire. (5000W)  
- Le temps d'intervention est minime.  
- Il conserve sa centrale actuelle pourtant déjà à 100% de sa capacité au R404A).

- Il anticipe la fin du R404A.

- Il fait des économies d'énergie importantes chaque jour car l'installation génère plus de froid sans kW supplémentaire au compteur.

Et moi j'ai un client content et fidèle, et une solution de bon sens en ces temps difficiles.

Je tiens à ajouter qu'aucun problème de fuite ne peut être engendré par des incompatibilités de joint car les composants du RS50 sont des HFC comme dans le R404A »

**Oriol Martínez**, le directeur général du bureau d'étude GAS N2ITROGEN S.L.U., a conçu le nouveau projet de réfrigérant de surgélateur de poisson **FRIGORIFICS FERRER (Barcelone)**:

«Nous avons installé notre premier tunnel pour la congélation du poisson frais. Nous sommes heureux et fiers de constater que ce tunnel est devenu un

succès pour notre équipe d'ingénieurs et celle de production : l'installation réduit la durée du cycle, diminue les coûts et évite la formation de glace dans les évaporateurs.

Le choix du gaz réfrigérant RS-50 (R442A) a permis d'atteindre les objectifs suivants :

- GWP inférieur à 2500 afin d'assurer la pérennité du fluide après 2020.

- Grande capacité de refroidissement qui fonctionne à très basses températures.

- Haute efficacité énergétique.

## BIBLIOGRAPHIE

**Décret n°2015-1790** du 28 décembre 2015 *relatif à certains fluides frigorigènes et aux gaz à effet de serre fluorés*  
<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/12/28/2015-1790/jo>

**Le règlement (UE) no 517/2014** appelé F-Gas paru au Journal officiel  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517>

**Quotas Allocation**, décembre 2016, *the HFC Registry and data reporting*  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/reporting\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/reporting_en)

**US Department of Energy**, June 2003. *Material compatibility and lubricants research on CFC-refrigerant substitutes*. Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Inc. [DOE/CE/23810-20](http://www.doe.gov/CE/23810-20)

**Mohammed YOUBI-IDRISSI**, Décembre 2003. Thèse de Doctorat, *Impact de l'huile de lubrification sur les performances thermodynamiques des pompes à chaleur réversibles*. Energie électrique. Conservatoire national des arts et métiers – CNAM.  
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011290>

**UPC**, 2012, *Test comparatif réalisé à l'aveugle par les étudiants du Laboratoire de Thermodynamique de l'Université Polytechnique de Catalogne à Barcelone* <http://www.framacold.com/upload/gaz/file/RS-50TestComparatifUPC.pdf>

**SORLY**, 2013, *Etude de cas supermarché : conversion centrale Bitzer négative R404A par le R442A, gain 25% d'énergie*.  
[http://www.gas-servei.com/images/RS50\\_Nouveau\\_supermarch\\_avec\\_RS50.pdf](http://www.gas-servei.com/images/RS50_Nouveau_supermarch_avec_RS50.pdf)

**Auchan Meriadec**, Nov 2013. *Conversion centrale positive 85 vitrines : 30% d'économie d'énergie*.  
<http://www.framacold.com/upload/gaz/file/RS50ConversionAuchanBordeaux.pdf>

**E.Baldo, Marquisat**, 2014, *conversion R404A -> R442A : 30% de capacité frigorifique gagnée*.  
<http://www.framacold.com/upload/gaz/file/RS50ConversionMarquisatFoieGras.pdf>

**C. Despierre, 8 à Huit**, 2015, *conversion R404A -> R442A : augmentation de la puissance frigorifique de 30%*.  
<http://www.framacold.com/upload/gaz/file/RS50Conversion8yyhuitNord.pdf>

**O.Martines, Ferrer**, 2016, *surgélateur à poissons rétrofité avec R442A/vis Bitzer : gain de 20% de temps de surgélation*  
[http://www.gas-servei.com/images/RS50\\_Frigorifics\\_Ferrer\\_FR.pdf](http://www.gas-servei.com/images/RS50_Frigorifics_Ferrer_FR.pdf)

**Franck Krier**, Président, [www.FRAMACOLD.com](http://www.FRAMACOLD.com)

