

**Promouvoir
une attitude
responsable**



ETAT DES LIEUX SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES FLUIDES ET SYSTEMES A FAIBLE PRP DISPONIBLES

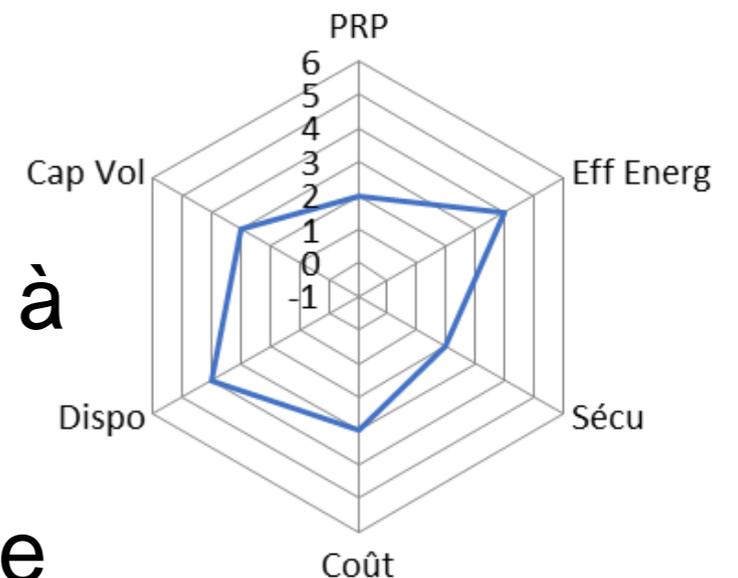
MICHINEAU Thomas, CALMELS Olivier – Cemafrroid
BARRAULT Stéphanie – CITEPA
CLODIC Denis – EReiE

COLLOQUE AFCE - 25 SEPTEMBRE 2018

afce.asso.fr

OBJECTIF DE L'ETUDE

- Décrire le corpus **réglementaire** et ses évolutions récentes
- **Répertorier**, décrire les alternatives par application
- **Identifier** les évolutions techniques liées à l'usage de fluides alternatifs
- Identifier par une approche **multicritère** les avantages et inconvénients de chaque solution, notamment en termes d'efficacité énergétique
- Etablir un état des lieux des **formations** nécessaires à la mise en œuvre de la F-Gaz et à l'utilisation des alternatives

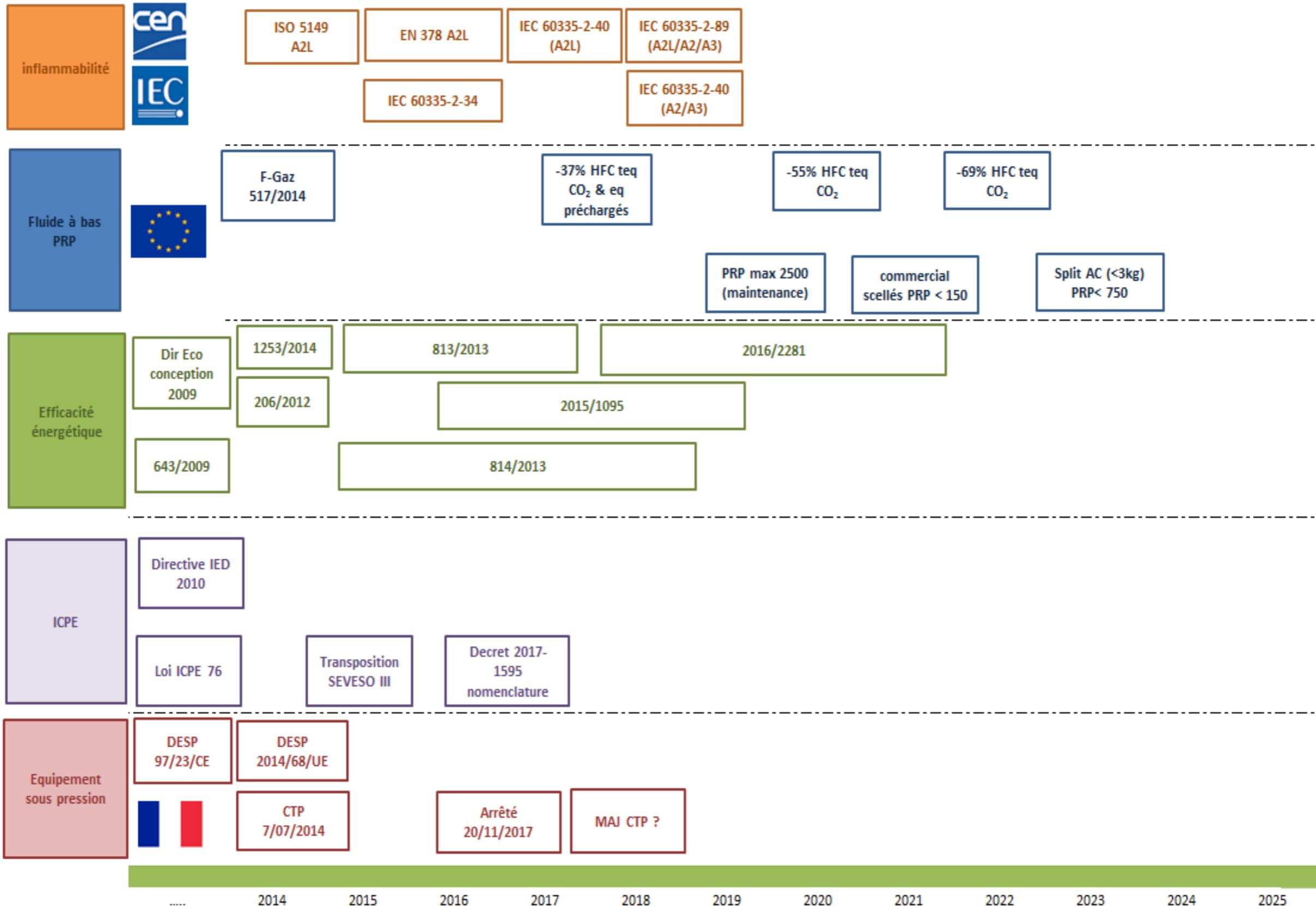


APPROCHE METHODOLOGIQUE

- Prise en compte des fluides ayant une dénomination **ASHRAE 34**
- Comparaison des solutions sur REX exploitants, garantie fabricant et articles soumis à revue par un comité de lecture
- Comparaison des efficacités uniquement sur équipement neuf
- Analyse des solutions de retrofit
- Réalisation d'études de cas
- Synthèse sous forme de fiche par segment



ETAT DES LIEUX REGLEMENTAIRE

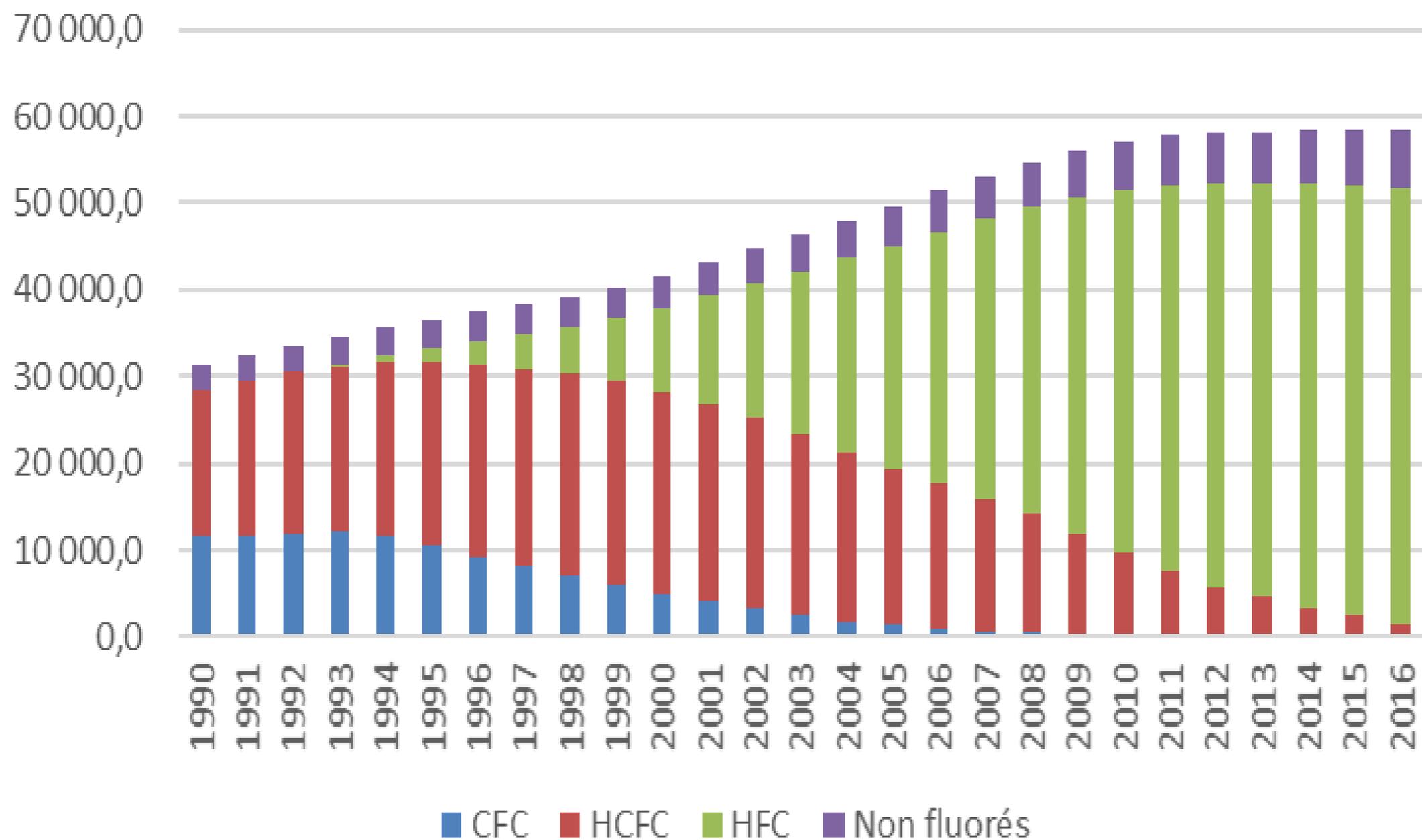


ET LES CONSEQUENCES

- Abandon rapide des fluides frigorigènes à fort PRP dans certains secteurs.
- Augmentation des stocks de fluides recyclés ou régénérés à fort PRP
- Limite de charge importante sur les fluides frigorigènes toxiques et ou (légèrement) inflammables
- Certains substituts entraînent un changement notable en regard du CTP (suivi en service des EfSP)
- Nouvelles exigences des règlements d'écoconception à partir de 2018 sur les armoires frigorifiques et refroidisseurs de liquides (aménagement possible si utilisation d'un fluide à PRP inférieur à 150)
- Cas spécifique des ERP...

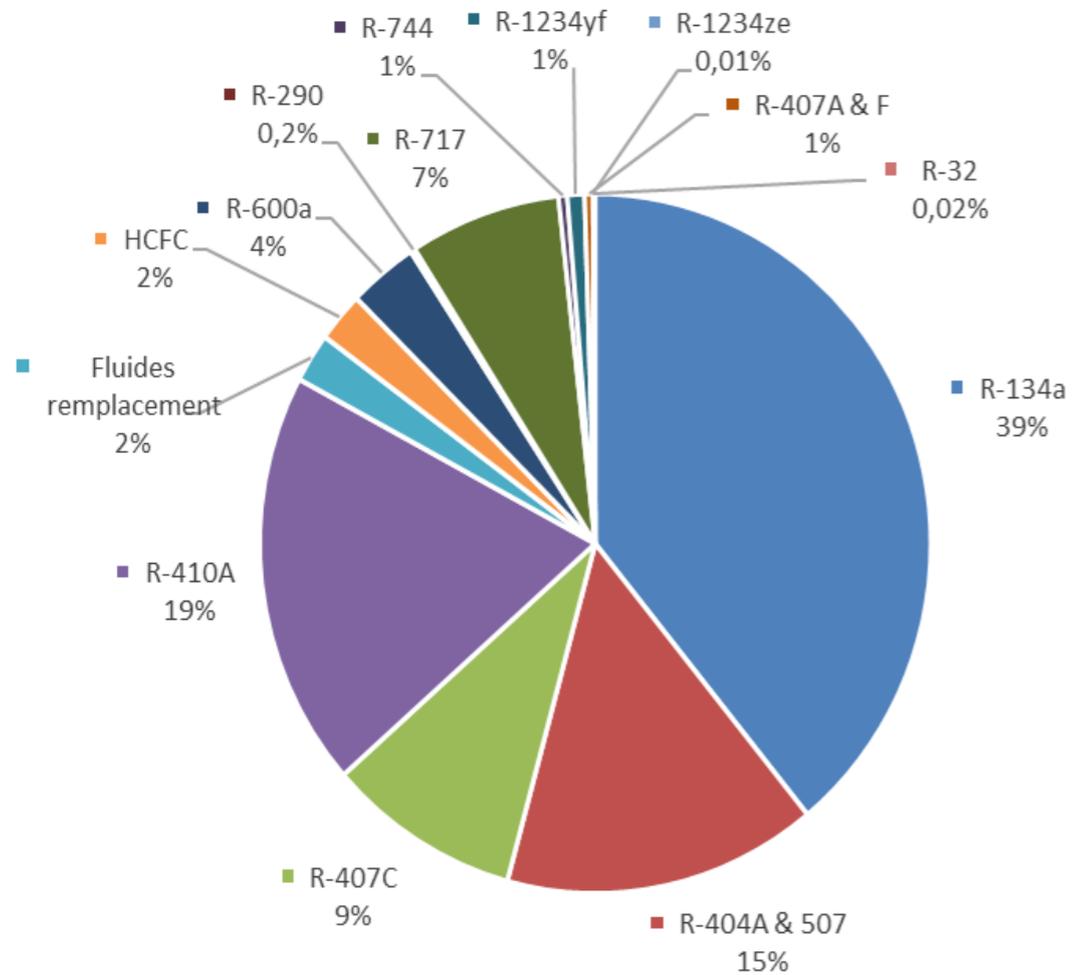
BANQUE DE FLUIDE

Banque de fluides frigorigènes -

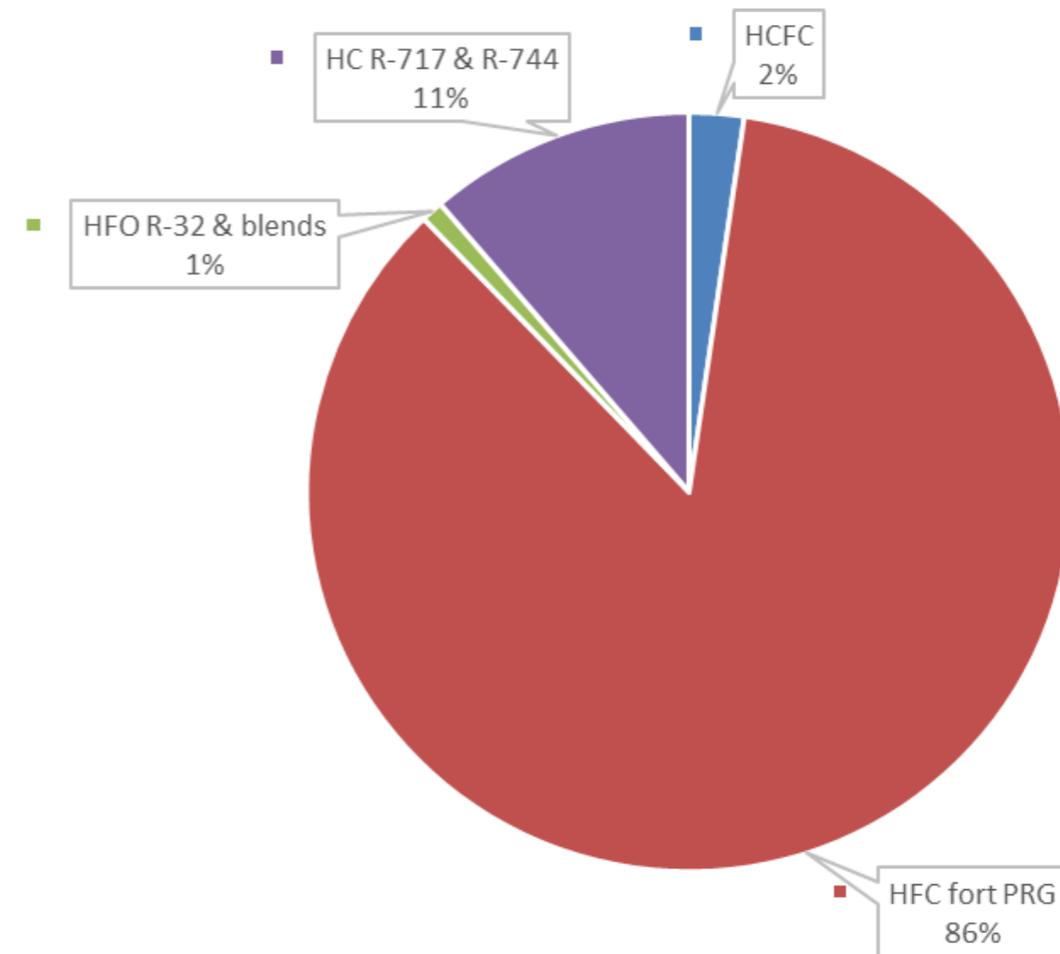


BANQUE DE FLUIDE

Banque fluides frigorigènes 2016



Banque 2016 par catégorie



SUBSTITUTS DU R-134a (neuf)

Dénomination normalisée	Compositions	PRP	Classe Sécurité	T critique et T normale d'ébullition (<i>glissement</i>)	Puiss. vol. relative au R-134a	COP relatif au COP R-134a
R-134a	-	1 430	A1	TC = 101°C TNe = -26 °C	1	1
R-600a	-	3	A3	TC= 134,6°C TNe =-11°C	1	1,1
R-1234yf	-	4	A2L	Tc = 94,7°C TNe= -29,5°C	0,98	1
R-1234ze(E)	-	7	A2L	TC = 109,6 °C TNe= -19°C	0,89	1
R-451A et B	R-1234yf / R-134a 89,8 /10,2 et 88,8/11,2	149 164	A2L	TC = 95,3 °C TNe=-30,8/-30,5°C TNe= -31/-30,6°C	-	-

- Applications : Froid domestique, Climatisation automobile, GRE centrifuge.

SUBSTITUTS DU R-134a (conversion)

Dénomination normalisée	Compositions	PRP	Classe Sécurité	T critique et T normale d'ébullition (<i>glissement</i>)	Puissance vol. relative au R-134a	COP relatif au COP R-134a
R-134a	-	1430	A1	TC = 101°C TNe = -26 °C	1	1
R-450A	R-134a/1234ze(E) 42/58	603	A1	TC = 102 °C TNe= -23,4/-22,6°C	0,91	1,05
R-513A	R--134a /R-1234yf 44/56	631	A1	TC = 97,35°C TNe= -29°C	1,05	1,05

- Applications : GRE volumétrique

SUBSTITUTS DU R-404A (neuf)

Dénomination normalisée	Compositions	PRP	Classe Sécurité	T critique et T normale d'ébullition (glissement)	Puiss. vol. relative au R-404A	COP relatif au COP R-404A
R-404A	R-125/R-143a/R-134a 44 /52/4	3 922	A1	TC = 72 CTNe = -46,2 °C	1	1
R-290	-	3	A3	TC = 96,7 °C TNe = -42,4°C	0,98	1,05
R-1270	-	2	A3	TC = 91 °C TNe = -47,9°C	1,03	1,07
R-744	-	1	A1	TC = 31°C	-	-
R-454C	R-32/R-1234yf 21,5/78,5	148	A2L	Tc = 90,2 °C TNe = -39 °C (-50,8/-36 °C)	0,9	1.08
R-455A	R-744/ R-32/R-1234yf 3/21,5/75,5	148	A2L	TC = 89,2 °C TNe = -40,7 °C (-60,9/-38,4 °C)	1	1,1

- Applications : Froid commercial, entreposage, transport, industrie

SUBSTITUTS DU R-404A (transition)

Dénomination normalisée	Compositions	PRP	Classe Sécurité	T critique et T normale d'ébullition (glissement)	Puiss. vol. relative au R-404A	COP relatif au COP R-404A
R-404A	R-125/143a/134a (44 /52/4)	3 922	A1	Tc = 72 °C TNe = -46,6/-45,8 °C	1	1
R-407A	R-32/125/134a (20/40/40)	2 107	A1	Tc = 90,1°C TNe = -45,2/-38,7°C	0,81	0,89
R-407F	R-32/125/134a (30/30/40)	1825	A1	Tc = 89,2 °C TNe = -46,1/-39,7°C	1,02	1,07
R-407H	R-32/125/134a (32,5/15/52,5)	1495	A1	TC=86,5°C TNe= -44,6 /-37,6°C	1,01	1,06
R-442A	R-32/ R-125/ R-134a/ R-152a/ R-227ca 31/31/30/3/5	1 888	A1	TC=82°C TNe= -46,5/-39,9°C	1,1	1,1
R-448A	R-32/ R-125/ R-1234yf/ R-134a/ R- 1234ze(E) 26/26/20/21/7	1 387	A1	TC = 86,4 °C TNe = -45,9/-39,8 °C	1	1,08
R-449A	R-32/ R-125/ R-1234yf/ R-134a (24/25/25/26)	1397	A1	TC = 87,4 °C TNe = -46/-39,9 °C	0,88	1,05
R-452A	R-32/ R-125/ R-1234yf 11/59/30	2140	A1	TC=76,5°C TNe=-47/-43,2°C	1.02	-
R-452C	R-32/ R-125/ R-1234yf 12,5/61/26,5	2220	A1	TC=75°C TNe=-47,5/-44,2°C	1,02	-

SUBSTITUTS DU R-410A (neuf)

Dénomination normalisée	Compositions	PRP	Classe Sécurité	T critique et T normale d'ébullition (glissement)	Puiss. vol. relative au R-410A	COP relatif au COP R-410A
R-410A	R-32/ R-125 50 /50	2 088	A1	TC = 71,4 °C, TNe = -51,4 °C	1	1
R-290	-	3	A3	TC = 96,7 °C, TNe = -42,4°C	0,9	-
R-452B	R-32/ R-125/ R-1234yf 67/7/26	698	A2L	TC = 86,9 °C TNe= -59,8/-58,5 °C	0,95	1
R-454B	R-32/ R-1234yf 68,9/31,1	466	A2L	TC = 83,2 °C TNe = -59,6,6/-58,5 °C	1	1
R-32	-	675	A2L	TC = 86,9 °C TNe = -51,7 °C	1,12	1,05

- Applications : conditionnement d'air & PAC
- A noter : Absence dans le tableau du CO₂ et HFO à faible PRP

ALTERNATIVES PAR SEGMENT

- le froid domestique,
- le froid commercial,
- la climatisation à air,
- les pompes à chaleur,
- la climatisation mobile,
- les groupes refroidisseurs d'eau,
- le froid dans les industries agroalimentaires,
- le transport frigorifique.

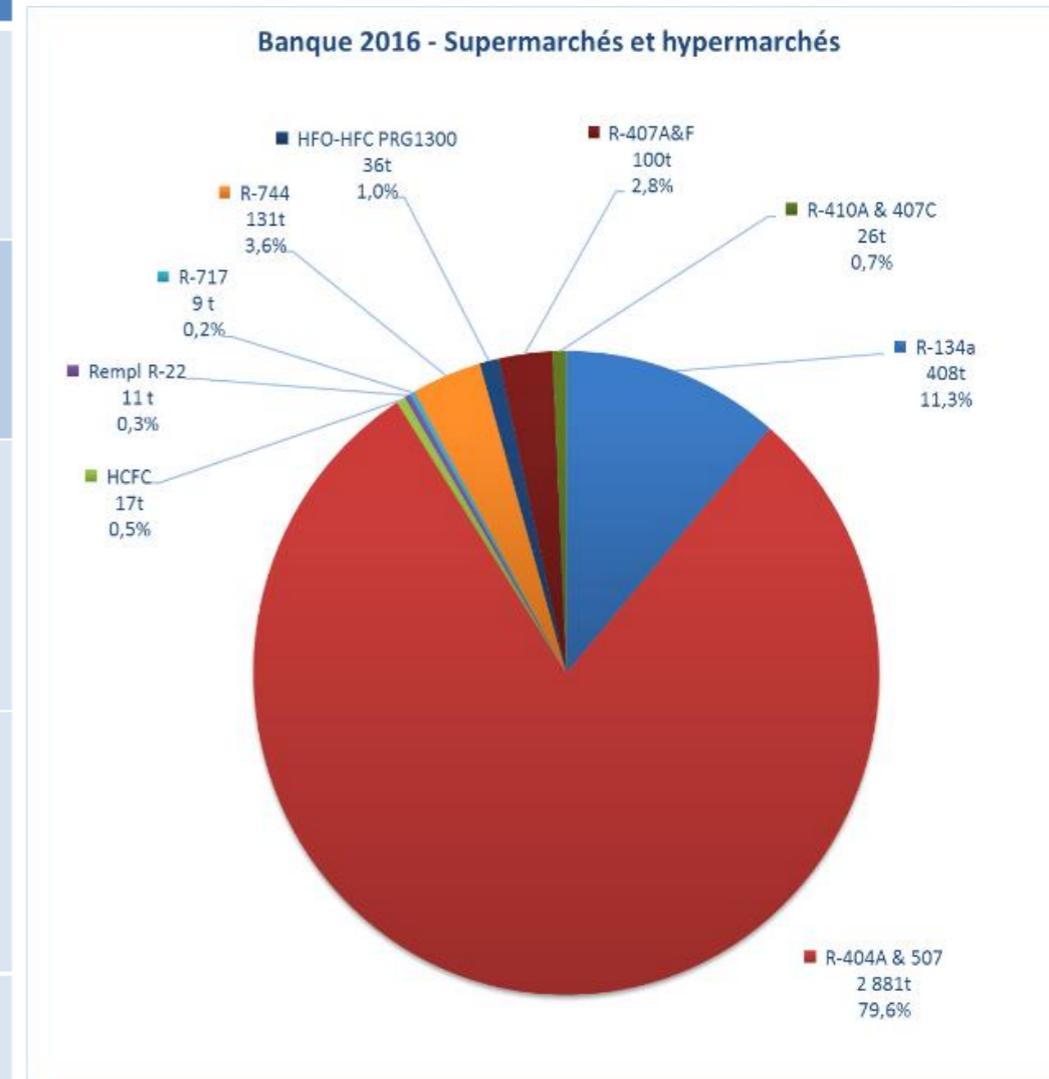
Chaque segment fait l'objet d'un chapitre du rapport précisant : le fluide de référence, les alternatives et la banque de fluide.

ALTERNATIVES PAR SEGMENT :

Exemple : Froid commercial (centralisé)

Fluides de référence	Solutions alternatives	+	-
R-404A	Cascade R-134a/CO ₂	Coût compétitif Efficace ++ Long terme (EU517/2014 & conversion HFO)	Disponibilité R-134a
	Cascade HFC/CO ₂ avec HFC de PRP autour 600	Efficacité équivalente cascade R-134a/CO ₂ , A1 Adapté post 2022 et phasedown	
	Cascade NH ₃ / CO ₂ Ou indirect NH ₃	Efficacité +++ Long terme Efficacité ++ Long terme	B2L - sécurité Maintenance & installation Coût Peu de REX en froid com
	Systèmes indirects ou cascade HFC de PRP < 150	Long terme post 2022 Efficace +	A2L Maturité technique Glissement T°
	Système CO ₂ transcritique booster amélioré	Développements techniques récents pour adaptation climat chaud Amélioration efficacité énergétique et coût	Reste couteux Techno froid + à éprouver

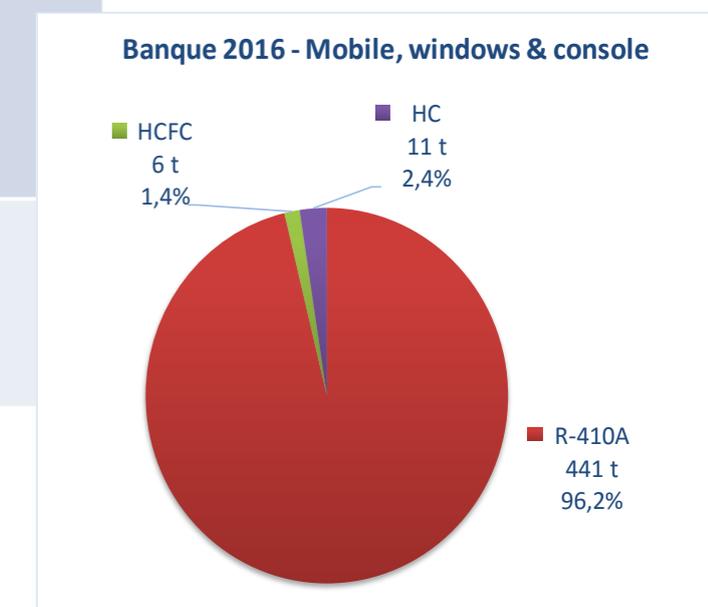
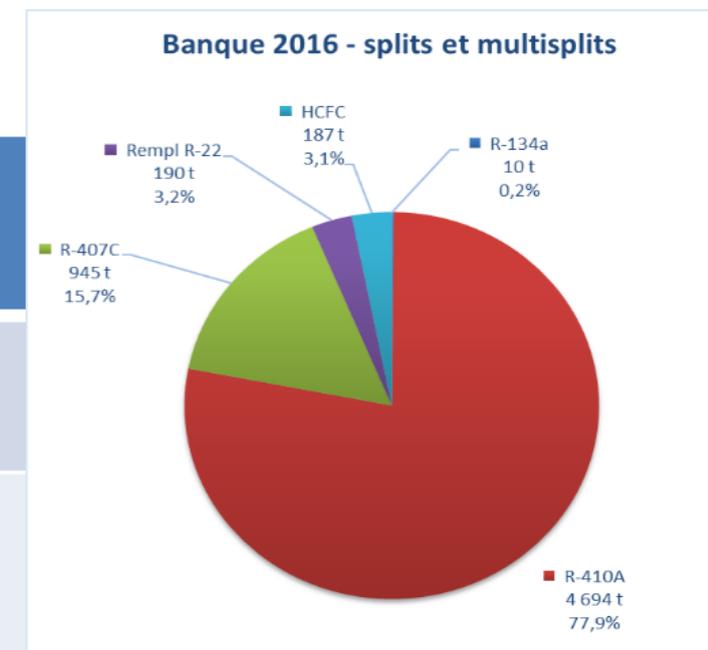
Retrofits:
R-448A & R-449A alternatives efficaces au R-404A (4 à 20% gain conso)



ALTERNATIVES PAR SEGMENT :

Exemple : climatisation à air

Fluides de référence	Solutions alternatives	+	-
R-410A (hermétique)	HC	Meilleure efficacité	A3
R-410A (split ou multi split de P<17.5 KW)	R-32	Meilleure efficacité	A2L
R-407C (split ou multi split de (P<17.5 KW)	R-454C ou le R-455A	Équivalent en termes d'efficacité	A2L
R-410A (multi split de P>17.5 KW, VRV et Rooftop)	R-32	Équivalent en termes d'efficacité	A2L



FICHES DE SYNTHÈSE

Exemple du froid commercial

Fiche Application: Système centralisé à détente directe ou indirecte en froid positif ou négatif					FC3
Domaine	Froid Commercial	Sous-domaine	Supermarchés & hypermarchés	Utilisation / Application standard	Supermarchés / hypermarchés
				Domaine de température	0 à +6°C / -°C à +6°C
DESCRIPTION DU SYSTÈME DE REFERENCE					
Type de fluide couramment utilisé	R-404A R-507A	Composition	R-125/ R-143a 44/52 R-125/ R-143a 50/50	PRG	3922 3985
Charge moyenne par équipement (kg)	300 en supermarchés 1000 en hypermarchés	Durée de vie moyenne de l'équipement (années)	15	CLASSE	A1
Justification technique du type de HFC utilisé	Non toxique, non inflammable ODP = 0 Adapté aux équipements de moyenne et basse température Bonne efficacité énergétique	Banque de fluides en France (t):	2800 t		
Règlementations et normes spécifiques applicables					
Sécurité	NF EN 378-2 relative aux exigences de sécurité et d'environnement des systèmes de réfrigération et pompes à chaleur NF EN 60335-2-89 relative aux règles de sécurité particulières pour les appareils de réfrigération à usage commercial avec une unité de condensation ou un compresseur incorporé ou à distance NF EN 14276-1 et 14276-2 relative aux récipients et tuyauteries des équipements sous pression pour systèmes de réfrigération et pompe à chaleur EN 378-2 EN 60335-2-89 EN 14276-1 et 14276-2			Environnement	F-Gas (UE n° 517/2014) EN 23953 pour vitrines réfrigérées

ALTERNATIVES TECHNIQUES EXISTANTES pour les INSTALLATIONS NEUVES					
	Cas 1: Cascade R-134a / CO2	Cas 2: Cascade HFC/CO2 HFC de PRP proche de 600	Cas 3 : Cascade Ammoniac (R-717)/ CO2 ou système indirect ammoniac	Cas 4: système indirect ou cascade HFC/CO2 avec HFC de PRP < 150	Cas 5 : système CO2 transcritique
Fluide frigorigène alternatif	R-134a circuit primaire CO2 (R-744) circuit secondaire	R-450A ou R-513A circuit primaire CO2 (R-744) circuit secondaire	R-717 circuit primaire R-744 circuit secondaire	R-454C ou R-455A	R-744
Réglementations applicables	F-Gas. Attention il semble que le circuit primaire doive être indirect pour être autorisé après 2022.*	F-Gas. Attention il semble que le circuit primaire doive être indirect pour être autorisé après 2022.*	Réglementation ammoniac	EN378 relative à la sécurité des appareils electroménagers F-Gas	Directive appareil à Pression
Analyse comparative par critère					
PRP	1430 (circuit primaire) 1 (circuit secondaire)	603 ou 633 (circuit primaire) 1 (circuit secondaire)	0 circuit primaire 1 circuit secondaire	148	1
Efficacité énergétique	Systèmes plus efficaces que les systèmes à détente directe +5 à 10 % vs. R-404A	Equivalente au R-134a	Excellente, notamment pour les circuits cascade	Système cascade plus efficace Système indirect équivalent à la détente directe Fluides aussi efficaces que le R-134a	Meilleure que le R-404A en froid négatif En froid positif, efficacité en progrès à la suite des évolutions techniques
Capacité volumétrique	-20 à -30 % R-134a vs. R-404A	Equivalente au R-134a (drop-in)			
Sécurité	A1	A1	B2L	A2L	A1
Coût	Compétitif - système présent sur le marché depuis près de 10 ans	A priori du même ordre que les autres systèmes cascade.	Elevé	A priori du même ordre que les autres systèmes cascade.	Plus élevé, même si le prix a tendance à diminuer
Disponibilité	Disponible - parc significatif	Disponible - magasins pilotes	Disponible - peu d'expérience en France mais plusieurs magasins en Europe	Premiers tests	Disponible, de plus en plus utilisé sur les 2 dernières années
Bilan					
FREINS	Pas de frein si dimensionnement pour conversion R-1234yf/R-1234ze	Premiers retours d'expérience (magasins pilotes)	Liés à l'ammoniac: difficultés à l'installation et à la maintenance liées à la sécurité (toxicité), coût élevé du fait des matériaux nécessaires et de la technicité de l'installation	Faiblement inflammable A2L maturité technique	Coût, pression de fonctionnement élevée, efficacité énergétique en froid positif à consolider, difficulté technique à l'installation, formation nécessaire pour la maintenance
AVANTAGES	Adapté aux exigences F-Gas de 2022 HP plus faible Possibilité de retrofit R-134a/R-1234yf ou R-1234ze à moyen terme pour adaptation au phasedown, selon évolution réglementation inflammables.	Adaptée aux exigences F-Gas de 2022 avec PRP de moitié par rapport au R134a. Drop-in R-134a / R-450A ou R-513A possible sur installations cascade R- 134a/CO2 existantes	Forte réduction des consommations d'énergie, PRP nul ou =1	Faible PRP Adapté aux exigences F-Gas de 2022 sur le long terme, même en système indirect simple, qui serait moins couteux qu'une cascade	PRP = 1, compact, long terme, quelque soit l'évolution réglementaire, nombreux travaux pour l'amélioration de l'efficacité du système et son adaptation aux climats chauds

Indicateurs multicritères

PRP : Emissions directes
 1 = Très faible : PRP < 10
 2 = Faible : 10 < PRP < 150
 3 = Moyen : 150 < PRP < 300
 4 = Assez Fort : 300 < PRP < 750
 5 = Fort : 750 < PRP < 1500
 6 = Très fort : PRP > 1500

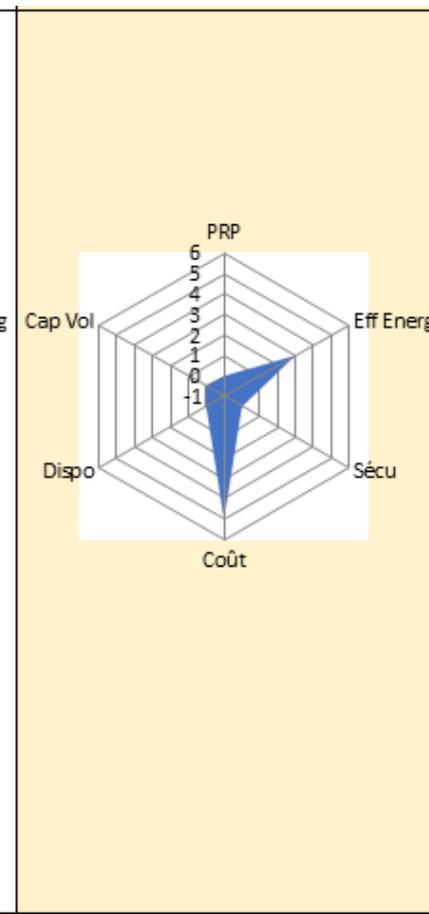
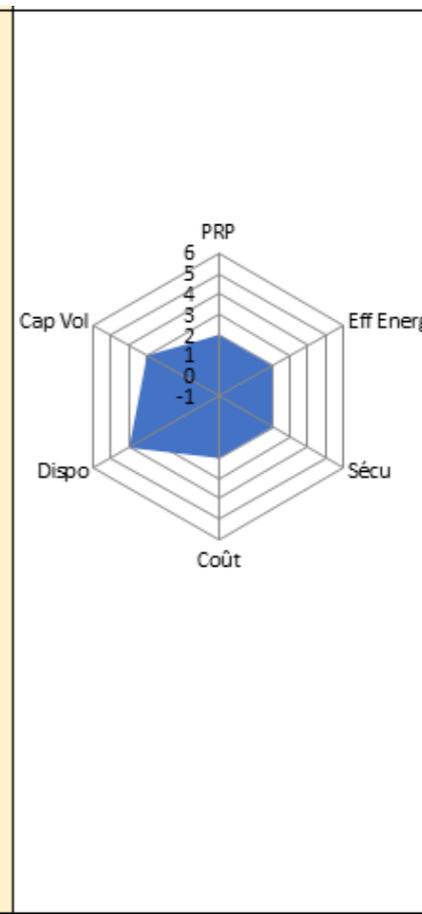
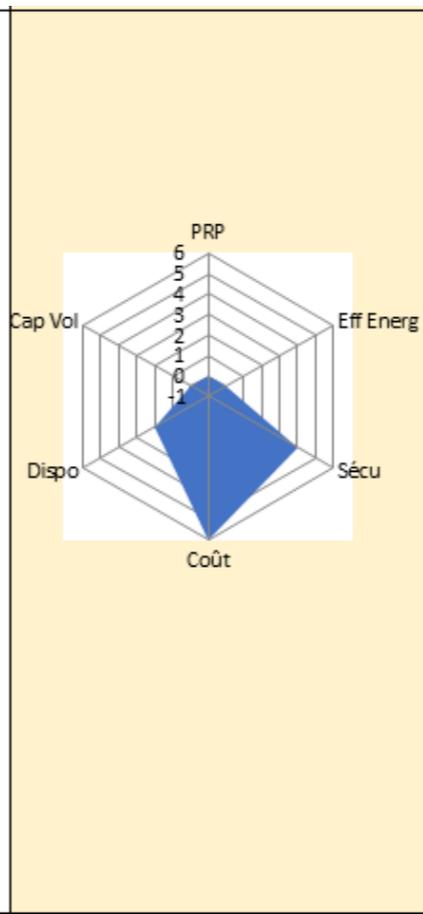
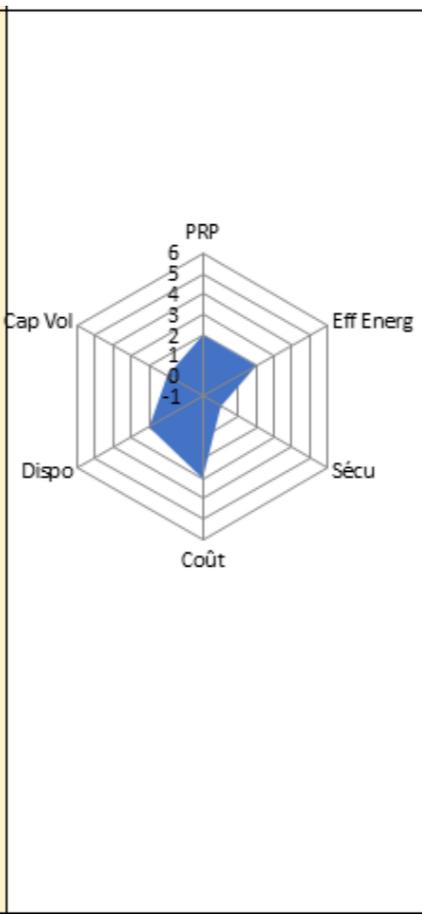
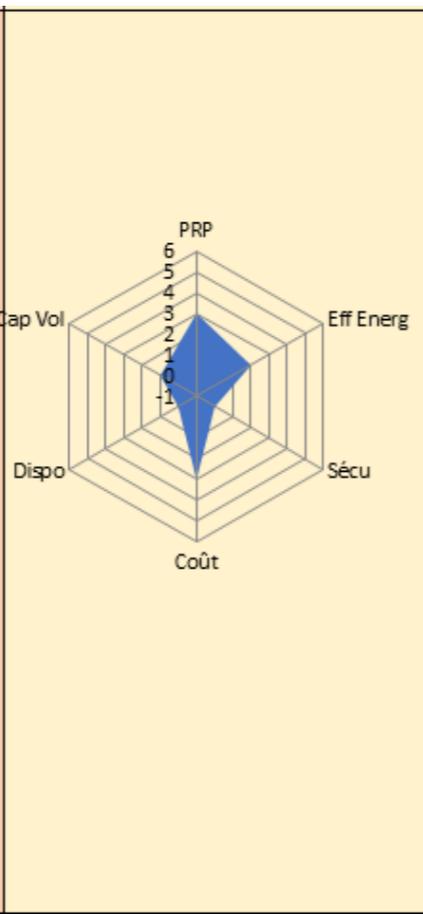
Eff energ : Efficacité énergétique
 0 = Excellente 3 = Moyenne 6 = Mauvaise

Sécu : Risque sur la sécurité
 0 = Classe A1 2 = A2L 4 = A2 et B2 6 = A3 et B3

Coût : Cout de la solution (hors maintenance)
 0 = Faible 3 = Moyen 6 = Fort

Dispo : Disponibilité
 0 = solution éprouvée, fluide disponible largement
 3 = Plusieurs pilotes en France ou à l'étranger
 6 = Tests laboratoires et/ou pénurie de fluide frigorigène prévisible

Cap Vol : Capacité volumétrique
 0 = Suffisante 3 = Moyenne 6 = Insuffisante



ALTERNATIVES TECHNIQUES EXISTANTES pour le RETROFIT		
Fluides frigorigènes	R-407A/ R-407F	PRP < 1500 : 'R-448A/R-449A/R-407H
PRP	2107/1825	1387/1397/1495
Efficacité énergétique	similaire R-404A à moyenne température	meilleure que le R-404A
Capacité volumétrique	équivalente	équivalente
Sécurité	A1	A1
Coût	selon prix fluide	selon prix fluide
Disponibilité	faible	moyenne
Freins	important: 'le phasedown risque de limiter la disponibilité des HFC à PRP > 1500 très rapidement et de ce fait poser problème pour la maintenance des installations converties	du fait du phasedown, à moyen terme, quelle sera la disponibilité & le prix des fluides à PRP proche de 1500?
Avantages	drop in	encombrement moindre (R-448A par rapport R-134a si utilisé en système cascade), bonne efficacité énergétique, intéressant pour les installations récentes au R-404A

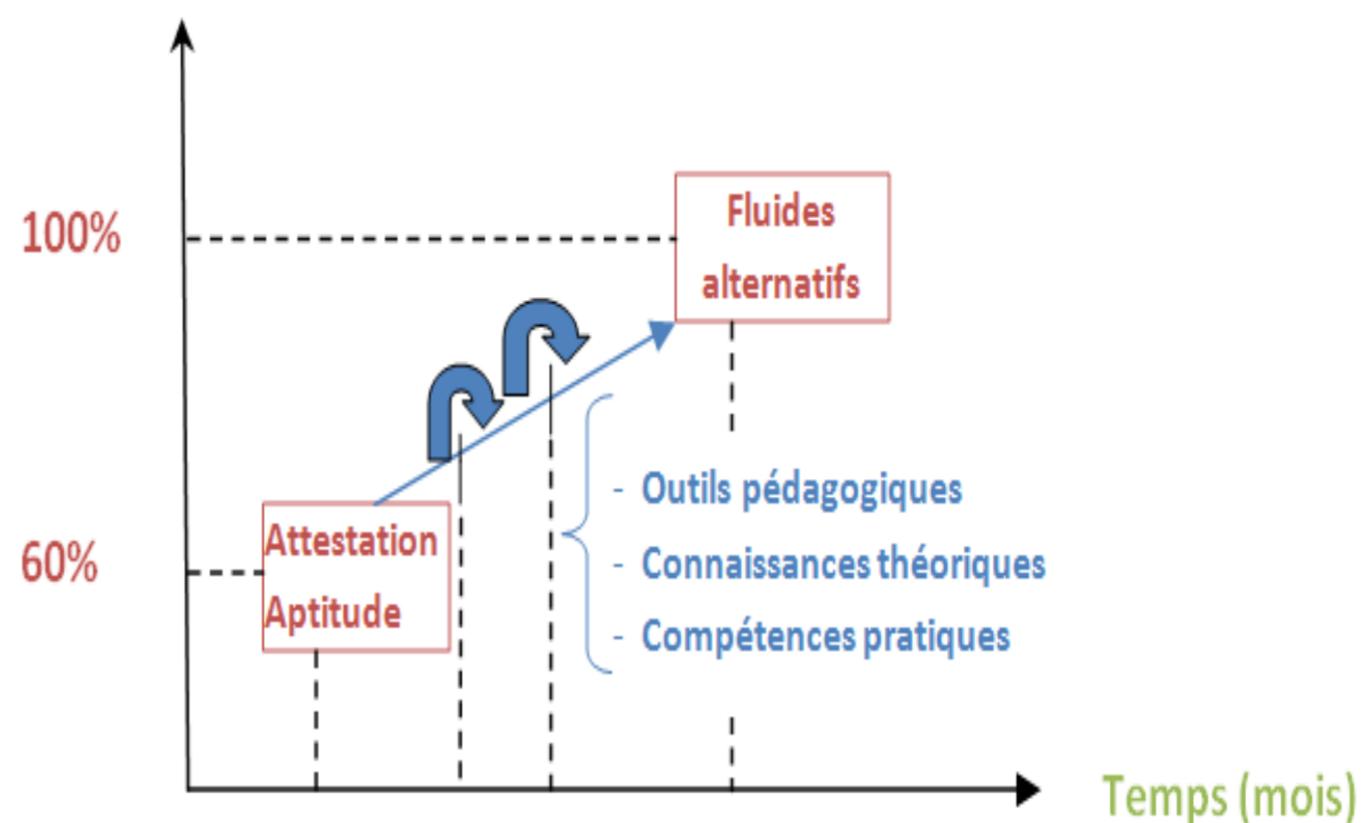


FORMATION DES PROFESSIONNELS

- Halogénés
- Inflammables
- Fluides Haute pression
- Toxiques
- Mélanges à fort glissement

- En s'appuyant sur :
 - EN 13313
 - EN 378-4

Compétences Maîtrisées (%)



ELEMENTS DE SORTIE

- Diffusion du rapport dans les prochains jours
- Diffusion du rapport en anglais courant octobre
- Soumission d'un résumé pour la participation au prochain Congrès International du Froid (Montreal/IIR Aout 2019)



ETAT DES LIEUX SUR L'EFFICACITE
ENERGETIQUE DES FLUIDES ET SYSTEMES A
FAIBLE PRP DISPONIBLES

Rapport Final

Septembre 2018

Etude commanditée par l'AFCE et réalisée par le Cemafrroid, le CITEPA et EReIE.

Rédacteurs : Stéphanie Barrault (CITEPA)

Olivier Calmels (Cemafrroid)

Denis Clodic (EReIE)

Thomas Michineau (Cemafrroid)

