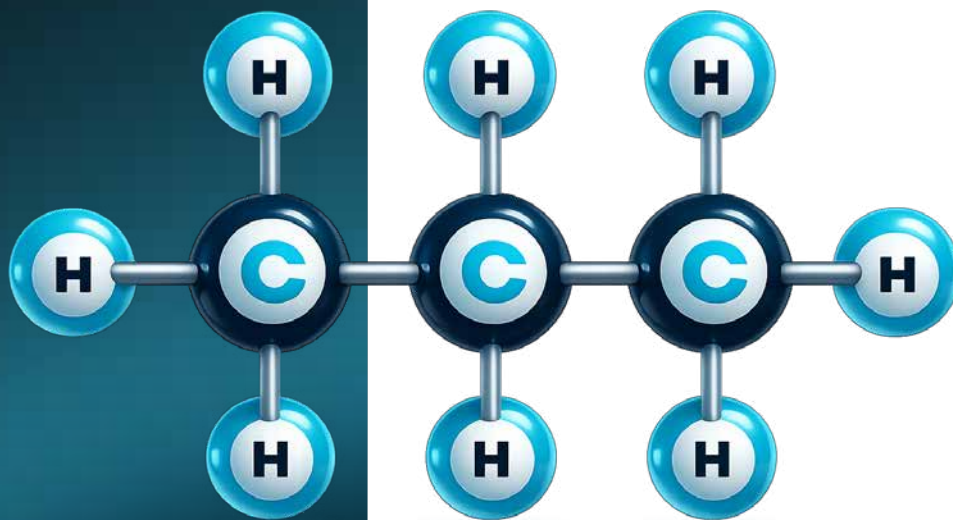


 HiRef

LIVRE BLANC

R290

LE FUTUR DES RÉFRIGÉRANTS



SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	p. 4
2	ÉVOLUTION HISTORIQUE DES RÉFRIGÉRANTS.....	p. 5
2.1	L'ÉPOQUE DES SYNTHÉTIQUES : CFC, HCFC ET HFC.....	p. 5
2.2	DE LA FIN DU 20E SIÈCLE À NOS JOURS : HFC ET HFO, ET RETOUR AUX RÉFRIGÉRANTS NATURELS.....	p. 5
2.3	CADRE RÉGLEMENTAIRE INTERNATIONAL ET RÉGIONAL.....	p. 5
2.4	PFAS ET TFA : IMPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES ET RÉGLEMENTAIRES.....	p. 8
2.5	DURABILITÉ APPLIQUÉE AUX RÉFRIGÉRANTS : LE TRIANGLE ET LE MODÈLE DES SEPT FORCES.....	p. 8
2.6	TENDANCES EN MATIÈRE DE TECHNOLOGIES ET D'APPLICATIONS.....	p. 9
2.7	PERSPECTIVES, ADOPTION RÉGIONALE ET SCÉNARIOS DE DÉVELOPPEMENT.....	p. 10
2.8	CONCLUSION.....	p. 10
3	EXIGENCES D'INSTALLATION POUR LES PRODUITS QUI UTILISENT LES NOUVEAUX RÉFRIGÉRANTS A3 : GROS PLAN SUR LE R290.....	p. 12
3.1	INTRODUCTION.....	p. 12
3.2	DIRECTIVE ATEX.....	p. 12
3.3	INSTALLATION DES UNITÉS.....	p. 13
3.4	COMPOSANTS DE SÉCURITÉ INTERNES.....	p. 14
3.5	SÉQUENCE ET GESTION DE L'ALARME.....	p. 14
3.6	EXEMPLES D'INSTALLATIONS CONFORMES.....	p. 15
3.7	EXEMPLES D'INSTALLATIONS NON CONFORMES.....	p. 16
4	LA VALEUR DISTINCTIVE D'HIREF : PERFORMANCES, DURABILITÉ ET ÉLARGISSEMENT DES MARCHÉS.....	p. 17
4.1	VISION ET POSITIONNEMENT DANS LA TRANSITION VERS LES RÉFRIGÉRANTS NATURELS.....	p. 17
4.2	PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES ET RÉDUCTION DE L'EFFET DE SERRÉ EQUIVALENT TOTAL.....	p. 17
4.3	ÉLARGISSEMENT DES SECTEURS DE MARCHÉ.....	p. 18
4.4	AVANTAGES POUR LES CONCEPTEURS, LES INSTALLATEURS ET LES UTILISATEURS FINAUX.....	p. 18
4.5	EXEMPLES D'APPLICATION ET SCÉNARIOS D'UTILISATION HIREF AVEC LE R290.....	p. 19
5	SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES.....	p. 20

1 INTRODUCTION

Le choix des réfrigérants représente aujourd'hui une question centrale, non seulement pour la transition écologique du secteur CVCR (chauffage, ventilation, climatisation et réfrigération), mais également pour la compétitivité des entreprises, la sécurité des opérateurs et la santé environnementale. Ce livre blanc décrit la transformation rapide que connaissent aujourd'hui les fluides réfrigérants utilisés dans le secteur CVC : abandon des réfrigérants à fort impact environnemental, redécouverte de réfrigérants « naturels », et réglementation stricte sur les PFAS et les risques associés aux nouveaux mélanges HFC/HFO. Ce document fournit une cartographie approfondie et critique de ces procédés, en intégrant les principales références législatives internationales et les nouvelles pratiques d'ingénierie et de gestion.

2 ÉVOLUTION HISTORIQUE DES RÉFRIGÉRANTS

2.1 L'époque des synthétiques : CFC, HCFC et HFC

Au cours des années 1930, les chlorofluorocarbones (CFC) puis les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), des composés stables, non toxiques et non inflammables, font leur apparition. Toutefois, les CFC et les HCFC, responsables, respectivement, de la destruction de l'ozone stratosphérique et de l'effet de serre, ont donné lieu à des accords internationaux en vue de leur réduction et de leur élimination.

2.2 De la fin du 20e siècle à nos jours : HFC et HFO, et retour aux réfrigérants naturels

À partir des années 1990, la pression réglementaire et scientifique conduit à l'adoption des hydrofluorocarbures (HFC), caractérisés par un potentiel d'appauvrissement de l'ozone (ODP) nul, mais par un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) souvent élevé. Plus récemment, ce sont les hydrofluoroléfines (HFO), au PRP très faible, qui se sont imposées, mais qui font l'objet de discussions en raison de la formation possible de sous-produits tels que l'acide trifluoroacétique (TFA) et de leur intégration dans la famille des PFAS. Parallèlement, les réfrigérants naturels – CO₂, ammoniac, hydrocarbures –, favorisés à la fois par l'innovation et par les réglementations internationales, font actuellement leur retour.

» Chronologie historique des réfrigérants

Période	Type prévalent	Principaux réfrigérants	Caractéristiques	Impact environnemental
1830 - 1930	Naturels	NH ₃ , CO ₂ , SO ₂ , éther	Toxiques/Inflammables	Faible PRP/Aucun
1930 - 1990	Synthétiques	CFC, HCFC	Non toxiques/Sûrs	ODP et PRP élevés
1990 - 2010	Synthétiques à faible impact	HFC	Sans nocivité pour l'ozone	PRP élevé
2010 - aujourd'hui	Nouveaux synthétiques/retour des naturels	HFO, CO ₂ , NH ₃ , R290	Faible PRP, aucun ODP	PRP très faible

La chronologie met en évidence une évolution guidée par des exigences techniques, de sécurité et surtout réglementaires, avec une redécouverte cyclique des réfrigérants naturels enrichis grâce aux innovations apportées aux installations.

- Limites strictes de PRP pour la commercialisation de nouveaux appareillages (p. ex. PRP < 150 à partir de 2027 pour les petites installations)
- Confinement obligatoire des fuites, registres électroniques, certification et formation obligatoire pour les opérateurs
- Forte incitation à adopter des réfrigérants naturels et HFO à PRG très faible

2.3 Cadre réglementaire international et régional

2.3.1 Le protocole de Montréal et l'amendement de Kigali

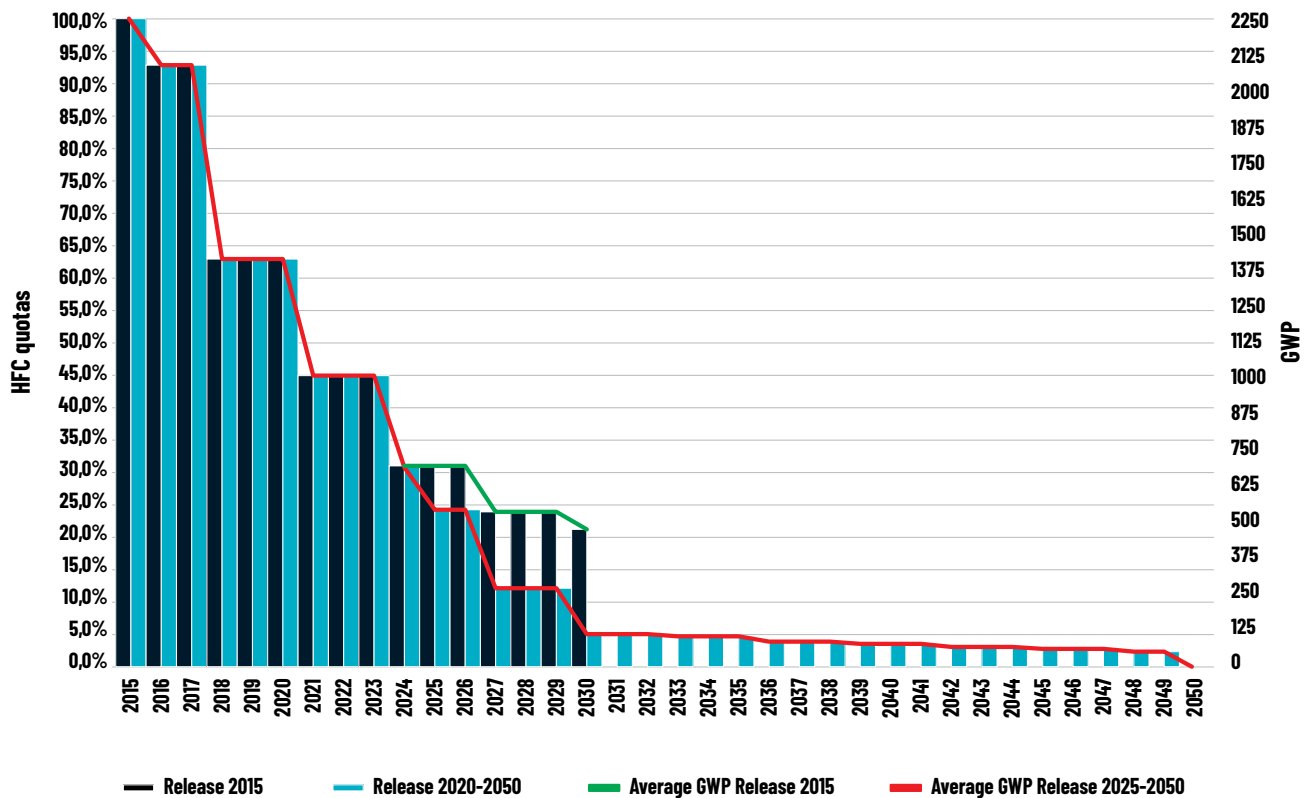
Le protocole de Montréal (1987), pierre angulaire dans la lutte contre la destruction de la couche d'ozone, prévoit l'élimination progressive des CFC et des HCFC. L'amendement de Kigali (2016) a étendu la réglementation aux HFC, en fixant des objectifs de réduction progressive de 80 à 85 % d'ici 2047 pour la plupart des économies développées et un calendrier différencié pour les pays en voie de développement.

2.3.2 Le règlement F-Gaz en Europe : Règlements UE 517/2014 et 573/2024

C'est l'UE qui a introduit la réglementation la plus avancée et la plus restrictive sur les gaz fluorés (« Règlement F-Gaz »), avec le règlement 517/2014 et, depuis mars 2024, avec le nouveau règlement (UE) 573/2024. Les principales nouveautés sont les suivantes :

- Réduction progressive de la part globale des HFC en équivalent CO₂, pour atteindre 24 % en 2027 et 21 % en 2030 (par rapport à la période de référence)

HFC phase down F-gas 2025-2050



» Interdictions depuis le 1er janvier 2025

Unités monoblocs ≤ 12 kW	2027 : PRG < 150 2032 : réfrigérants naturels
Unités monoblocs ≤ 50 kW	2027 : PRG < 150
Unités monoblocs > 50 kW	2030 : PRG < 150
Chiller ≤ 12 kW	2027 : PRG < 150 2032 : réfrigérants naturels
Chiller > 12 kW	2027 : GWP < 750
Split air/eau ≤ 12 kW	2027 : PRG < 150 2035 : réfrigérants naturels
Split > 12 kW	2029 : GWP < 750 2032 : GWP < 150

2.3.3 Les États-Unis : AIM Act, SNAP et EPA

La réglementation américaine est basée sur l’American Innovation and Manufacturing (AIM) Act (2020), qui impose une réduction progressive de 85 % des HFC d’ici 2036 par rapport aux niveaux de référence, et sur les règles de la Significant New Alternatives Policy (SNAP) de l’agence américaine de protection de l’environnement (EPA), qui approuvent de nouvelles solutions de remplacement à faible PRP (y compris l’utilisation réglementée des réfrigérants A2L).

» Tableau des réfrigérants disponibles depuis le 1er janvier 2026

RÉFRIGÉRANT	GWP (AR4)	CLASSE D’INFLAMMABILITÉ
R410A	2088	A1
R134a	1430	A1
R513A	572	A1
R454B	467	A2L
R515B	299	A1
R454C	149	A2L
R1234ze	6	A2L
R1233zd	5	A2L
R290	3	A3
R600a	3	A3
R601a	3	A3
R744 (CO ₂)	0	A1

» Réduction mondiale des réfrigérants HFC (UE, États-Unis, Kigali)

RÉGION	DATE DÉMARRAGE	1re RÉDUCTION DE PART	2e RÉDUCTION	OBJECTIF FINAL
UE (F-Gaz 517/2014 et 573/24)	2015	-7% (2016)	-37% (2018-2020)	-79 % (2030), élimination progressive 2050
USA (AIM Act)	2022	-10%	-30% (2024)	-85% (2036)
Amendement Kigali	2019-2024	Différentes phases	-	80 à 85 % (2047; 2048 pour l'Asie/MEA)

Le tableau montre comment se poursuit la transition réglementaire à l'échelle mondiale, avec des diminutions progressives des parts d'HFC disponibles.

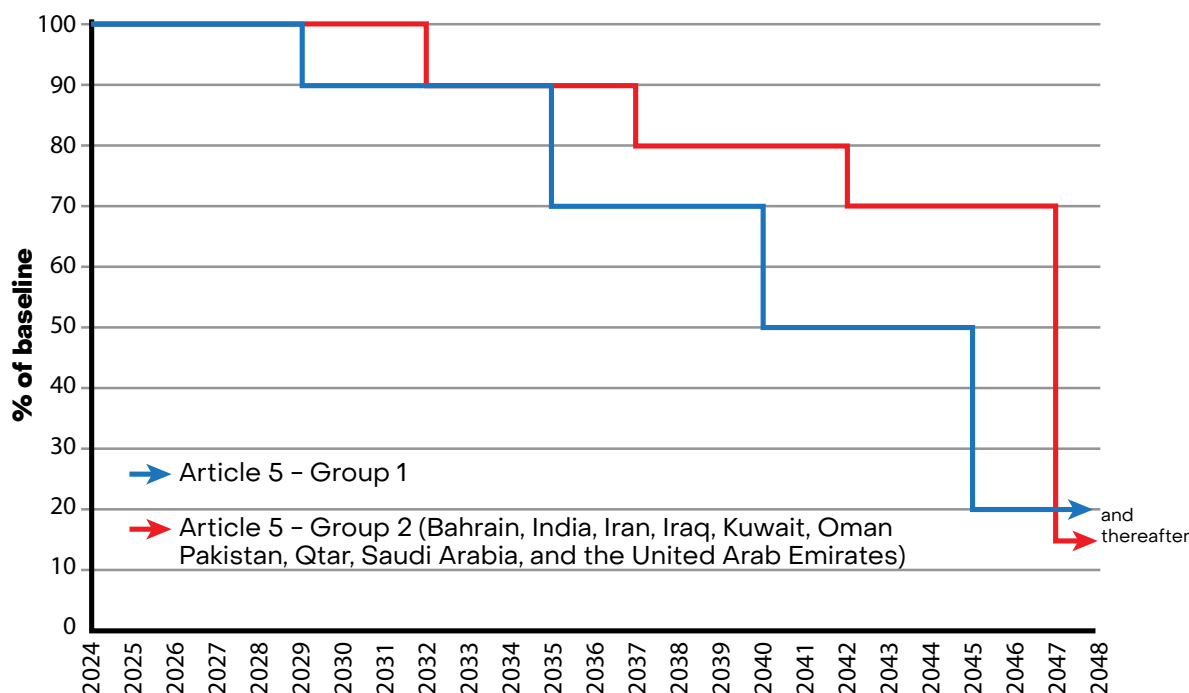
2.3.4 Amendement Kigali

Amendement de Kigali : Réduction progressive des HFC dans les pays A5 et non A5

» Amendement Kigali

Base de référence et réduction progressive comme CO ₂ e	Pays A5 (pays en voie de développement) – Groupe 1	Pays A5 (pays en voie de développement) – Groupe 2	Pays non A5 (pays développés)
Formule de la base de référence	Consommation moyenne d'HFC pour la période 2020-2022 + 65 % de la base de référence pour les HCFC	Consommation moyenne d'HFC pour la période 2024-2026 + 65 % de la base de référence des HCFC	Consommation moyenne d'HFC pour la période 2011-2013 + 15 % de la base de référence pour les HCFC
Freeze	2024	2028	-
1re étape	2029 - 10%	2032 - 10%	2019 - 10%
2e étape	2035 - 30%	2037 - 20%	2024 - 40%
3e étape	2040 - 50%	2042 - 30%	2029 - 70%
4e étape	-	-	2034 - 80%
Plateau	2045 - 80%	2047 - 85%	2036 - 85%

» Calendrier de réduction progressive



* Pour la Biélorussie, la Fédération de Russie, le Kazakhstan, le Tadjikistan et l'Ouzbékistan, la composante HCFC de la base de référence est de 25 % et trois étapes initiales différentes sont prévues :

- 1 réduction de 5 % en 2020,
- 2 réduction de 35 % en 2025 et
- 3 réduction de 85 % d'ici fin 2036.

Groupe 1 : Parties de l'article 5 qui ne font pas partie du groupe 2.

Groupe 2 : Pays avec des températures ambiantes élevées (« High Ambient Temperatures ») : Bahreïn, Inde, République islamique d'Iran, Irak, Koweït, Oman, Pakistan, Qatar, Arabie saoudite et Émirats arabes unis.

2.3.5 Règlement REACH et restriction des PFAS en Europe

Parallèlement, l'initiative REACH vise à restreindre fortement les PFAS, en couvrant plus de 10000 substances, dont de nombreux réfrigérants fluorés nouvelle génération. La proposition prévoit des périodes transitoires, des dérogations techniques difficiles à négocier et risque d'exclure également du marché les fluoropolymères à faible risque, qui sont utilisés de manière critique dans les composants et les joints.

2.3.6 La réglementation sur les PFAS aux États-Unis et ailleurs

Les États-Unis envisagent des restrictions analogues, tandis que le Maine a déjà fixé à 2040 l'interdiction de vendre des réfrigérants contenant des PFAS ajoutés intentionnellement. Le point de vue sur les PFAS et les produits de dégradation tels que le TFA n'est pas homogène entre les différentes juridictions.

2.3.7 Du 19e au début du 20e siècle : les réfrigérants naturels

Les systèmes de réfrigération voient le jour au 19e siècle avec l'utilisation de fluides naturels tels que l'ammoniac (R717), le dioxyde de carbone (R744), l'éther, l'acide sulfurique et le chlorure de méthyle. Ces réfrigérants, bien qu'efficaces sur le plan thermodynamique, présentaient des risques élevés de toxicité et d'inflammabilité, ce qui conduisit à la recherche de solutions de remplacement plus sûres pour les applications résidentielles et commerciales.

» Impacts environnementaux et régulateurs des PFAS et TFA

Substance/Application	Impact environnemental/Persistence	Statut réglementaire actuel
PFAS dans les réfrigérants	Extrême persistance; mobilité	Proposition UE de restriction totale
HFO (p. ex. R1234yf, R1234ze)	Les produits de dégradation tels que le TFA sont persistants et solubles	Sous surveillance et en attente de limite
Fluoropolymères techniques	Persistence, mais pas toxicité ni de bioaccumulation	Quelques dérogations en cours de discussion

Le cadre réglementaire impose une évaluation plus fine du risque réel, des performances irréversibles et de la durabilité de la filière.

2.4 PFAS et TFA : implications environnementales et réglementaires

2.4.1 Les PFAS : que sont-ils ? Où les trouve-t-on ? Quels sont les risques pour l'environnement ?

Les PFAS, substances per- et polyfluoroalkylées contiennent des polymères (PTFE, PVDF, etc.) et les réfrigérants fluorés, y compris les HFO et leurs mélanges. Ils se caractérisent par leur persistance (ils résistent à la dégradation), leur mobilité dans l'environnement et leur accumulation, en particulier dans les corps hydriques. Les risques sont principalement associés aux effets chroniques sur l'environnement et la santé humaine, ainsi qu'aux difficultés d'assainissement.

2.4.2 Les PFAS dans les réfrigérants et leur impact sur les technologies CVCR

Les PFAS sont largement utilisés :

- comme réfrigérants (nombreux HFC/HFO et mélanges);
- Dans les matériaux des composants (joints, vannes, garnitures, lubrifiants à base de PTFE et de PFPE). La proposition de restriction REACH, si elle est adoptée sans dérogations techniques, aurait des effets dévastateurs sur l'industrie et risquerait de bloquer plus de 90 % des applications actuelles dans les installations de réfrigération, climatisation et pompes à chaleur.

2.4.3 TFA et HFO : sous-produits et criticité

Le TFA (acide trifluoroacétique), un sous-produit de la dégradation des HFO, est très persistant et soluble, avec des risques de croissance dans les corps hydriques et des impacts qui ne sont pas encore pleinement connus. L'utilisation accrue de mélanges HFC/HFO, même s'ils représentent une mesure de lutte contre le réchauffement climatique, pourrait conduire à la formation généralisée de TFA, avec de possibles répercussions à long terme sur l'environnement et la santé.

2.5 Durabilité appliquée aux réfrigérants : le triangle et le modèle des sept forces

2.5.1 Le triangle de la durabilité : sécurité, impact environnemental et coût

Dans le panorama moderne des réfrigérants, la durabilité ne s'exprime pas seulement en termes de PRP et d'ODP. Le « triangle de la durabilité » identifie trois facteurs clés :

- Sécurité : toxicité, inflammabilité, pression opérationnelle
- Impact environnemental : ODP, PRP, TFA/PFAS

— Coût : investissement initial, consommation, coût du cycle de vie

L'objectif est de trouver le meilleur compromis entre ces paramètres, en tenant compte des spécificités des applications et de la réglementation.

2.5.2 Le modèle des sept forces en présence dans le choix des réfrigérants CVCR

Les décisions concernant la sélection des réfrigérants doivent tenir compte de ce qui suit :

1. Règlements/pressions réglementaires (Kigali, F-Gaz, AIM Act, REACH)
2. Sécurité (inflammabilité, toxicité)
3. Efficacité énergétique (COP, EER)
4. Compatibilité et facilité de rénovation
5. Coût et disponibilité du réfrigérant
6. Impact environnemental élargi (ODP, PRP, production de TFA/PFAS)
7. Innovation technologique (instruments, contrôles, solutions intelligentes)

Cette grille permet d'évaluer la durabilité de chaque solution par rapport à toutes les parties prenantes de la filière.

» Modèle des sept forces (schéma)

Force	Impact sur le choix du réfrigérant
Réglementation	Conformité, restrictions, dérogation, futur disponible
Sécurité opérationnelle	Risques d'incendie/d'explosion/de toxicité, exigences techniques
Efficacité énergétique	Effet de serre équivalent total (TEWI) de l'installation, COP, systèmes de récupération de chaleur
Compatibilité/rénovation	Facilité de conversion des installations, connaissances techniques
Coût et disponibilité	Prix, chaîne logistique, maintenance et remplacements
Impact environnemental étendu	ODP, PRP, risque TFA/PFAS/accumulation sol/eau, élimination
Innovation	Nouvelles architectures, numérisation, surveillance intelligente

2.6 Tendances en matière de technologies et d'applications

2.6.1 Réfrigérants A2L et A3 : caractéristiques, sécurité et réglementations

A2L (INFLAMMABILITÉ FAIBLE) : HFO ET R32

Les réfrigérants A2L se caractérisent par une faible toxicité et une légère inflammabilité (LII supérieure, L = vitesse de combustion basse). Exemples typiques : R1234yf, R32, R454B. Disponibles grâce à l'introduction de nouvelles normes de sécurité (EN 378, CEI 60335), ils présentent des performances thermiques comparables à celles des HFC, avec un PRP < 150-700 et une meilleure efficacité énergétique par rapport à de nombreux réfrigérants naturels, avec des risques gérables grâce à un agencement et des composants adaptés.

A3 (HAUTE INFLAMMABILITÉ) : HYDROCARBURES

Les hydrocarbures (R290 – propane, R600a) sont hautement inflammables, avec des limites de charge réglementaires et des modifications de conception requises par la norme EN 378 et

les directives ATEX. Ils sont toutefois inégalables en matière de PRP (égal à 3) et d'efficacité dans les appareillages de petite et moyenne taille.

2.6.2 CO2 transcritique : technologie et applications

Les systèmes transcritiques au CO₂ (R744) sont désormais répandus dans la réfrigération commerciale et industrielle en Europe, en Amérique du Nord, au Japon et en Australie. Les caractéristiques clés sont les suivantes :

- PRP = 1 (aucun effet de serre significatif) ;
- Pression de fonctionnement élevée (90 à 130 bars), nécessitant une conception et un contrôle avancés ;
- Récupération de chaleur très efficace (« heat reclaim ») ;
- Des performances très intéressantes dans les climats tempérés/froids, mais également améliorées dans les climats chauds grâce à des technologies telles que les éjecteurs, la compression parallèle et les chillboosters.

2.6.3 Hydrocarbures (propane R290, isobutane R600a) : potentialités et limites

Les hydrocarbures, naturels et au PRP proche de zéro, sont parfaits pour la réfrigération résidentielle et commerciale dans des locaux de petite taille, les pompes à chaleur monoblocs et les petites machines industrielles. Limites : obligations de sécurité strictes (A3), obligation de composants ignifuges et nécessité de formation des opérateurs, et généralement limitées à la quantité de charge pouvant être installée.

2.6.4 HFO et mélanges HFC/HFO : tendances, perspectives et limites

Les HFO sont très prometteuses en raison de leur faible PRP et de leur bonne compatibilité, mais leur légère inflammabilité et le risque de générer des TFA les maintiennent sous surveillance réglementaire. Large utilisation également dans les mélanges HFC/HFO (p. ex. R454B), qui représentent des solutions de transitions assurant la compatibilité, des coûts de rénovation inférieurs et une meilleure efficacité par rapport aux systèmes existants, mais qui comportent un risque en cas d'interdiction des PFAS.

» **Tableau comparatif des principaux réfrigérants pour les applications CVCR**

Réfrigérant	Classe de sécurité	ODP	GWP	Principales applications	Avantages	Limites
CO ₂ (R744)	A1	0	1	Grande distribution, industrie alimentaire, pompes à chaleur	Aucun impact climatique, sûr	Pressions élevées, complexité/efficacité
Propane (R290)	A3	0	3	Petite et moyenne puissance, refroidisseurs, pompes à chaleur	Efficacité très élevée, coût faible	Inflammable, limites de charge, sécurité
R32	A2L	0	675	Pompes à chaleur, climatisation	Rendement élevé, pression similaire au R410A	Faiblement inflammable, PRP moyennement élevé
R1234yf/ze	A2L	0	4/7	Automobile, petite réfrigération, refroidisseurs	PRP très faible, compatible	Légère inflammabilité, possible TFA?
R410A (HFC)	A1	0	2088	Systèmes existants, en cours d'élimination progressive	Non inflammable, performances connues	PRP élevé, restriction réglementaire
R454B	A2L	0	531-700	Rénovation, commerciales	Compatibilité des installations, PRP moyen	Légère inflammabilité, PFAS dans le futur?
R454C	A2L	0	147	Pompes à chaleur, climatisation, commerciales	PRP faible	Glissement, légère inflammabilité, PFAS dans le futur?

» **Matrice d'applications réfrigérantes, efficacité et limites**

Application	Préférence réfrigérant	Principale motivation
Air conditionné résidentiel	R32, R290, HFO	Efficacité, PRP, sécurité
Data center	HFO, CO ₂	Efficacité, PRP, sécurité
Réfrigération commerciale	CO ₂ , R290, HFO-HFC/HFO blends	Réglementation PRP, efficacité
Réfrigération industrielle	NH ₃ , CO ₂	Performance, zero ODP/GWP
Automobile	R1234yf, CO ₂	Réglementation, compatibilité technique

2.7 Perspectives, adoption régionale et scénarios de développement

2.7.1 Europe

L'Europe continue à conduire la transition avec la réduction progressive la plus restrictive (et la plus avancée) des HFC, l'adoption accélérée du CO₂ et des hydrocarbures, la pression sur les PFAS et la promotion des réfrigérants naturels, y compris dans des contextes à moyenne et grande échelle. Les nouvelles règles F-Gaz 2024/573 et la proposition REACH sur les PFAS représentent un changement de paradigme : dans les 5 à 10 prochaines années, la quasi-totalité des nouvelles installations devra être compatible avec des réfrigérants non fluorés ou avec des HFO spécifiques sans PFAS.

2.7.2 États-Unis

La réduction progressive des HFC se poursuit selon un calendrier serré, pour atteindre 85 % en 2036. L'AIM Act et les règles SNAP élargiront la plage des réfrigérants A2L et naturels acceptés, même si les barrières réglementaires locales (« state regulation ») et le tableau des PFAS sont encore en cours d'évolution. Les chaînes de la grande distribution et les acteurs de l'industrie alimentaire militent pour le CO₂, le NH₃ et les hydrocarbures, y compris aux États-Unis.

2.7.3 Asie et marchés émergents

Le calendrier d'adoption est plus graduel, mais la pression exercée par les multinationales du secteur CVCR, la présence de producteurs de premier plan et la convergence avec les paramètres de Kigali laissent présager une accélération rapide dès 2026-2028, en particulier en Chine et en Asie du Sud-Est, aussi bien pour la grande distribution que pour les secteurs industriels. En Inde, dans le Golfe et en Afrique, les feuilles de route de Kigali sont plus distendues.

2.7.4 Applications : tendances par secteur

- Réfrigération commerciale/détail : CO₂ désormais généralisé en Europe, croissant également aux États-Unis. Essor rapide des hydrocarbures pour les « plug-in ».
- Réfrigération industrielle : l'ammoniac et le CO₂ consolident également leur position de leader dans les secteurs de l'entreposage frigorifique, de l'alimentation et des boissons, et des produits pharmaceutiques.
- Air conditionné : R32 et HFO en Asie et aux États-Unis; en Europe, transition vers le R290 (propane) pour des installations petites ou moyennes et obligation de PRP < 150 en 2027.
- Automobile : R1234yf et CO₂, attention croissante à l'égard du cycle de vie et de l'efficacité énergétique globale.
- Centres de données : HFO (R1234ze) principalement et CO₂, bien que limité pour les refroidisseurs de grande puissance. R513A et R454B pour des solutions « drop-in » et des coûts d'investissement plus contenus.

2.8 Conclusion

Le monde des réfrigérants connaît la phase de transition la plus rapide et la plus profonde de son histoire. Les réglementations européennes et nationales de plus en plus strictes, les préoccupations relatives aux PFAS et au TFA, et la pression exercée par l'urgence climatique imposent un bouleversement irréversible en matière de technologie et de gestion. Le choix du réfrigérant ne peut plus se fonder exclusivement sur le PRP, mais doit être pondéré par le triangle sécurité-environnement-coût.

À court et moyen terme, l'avenir se dessine ainsi :

- Prépondérance des réfrigérants « naturel » (CO₂, propane, ammoniac) dans la quasi-totalité des nouvelles applications, en particulier en Europe et dans le secteur industriel/commercial.
- Croissance des solutions A2L (R454B, HFO, mélange) en raison de mesures de sécurité strictes, mais avec une échéance fixée par l'évolution de la réglementation européenne sur les PFAS.

- Interdiction progressive, mais inexorable des réfrigérants fluo-
rés à fort impact, dans l'UE comme aux États-Unis et dans les
pays avancés, avec une extension rapide aux marchés émer-
gents.

Les défis demeurent : la sécurité, la formation, les coûts de la tran-
sition et la présence d'installations obsolètes qui nécessitent des
solutions techniques et économiques de compromis, dans l'attente
d'une génération de réfrigérants et de systèmes CVCR véritable-
ment « prêts pour le futur », à haut rendement et respectueux de
l'environnement et de la santé de tous. L'innovation, soutenue par
une vision réglementaire globale, représente la voie royale.

3 EXIGENCES D'INSTALLATION POUR LES PRODUITS QUI UTILISENT LES NOUVEAUX RÉFRIGÉRANTS A3 : GROS PLAN SUR LE R290

3.1 Introduction


Les unités HiRef chargées en réfrigérant R290 sont mises au point en conformité avec les réglementations européennes applicables, notamment la norme EN 378-3.

L'objectif de ce document est de fournir au concepteur et à l'installateur les lignes directrices nécessaires à l'installation et à l'utilisation d'appareillages contenant des réfrigérants hautement inflammables et explosifs (A3 selon ISO 817:2014).

3.2 Directive ATEX

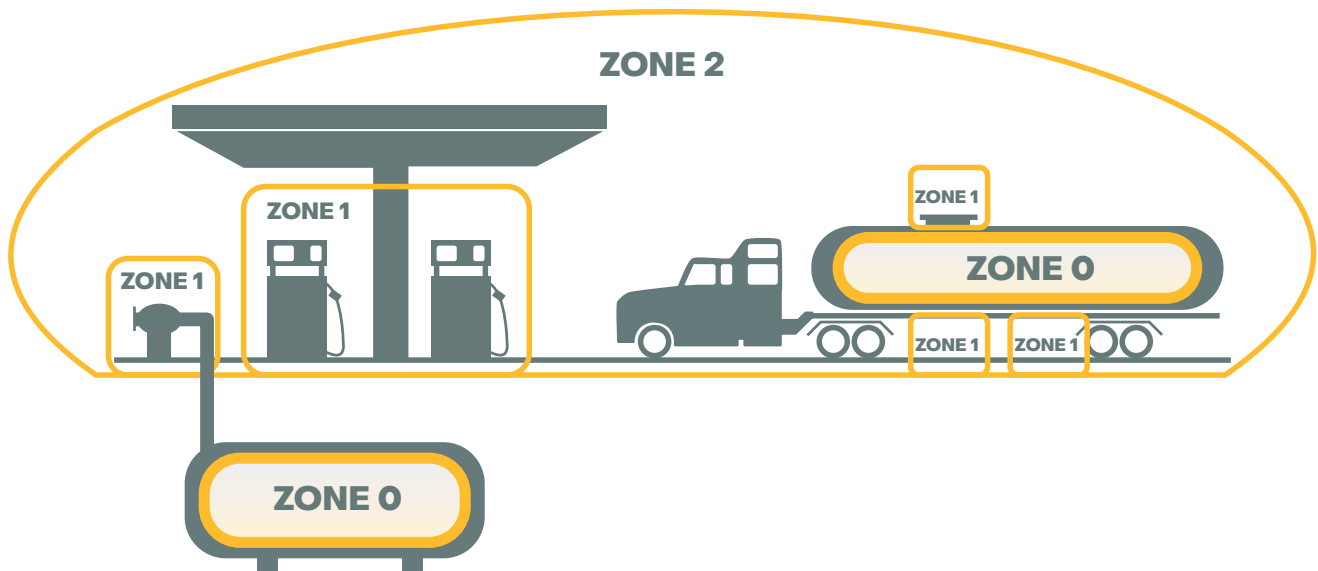
La directive ATEX 2014/34/EU définit les exigences minimales en matière de santé et de sécurité des lieux de travail en présence d'atmosphères potentiellement explosives ; en particulier, elle les divise en différentes zones, en fonction de la probabilité de présence d'atmosphère explosive et spécifie les critères selon lesquels les produits sont sélectionnés à l'intérieur de ces zones.

» Symbole ATEX

	Symbole zones ATEX Directive ATEX 1999/29/CE
--	---

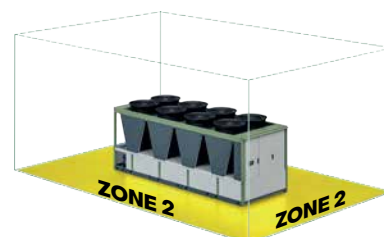
» CLASSIFICATION DES ZONES D'INSTALLATION

Zone	Description	Présence de gaz
Zone 0	Zone dans laquelle une atmosphère explosive, consistant en un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard, est présente en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment.	> 1000 heures/an
Zone 1	Zone où la formation d'une atmosphère explosive, consistant en un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard, est probable durant les activités normales.	10 à 1000 heures/an
Zone 2	Zone où la formation d'une atmosphère explosive, consistant en un mélange d'air et de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard, est probable durant les activités normales, et si elle se vérifie, n'est que de courte durée.	< 10 heures/an



Les systèmes CVC sont rigides et les raccords utilisés entre les parties qui contiennent du réfrigérant sont, en règle générale, « durablement et techniquement étanches », selon la définition de la norme EN 1127-1:2019. La zone ATEX générée après la fuite de réfrigérant d'un de ces systèmes est classée comme zone de type 2. L'utilisation de détecteurs de gaz consolide le concept d'« étanchéité durable et technique » car elle permet de surveiller l'étanchéité des joints. Si une fuite est détectée, tous les composants qui présentent des sources d'inflammation doivent être arrêtés conformément aux normes de sécurité.

Exemple de zone ATEX pour une pompe à chaleur

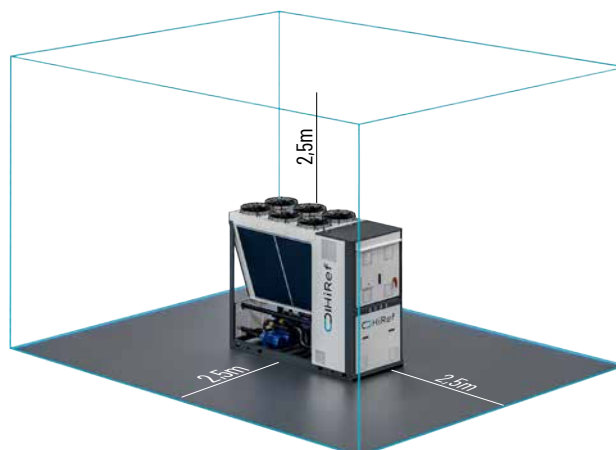


3.3 Installation des unités

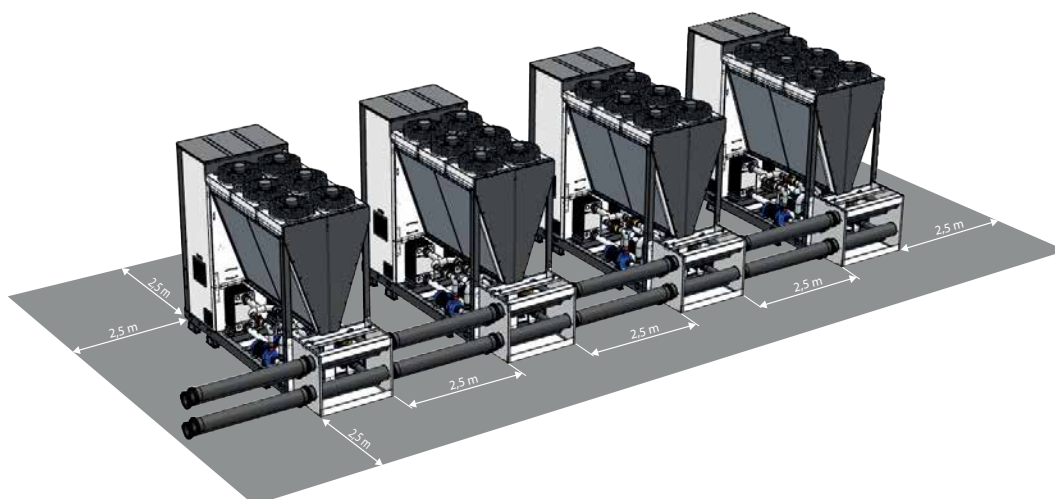
Les unités remplies de gaz A3 (hautement inflammable) doivent être installées sur à distance des évacuations, des bouches d'égout, des canaux de drainage et de tout autre élément qui pourrait servir de voie d'évacuation pour les éventuelles fuites desdits gaz, qui doivent toujours être considérés comme INFLAMMABLES et plus lourds que l'air.

La distance minimale à respecter, selon ces prescriptions, est de 2,5 mètres ; dans cette zone de sécurité, il est strictement interdit de fumer, d'utiliser des flammes nues ou d'effectuer des travaux qui pourraient générer des flammes, des arcs ou des étincelles.

Zone de sécurité – exemple d'installation simple



Zone de sécurité – exemple d'installation multiple



ATTENTION

En cas d'installation de plusieurs machines à proximité les unes des autres, la distance minimale entre les unités doit être de 2,5 mètres. Cette distance peut être réduite à 1,5 mètre à condition qu'en cas d'alarme déclenchée par une fuite de réfrigérant sur l'une des unités, toutes les machines soient mises hors tension. Pour rendre cette fonction possible, il est nécessaire de créer une interconnexion électrique entre les unités du groupe, à confier EXCLUSIVEMENT au personnel et des centres d'assistance agréés (après une formation spécifique).

3.3.1 Installation d'unités dans des locaux intérieurs

En cas d'installation d'unités avec des réfrigérants A2L/A3 dans des locaux intérieurs, la norme de référence pour déterminer les dispositifs de sécurité à appliquer dans la salle des machines est la norme EN378-3.

En particulier, le concepteur doit prévoir :

1. Des espaces d'installation adaptés et calculés en fonction de la charge de réfrigérant du circuit ayant le plus gros volume;

2. Ventilation mécanique ATEX;
3. Détection des fuites de réfrigérant dans l'espace;
4. Limitation de l'accès à la salle des machines et signalisation au moyen de panneaux;
5. Dispositifs d'arrêt d'urgence à l'extérieur du local.

3.4 Composants de sécurité internes

3.4.1 Vidange des vannes de sécurité

Le circuit frigorifique de l'unité est équipé de **vannes de sécurité**, du côté haute pression comme du côté basse pression ; le point de raccordement des vannes et leurs dimensions respectives sont indiqués dans les dessins détaillés joints à ces instructions.

L'installateur/l'utilisateur final doit créer une conduite dont les dimensions doivent être égales ou supérieures à la sortie des vannes de sécurité, de sorte que **le point d'évacuation soit situé à distance de la machine et des autres éléments potentiellement déclencheurs (distance minimale de 4 mètres dans toutes les directions à partir du point d'émission).**

Le point d'émission doit être orienté vers le haut (et donc protégé par un bouchon amovible ou un autre élément qui, tout en permettant aux éventuels gaz expulsés de s'échapper, empêche l'entrée de la pluie, des insectes ou des contaminants dans la conduite).

Il est préférable de positionner le point de purge sur le toit, à une hauteur minimale de 5 m au-dessus du sol.

Si la longueur de la conduite est particulièrement importante (> 10 m au total), il est conseillé de prévoir une légère inclinaison (1 %) dans les sections horizontales pour faciliter l'écoulement des éventuels condensats, et il est nécessaire de créer un siphon à proximité du point d'évacuation, comme le montre l'image ci-dessous, et de percer un trou à la base.



Image fournie uniquement à titre indicatif.

3.4.2 Alimentation électrique de l'unité

Les unités remplies d'un réfrigérant classé A3 (généralement R290, un réfrigérant hautement inflammable) sont équipées d'une double ligne d'alimentation électrique : une ligne PRINCIPALE pour le fonctionnement des unités et une ligne AUXILIAIRE pour alimenter les dispositifs de sécurité (décrits ci-dessous) :

- système de ventilation du compartiment des compresseurs ;
- capteur de détection LIE (limite inférieure d'explosivité) à l'intérieur.

3.4.3 Accessoires hydrauliques

Pour prévenir le risque de contamination du circuit hydraulique par le réfrigérant en cas de rupture de l'échangeur, l'installation d'un dispositif de dégazage ou d'un événement est obligatoire.



3.5 Séquence et gestion de l'alarme

En cas de fuite de réfrigérant, les capteurs sont paramétrés de manière à :

1. fournir un signal d'alarme quand une concentration de 10 % de la limite inférieure d'explosivité (LIE) est atteinte;
2. fournir un signal de mise hors tension quand 20 % de la LIE (limite inférieure d'explosivité) sont atteints.

Le signal de mise hors tension déclenchera un interverrouillage de sécurité avec le système d'alimentation en amont de l'unité. Cet interverrouillage sectionnera de manière sûre et efficace l'alimentation PRINCIPALE, ce qui provoquera la mise hors tension et l'arrêt de l'unité; seule l'alimentation AUXILIAIRE restera en service afin de maintenir la ventilation active à l'intérieur du/des compartiment/s du/des compresseur/s et d'assurer le fonctionnement des capteurs de la LIE.

Se conformer aux instructions suivantes en cas de signalisation de fuite de réfrigérant par les détecteurs embarqués ou prévus à proximité de la machine :

Si l'alarme se déclenche parce que le premier seuil de la LIE (10 %) a été atteint, cela signifie que l'unité perd une quantité limitée de réfrigérant, mais que la situation inhérente au risque d'explosion n'est pas critique. La perte de réfrigérant, bien que limitée, représente néanmoins une situation qui :

- conduira à une dispersion progressive de la charge de réfrigérant; par conséquent, l'unité se trouvera à moyen terme dans des conditions qui ne lui permettront plus de remplir sa fonction; il est donc nécessaire que l'utilisateur prenne les précautions appropriées pour gérer le procédé auquel l'unité est raccordée;
- peut évoluer vers une situation plus grave si le point qui présente une fuite de gaz réfrigérant devait s'élargir (par exemple, en raison d'un phénomène d'érosion);

Dans les cas, l'utilisateur :

- devra contacter l'assistance technique;
- ne devra pas s'approcher ni stationner à proximité de l'unité

Il est nécessaire de disposer d'un signal d'alarme à distance pour le réfrigérant (en plus de l'alarme constituée de 3 voyants – rouge, blanc et vert –, présente sur la façade du panneau du coffret électrique), afin qu'il ne soit pas nécessaire de s'approcher de la machine en cas d'alarme. Cette alarme peut s'effectuer :

- sur un afficheur déporté, disponible en option en s'adressant à tout moment au service après-vente HiRef;

- grâce à la lecture des alarmes de l'unité par une communication à distance (p. ex. Modbus ou Ethernet) et en prévoyant à distance de l'unité un signal de danger à activer en cas d'alarme.

ATTENTION

Si l'alarme se déclenche parce que le deuxième seuil de la LIE (20 %) a été atteint, cela signifie que l'unité perd une quantité significative de réfrigérant et que la situation inhérente au risque d'explosion peut devenir critique.

L'interverrouillage de sécurité mis en place sur le système d'alimentation PRINCIPAL provoquera l'arrêt complet et la mise hors tension de l'unité (à l'exception des capteurs et de la ventilation du compartiment des compresseurs).

Dans les cas, l'utilisateur :

- devra contacter l'assistance technique;
- ne devra pas s'approcher ni stationner à proximité de l'unité.

L'assistance technique, quand elle est alertée pour tous les types d'alarmes :

- devra procéder à l'activité de vérification et de maintenance, en utilisant toujours des dispositifs portables de détection de la LII/LIE; il est interdit d'effectuer des interventions de maintenance sur l'unité tant qu'une concentration supérieure à 5 % de LII est toujours présente (la mesure doit être réalisée en prélevant par échantillonnage sur les différents points de l'unité, en particulier dans les zones inférieures du compartiment des compresseurs et du compartiment de la batterie de condensation);
- quand le niveau de la LII est donc inférieur à 5 %, le fluide réfrigérant doit être complètement évacué de l'unité; ce n'est qu'une fois la vidange terminée, sans contrevenir aux prescriptions ci-dessus, qu'il sera possible d'effectuer des interventions de réparation et de restaurer l'étanchéité de l'unité;
- une fois que l'unité aura été réparée et son étanchéité restaurée, il sera possible de procéder à un nouveau remplissage puis de remettre l'unité en service.

3.6 Exemples d'installations CONFORMES



3.7 Exemples d'installations NON CONFORMES



Dans ce cas, HiRef n'a pas autorisé la mise en service et a demandé à l'installateur d'interconnecter électriquement les unités. En cas d'alarme sur l'une des unités présentes sur le site, toutes les unités sont automatiquement mises hors tension. Seule l'alimentation des systèmes de sécurité, tels que les capteurs de détection des fuites de réfrigérant et le système de ventilation d'urgence, reste active.

4 LA VALEUR DISTINCTIVE D'HIREF : PERFORMANCES, DURABILITÉ ET ÉLARGISSEMENT DES MARCHÉS

Nous concevons un futur dans lequel le monde du CVCR jouera un rôle de plus en plus décisif pour le développement durable.

Nous travaillons à la préservation des ressources de la terre pour les générations à venir afin de leur offrir la possibilité de mener à bien leur propre évolution personnelle.

Les installations, conçues de manière spécifique après une étude approfondie, représentent l'aboutissement de recherches en matière d'efficacité, d'innovation et de circularité.

Nous croyons en l'innovation comme le fruit de la contamination avec d'autres secteurs : nous absorbons les points forts afin d'enrichir nos compétences et d'optimiser nos performances. Les collaborations avec nos partenaires et les entreprises de notre groupe constituent notre valeur la plus importante, et nous sommes convaincus que nous pourrions, ensemble, optimiser la consommation et contribuer à un futur totalement durable.

Nous anticipons le changement et allons au-delà des solutions toutes prêtes, grâce à la force d'une pensée novatrice.

4.1 Vision et positionnement dans la transition vers les réfrigérants naturels

La vision d'HiRef se fonde sur une approche intégrée de la durabilité, qui englobe les aspects environnementaux, économiques et sociaux. L'entreprise a choisi de miser sur les réfrigérants naturels tels que le propane (R290) et le CO₂ (R744), et ainsi de réduire fortement le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) de ses systèmes et de promouvoir un modèle d'économie circulaire. L'utilisation de réfrigérants naturels tels que le R290 comporte des défis spécifiques en matière de sécurité, principalement liés à l'inflammabilité et à la gestion des charges de gaz. Nous avons affronté ces points critiques en mettant en œuvre une série de solutions techniques et de procédures qui assurent la conformité totale aux réglementations européennes et internationales, en particulier à la série EN 378 et à la directive ATEX.

Cette stratégie a permis la réalisation d'une gamme de produits qui, tout en réduisant les émissions directes de gaz à effet de serre, optimisent également les performances énergétiques tout au long du cycle de vie, comme le confirment l'application des méthodes d'analyse du cycle de vie (ACV) et le calcul de l'effet de serre équivalent total (TEWI).

Nous avons su nous distinguer de nos concurrents grâce à notre capacité à personnaliser les solutions, en évitant l'approche « par catalogue » et en proposant des systèmes sur mesure pour les centres de données, l'industrie, le secteur tertiaire et les infrastructures critiques. La flexibilité et la verticalité des compétences internes, associées à un réseau d'entreprises complémentaires, permettent de couvrir un large éventail d'applications, comprenant la climatisation de précision pour les environnements informatiques, le refroidissement industriel et la gestion intégrée de l'énergie (boucle énergétique).

Sur le plan international, nous avons consolidé notre présence dans les régions EMEA, APAC, LATAM et en Afrique du Sud grâce à une stratégie commerciale qui valorise aussi bien la vente directe que la collaboration avec des filiales et des distributeurs locaux.

Enfin, la création de DataDom, spécialisée dans les centres de données préfabriqués et conteneurisés, est un exemple de la manière

dont HiRef élargit son portefeuille de produits et de services pour répondre aux nouvelles attentes du marché mondial.

4.2 Performances énergétiques et réduction de l'effet de serre équivalent total

L'un des aspects primordiaux du choix des réfrigérants naturels est l'amélioration des performances énergétiques et la réduction de l'impact environnemental total, mesuré avec l'indice d'effet de serre équivalent total (TEWI). HiRef a développé des solutions qui optimisent l'efficacité énergétique et minimisent les émissions directes et indirectes, et offrent ainsi des avantages concrets par rapport aux réfrigérants traditionnels.

CALCUL DU TEWI

$TEWI [kg \text{ de } CO_2] = (\text{effet direct}) + (\text{effet indirect}) = mr * GWP + mCO_2 * \tau * e$

où :

- mr = masse de réfrigérant dispersée dans l'atmosphère durant le cycle de vie de la machine [kg];
- PRP = potentiel de réchauffement planétaire du réfrigérant par référence au potentiel d'effet de serre du dioxyde de carbone (qui prend donc la valeur PRG = 1) et généralement sur une période de 100 ans [kg de CO₂/kg];
- mCO_2 = masse de CO₂ émise par unité d'énergie électrique [kg de CO₂/kWh]; dépend du système de production de chaque pays et, plus précisément, de la source d'approvisionnement spécifique (fossile, renouvelable);
- τ = cycle de vie de la machine [années];
- e = consommation annuelle d'énergie électrique [kWh/an].

PROPRIÉTÉS THERMODYNAMIQUES DU R290

Le propane (R290) se distingue par ses excellentes propriétés thermodynamiques :

- PRP extrêmement faible, contre des valeurs de 467 pour le R454B et de 2088 pour le R410A;
- Pressions d'exploitation inférieures à celles du R454B et du R410A, ce qui réduit les sollicitations sur les composants et améliore la durabilité des installations;
- Température de refoulement élevée (jusqu'à 80 °C), qui permet de produire de l'eau chaude sanitaire et pour le chauffage, y compris dans des installations à radiateurs traditionnelles, ce qui élargit les possibilités de réhabilitation énergétique;
- COP (coefficient de performance) plus élevé dans de nombreuses conditions de fonctionnement, avec une efficacité énergétique supérieure de 5 à 20 % à celle des réfrigérants synthétiques.

TECHNOLOGIES SYNERGIQUES

Dans nos unités chargées en R290, nous intégrons des technologies de pointe pour optimiser les performances énergétiques :

- Ventilateurs EC surdimensionnés : ils assurent une modulation précise du débit d'air, tout en réduisant la consommation (jusqu'à 10 % par rapport aux ventilateurs AC) et le bruit;
- Condenseurs à batterie à ailettes avec un tube de 7 mm : ils augmentent l'efficacité de l'échange thermique et assurent le

fonctionnement, même en cas de températures extérieures élevées, ce qui permet de réduire la charge de réfrigérant (jusqu'à 12 %);

- Commande électronique évoluée avec logiciel propriétaire : gestion intelligente des charges, intégration avec des systèmes de supervision, optimisation du fonctionnement en fonction des conditions d'exploitation;
- Compresseurs scroll inverter et on-off : l'efficacité élevée, la redondance/modulation et le contrôle précis des points de consigne réduisent la consommation d'énergie saisonnière jusqu'à 15 %).

4.3 Élargissement des secteurs de marché

La transition vers des réfrigérants à faible PRG (R1234ze) et naturels, tels que le R290, élargit de manière significative les secteurs du marché accessibles aux solutions HiRef. La haute efficacité, la flexibilité d'application et la conformité aux réglementations lui permettent de répondre aux exigences d'un large éventail de clients, tels que les centres de données, l'industrie manufacturière, le secteur tertiaire avancé et les infrastructures critiques.

CENTRES DE DONNÉES ET INFRASTRUCTURES INFORMATIQUES

Le refroidissement des centres de données représente pour HiRef l'un des marchés les plus dynamiques, évolutifs et stratégiques. L'augmentation de la densité de puissance, la croissance exponentielle de la demande de données et l'expansion de l'intelligence artificielle exigent des solutions de climatisation caractérisées par une efficacité élevée et un impact environnemental faible. HiRef propose des systèmes de refroidissement par liquide, des refroidisseurs « full inverter » avec des réfrigérants à faible PRP et des systèmes de gestion de l'énergie évolués (HiNode), qui assurent des indices d'efficacité énergétique (PUE) très faibles et une fiabilité d'exploitation maximale.

INDUSTRIE ET PROCESSUS DE PRODUCTION

Dans le secteur industriel, la demande de solutions CVC est principalement liée aux exigences de décarbonation (pacte vert pour l'Europe) et à l'optimisation énergétique. Les unités HiRef chargées en R290 sont utilisées pour le refroidissement de processus, la climatisation d'espaces de production/commerciaux et la récupération de chaleur, et offrent des avantages sur le plan de la réduction des coûts d'exploitation et de la conformité aux réglementations environnementales.

TERTIAIRE AVANCÉ ET INFRASTRUCTURES CRITIQUES

Les solutions HiRef trouvent application dans les bâtiments commerciaux, les hôpitaux, les écoles, les hôtels, les infrastructures de télécommunications et les transports. La capacité à produire de l'eau chaude à des températures élevées, le niveau de silence et la modularité des unités permettent de répondre aux exigences de confort, de sécurité et de durabilité de ces secteurs.

4.4 Avantages pour les concepteurs, les installateurs et les utilisateurs finals

L'adoption des solutions HiRef avec le réfrigérant naturel R290 offre toute une série d'avantages concrets à tous les acteurs de

la filière : concepteurs, installateurs, gestionnaires de l'énergie et utilisateurs finals. Ces avantages se traduisent par une plus grande efficacité, une réduction des coûts, une simplification des procédures et une amélioration de la durabilité environnementale.

AVANTAGES POUR LES CONCEPTEURS

- Grande flexibilité de conception : la modularité des unités HiRef permet d'adapter la solution aux exigences spécifiques du site, avec des possibilités de personnalisation et d'intégration avec des systèmes de supervision et de gestion de l'énergie;
- Conformité réglementaire garantie : les unités sont conçues conformément aux réglementations EN 378, (UE) 2014/34 (ATEX), ce qui simplifie la rédaction des projets et la déclaration de conformité;
- Assistance technique et formation : HiRef fournit des conseils spécialisés et des cours de formation sur le R290, facilitant ainsi la mise à niveau des compétences et la gestion des nouvelles technologies.

AVANTAGES POUR LES INSTALLATEURS

- **Procédures d'installation simplifiées** : Les unités monoblocs chargées en R290 ont un circuit frigorifique hermétiquement scellé et sont conçues pour minimiser le risque de fuite, ce qui réduit l'analyse des risques sur site et la complexité des opérations;
- **Réduction des obligations en matière de contrôle des fuites** : grâce à leur faible PRP et aux quantités limitées de réfrigérant, les unités chargées en R290 sont souvent exonérées des contrôles périodiques obligatoires prévus pour les HFC, ce qui permet de simplifier la gestion et de réduire les coûts récurrents;
- **Formation et certification** : HiRef organise des cours de recyclage et certification pour les installateurs et les techniciens de maintenance, conformément aux nouvelles réglementations européennes et nationales.

AVANTAGES POUR LES UTILISATEURS FINALS

- Augmentation de l'efficacité énergétique : les unités chargées en R290 permettent de réaliser des économies d'énergie jusqu'à 20 % par rapport aux solutions traditionnelles, ce qui se traduit par une réduction des coûts d'exploitation;
- Réduction de l'impact environnemental : le PRP proche de zéro et la réduction du TEWI contribuent à la durabilité environnementale et facilitent l'accès aux mesures d'incitation et aux certifications écologiques;
- Polyvalence des applications : grâce à leur capacité à produire de l'eau chaude à des températures élevées, les solutions HiRef sont également adaptées aux installations existantes équipées de radiateurs, ce qui simplifie de la réhabilitation énergétique;
- Réduction des risques réglementaires et des coûts de remplacement futurs : l'adoption du R290 permet d'anticiper les futures restrictions réglementaires, d'éviter les obligations de remplacement à moyen terme et de protéger la valeur de l'investissement.

En conclusion, les solutions HiRef qui utilisent le R290 représentent un choix stratégique pour tous les acteurs de la filière CVC, car elles offrent des avantages tangibles en matière d'efficacité, de sécurité, de durabilité et de conformité aux réglementations.

4.5 Exemples d'application et scénarios d'utilisation HiRef avec le R290

L'expérience d'HiRef dans la mise en œuvre de solutions qui utilisent des réfrigérants naturels se traduit par une série d'applications réussies, qui mettent en lumière la polyvalence et l'efficacité des technologies proposées. Certains scénarios d'utilisation significatifs, concernant en particulier les centres de données, l'industrie, le secteur tertiaire et la réhabilitation énergétique, sont analysés ci-dessous.

CENTRES DE DONNÉES EN EUROPE CENTRALE ET SEPTENTRIONALE

HiRef a contribué à la réalisation de centres de données en Europe centrale et septentrionale en fournissant des solutions innovantes pour le refroidissement et la gestion énergétique. Le projet prévoyait l'installation de refroidisseurs « full inverter » utilisant un réfrigérant à faible PRP (R1234ze), des systèmes de refroidissement naturel (sans glycol) et une gestion intelligente avec HiNode. La configuration N+1 et la redondance complète ont permis d'assurer la continuité d'exploitation, tandis que l'adoption de technologies de pointe a permis d'obtenir des indices d'efficacité énergétique très faibles (< 1,20) et une durabilité maximale.

INDUSTRIE ET PROCESSUS DE PRODUCTION

Les unités HiRef chargées en R290 sont utilisées pour le refroidissement de processus industriels, de chambres froides, de lignes de production et d'environnements à haute densité de puissance. La modularité des solutions et la possibilité de personnalisation permettent de répondre aux exigences spécifiques de chaque client, tout en garantissant l'efficacité énergétique, la sécurité et la conformité aux réglementations.

RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS ET COMMERCIAUX

Les pompes à chaleur HiRef chargées en R290, utilisées pour la réhabilitation énergétique de bâtiments existants, permettent de remplacer les chaudières traditionnelles et peuvent s'intégrer à des installations à radiateurs. Leur capacité à produire de l'eau chaude à des températures élevées et leur efficacité supérieure facilitent l'accès aux mesures d'incitation et permettent de réduire les coûts énergétiques.

APPLICATIONS SPÉCIALES ET PROJETS INTERNATIONAUX

HiRef a réalisé des projets de climatisation pour des infrastructures de transport (métro de Copenhague), des écuries de Formule 1 et de grandes entreprises du secteur des télécommunications, tous avec des refroidisseurs qui utilisent du CO₂. Elle a ainsi démontré sa capacité à adapter ses solutions fonctionnant avec des réfrigérants naturels à des contextes particulièrement critiques et complexes en matière de réglementation.

Ces exemples d'application démontrent que les solutions HiRef à faible impact environnemental peuvent répondre aux défis de la transition énergétique, en offrant des avantages concrets sur le plan de l'efficacité, de la durabilité et de la sécurité dans une large gamme de contextes d'exploitation.

5 SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Les solutions technologiques HiRef avec des réfrigérants naturels, en particulier le R290 et le CO₂, reflètent l'état de l'art dans le secteur CVC, avec une combinaison d'efficacité énergétique, de sécurité, de durabilité et de flexibilité d'application qui répond aux défis de la transition énergétique et de la décarbonation. La vision de l'entreprise, l'architecture technique de pointe, la conformité réglementaire et les avantages pour toutes les parties prenantes consolident la position actuelle d'HiRef : celle d'un leader innovant, prêt à anticiper les exigences des concepteurs, des gestionnaires de l'énergie et des décideurs techniques sur un marché qui connaît une évolution rapide.

L'adoption du R290 permet de réduire fortement le PRP et le TEWI, d'améliorer les performances énergétiques, de pénétrer de nouveaux marchés et de développer des scénarios d'application innovants, de simplifier la gestion et la maintenance des installations, et enfin de protéger la valeur de votre investissement sur le long terme. La formation et la certification des opérateurs, ainsi que les conseils spécialisés fournis par HiRef, facilitent la transition et assurent la sécurité et la qualité des installations.

À l'avenir, la constante évolution réglementaire, la demande croissante de solutions durables et l'innovation technologique, avec le propane (R290) destiné à devenir le réfrigérant de référence pour la climatisation du futur, ouvrent à HiRef et à l'ensemble du secteur CVC de nouvelles perspectives.



Viale Spagna, 31/33 - 35020 Tribano (Padova) - Italie
Tél. +39 049 9588511 - Fax +39 049 9588522
IT02191431200
info@hiref.it - www.hiref.it

  /HiRef S.p.A.