

# Comparaison de l'éco-efficacité des architectures de supermarché

ARTICLE HONEYWELL REFRIGÉRANTS RÉDIGÉ EN JUILLET 2017 PAR NACER ACHAICHA TECHNOLOGY LEADER EMEA / PAVEL WISNIK SENIOR APPLICATION ENGINEER

Le secteur de la réfrigération commerciale est surveillé par les hommes politiques et les législateurs du monde entier, en raison de l'utilisation de fluides à fort GWP (potentiel d'effet de serre), tels que le R-404A, et du fait des hauts taux de fuite. En Europe, la réglementation F-Gas interdit les fluides frigorigènes à fort GWP, d'autre part, elle réduit progressivement l'utilisation de HFC en fonction de leur équivalent CO<sub>2</sub>. Les fluides frigorigènes à faible GWP représentent la solution d'avenir. Pour répondre aux défis que pose la réglementation F-Gas et réduire la consommation d'énergie dans le secteur de la réfrigération commerciale, de nombreuses architectures modernes font l'objet d'un travail de recherche et développement.

Il existe actuellement deux solutions pouvant être utilisées pour aider le secteur commercial à atteindre les objectifs de la réglementation F-Gas. Pour les systèmes existants utilisant du R-404A, la conversion vers un fluide frigorigène au GWP plus bas est la solution la plus rapide, économique et respectueuse de l'environnement. Pour les nouveaux systèmes, plusieurs architectures sont à l'étude. La combinaison R-744 / HFO ou mélanges HFO récemment développés offre d'autres avantages en termes de sécurité et de performances.

**L'éco-efficacité est l'une des meilleures bases pour comparer diverses architectures non seulement en termes d'impact environnemental, mais aussi en termes d'impact économique.**

## Le concept d'éco-efficacité

De nombreuses mesures ont été développées pour quantifier l'empreinte carbone des systèmes de réfrigération. Le GWP, utilisé par

beaucoup de législateurs en raison de sa simplicité, est une mesure de l'impact direct des émissions sur l'environnement. En fonction du taux de fuite du système, le GWP ne peut capter que 10 à 35 % de l'impact environnemental total. Le TEWI (l'impact total sur le réchauffement planétaire) est la mesure de l'impact direct et indirect, c'est-à-dire l'utilisation indirecte d'énergie nécessaire pour faire fonctionner le système de réfrigération. Contrairement au GWP, le TEWI peut représenter jusqu'à 95 % de l'impact environnemental. L'impact résiduel ne peut être établi que via une analyse complète LCCP (Performances climatiques du cycle de vie). Mais cela implique d'émettre plusieurs hypothèses, notamment sur l'énergie grise nécessaire pour la production des composants et des fluides, le transport et l'assemblage de l'équipement, l'entretien et la maintenance, l'élimination, etc; ce qui rend l'approximation difficile et pas toujours plus précise.

Le défaut de toutes ces mesures est leur caractère unidimensionnel. Il est toujours possible de réduire l'impact environnemental de tout système en utilisant des composants plus performants, des condensateurs plus grands, des éjecteurs, etc. En d'autres termes, il est toujours possible d'améliorer l'impact environnemental en faisant davantage de dépenses sur un système donné. Le coût total du système est par conséquent un paramètre important qui doit être pris en compte lors de la comparaison des performances environnementales de systèmes. **L'éco-efficacité est une mesure bidimensionnelle qui prend en compte l'impact environnemental du système et son coût d'utilisation total.**



## Hypothèses

La comparaison est basée sur un supermarché type de 2 000 m<sup>2</sup>, avec des puissances de 68 kW en positif (MT) et de 18 kW en négatif (BT). Deux régions européennes distinctes sont étudiées : une région plus froide, représentée par Hambourg (Allemagne) et une région plus chaude, représentée par Séville (Espagne). Les données d'écart de température proviennent de la base de données météorologique pour 2016. Pour chaque région, les températures mensuelles de jour et de nuit ont été identifiées. Les charges nominales des supermarchés ont été associées aux températures de jour. Les charges de réfrigération de nuit ont été comptabilisées à raison de la moitié des charges nominales, afin de prendre en compte les baisses de pertes d'énergie en dehors des heures d'ouverture.

Pour la consommation électrique, les composants suivants ont été pris en considération : les compresseurs, les ventilateurs des condensateurs, les ventilateurs des évaporateurs, les ventilateurs des meubles frigorifiques ainsi que leur éclairage, les résistances de dégivrage (uniquement dans les unités à BT), en sachant que nous partons du principe qu'elles ne fonctionnent que 4 fois en 24 heures, chaque cycle de dégivrage durant 30 minutes. Le coût de l'alimentation électrique utilisée s'élève à 0,097 €/kWh et l'émission de CO<sub>2</sub> qui en résulte dans la centrale électrique est de 0,43 kg/kWh.

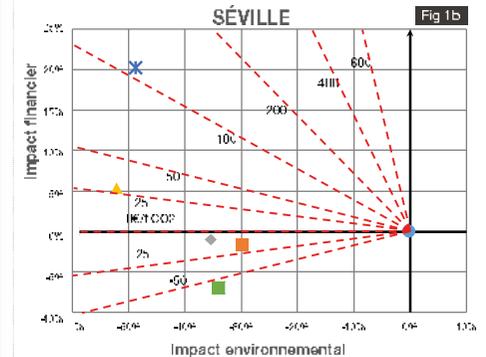
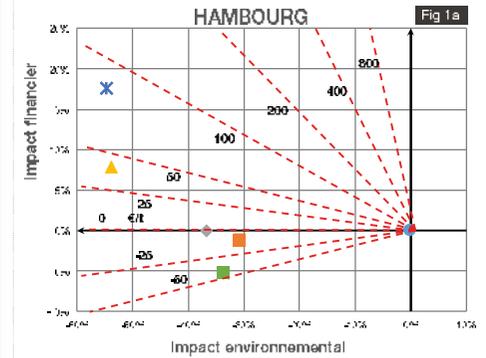
Les dépenses d'investissement, c'est-à-dire le coût initial du système, constituent un paramètre critique dans l'étude. Une nomenclature détaillée a été développée pour chaque système afin d'inclure les centrales de compresseurs, les échangeurs thermiques, les composants du système (tuyauteries, vannes, isolation, charge de fluide frigorigène initiale, fixations et brasures). Les coûts d'installation sont également inclus, basés sur les heures normalisées passées sur l'assemblage de composants standards du système de réfrigération (échangeurs de chaleur, centrales de compression, tuyauteries, isolation, conduits de câbles, mise en service du système, etc.). Une autre composante du coût total est l'OPEX (dépenses d'exploitation), qui est basé sur un travail de maintenance régulier (huile, remplacement des filtres, réparations mineures). L'analyse est réalisée sur les 15 ans de durée de vie de l'unité, en partant sur un taux de fuite annuel de 15 %.

## Résultats

Toutes les architectures ont été simulées en interne (R&D Honeywell) et la sélection des compresseurs et le calibrage des échangeurs thermiques a été réalisée par un logiciel tiers. Les résultats dérivés sont présentés sur le diagramme d'éco-efficacité montré dans les figures 1a pour Hambourg et 1b pour Séville, en % de la référence du système au R-404A.

Toutes les alternatives montrent une baisse de l'impact environnemental par rapport au R-404A, mais avec différents impacts financiers.

DIAGRAMME D'ÉCO-EFFICACITÉ POUR HAMBURG ET SÉVILLE



## Architectures de réfrigération commerciale

La motivation derrière le développement de nouvelles architectures est de réduire l'empreinte carbone des supermarchés et d'assurer la conformité aux réglementations. À titre de comparaison, six architectures ont été sélectionnées, car elles représentent certains des principaux systèmes utilisés aujourd'hui et de nouveaux systèmes à base de fluides frigorigènes à faible GWP.

1 DX (système à détente directe) centralisée utilisant du R-404A aussi bien à basse (BT) et à moyenne température (MT)

2 DX centralisée, similaire au système 1, mais utilisant du R-407F

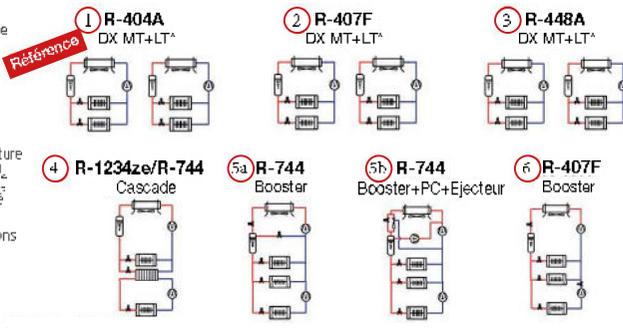
3 DX centralisée, similaire au système 1, mais utilisant du R-448A (Solstice® N40)

4 Système en cascade utilisant une architecture DX R-1234ze à MT et une architecture DX CO<sub>2</sub> sous-critique à BT. La chaleur rejetée côté CO<sub>2</sub> BT est distribuée en cascade dans le système HFO MT.

5 a) Booster transcritique CO<sub>2</sub> pour les régions plus froides

b) Booster transcritique CO<sub>2</sub> avec compression en parallèle et éjecteur pour les régions plus chaudes

6 Booster R-407F



Tous les schémas sont à titre indicatif et ne sont pas destinés à être utilisés.



Toutes les alternatives montrent une amélioration de l'impact environnemental par rapport à la référence au R-404A, mais avec des impacts financiers différents.

Les architectures 2 et 3 sont très similaires à la référence ; seuls les fluides frigorigènes sont différents (c'est le cas typique d'un retrofit). L'impact environnemental du fluide frigorigène est présenté comme étant important. Le R-407F et le Solstice<sup>®</sup> N40 ont déjà été adoptés par beaucoup de supermarchés en raison de leur faible GWP mais aussi des économies d'énergie démontrées dans de nombreuses applications, aussi bien en MT qu'en BT : les deux montrent une baisse de l'impact environnemental, avec un coût total similaire, voire inférieur.

Les systèmes au CO<sub>2</sub> et aux HFC/CO<sub>2</sub> en cascade atteignent le plus faible impact environnemental. Ceci est principalement dû à l'impact direct inférieur puisque les fluides frigorigènes utilisés ont des GWP très bas. Le système en cascade présente des performances très prometteuses aussi bien du point de vue environnemental qu'économique.

Les lignes rouges en pointillés représentent le montant constant en €/tonne de CO<sub>2</sub> éliminée. Les architectures de R-744 (5a et 5b) montrent une réduction considérable de l'impact environnemental, mais cela se fait aux dépens d'un impact financier total important sur la durée de vie de l'installation.

Les deux systèmes au R-744 réduisent l'impact environnemental pour un coût d'investissement supplémentaire de 80 à 110 € par tonne de CO<sub>2</sub> supprimée. Le système cascade HFO / R-744 apporte aussi une importante baisse de l'impact environnemental, mais avec un impact financier réduit de 25 à 40 € par tonne de CO<sub>2</sub> éliminée. Les solutions HFC utilisant du R-407F et du R-448A présentent une réduction de l'impact environnemental comprise entre 30 et 40 %. L'avantage supplémentaire est que ces réductions sont obtenues avec un impact financier neutre ou réduit. En optant pour une telle solution, une chaîne de supermarchés pourrait vraiment remplir ses objectifs environnementaux avec un gain économique à long terme.

L'architecture 4 repose sur du R-1234ze, un fluide A2L dans un système DX. Les normes en vigueur autorisent une taille de charge importante avec un tel fluide frigorigène. Des travaux sont en cours pour supprimer les barrières empêchant d'augmenter davantage la taille de charge pour les fluides frigorigènes A2L dans un futur proche. Le Solstice<sup>®</sup> ze est lui aussi non inflammable selon la GHS (norme harmonisée mondiale) et la réglementation européenne sur l'inflammabilité. Les résultats démontrent que l'utilisation de fluides frigorigènes tels que le Solstice<sup>®</sup> ze devrait être autorisée (de manière sécurisée) dans des quantités plus bien plus élevées dans un système DX au vu de leurs performances environnementales.

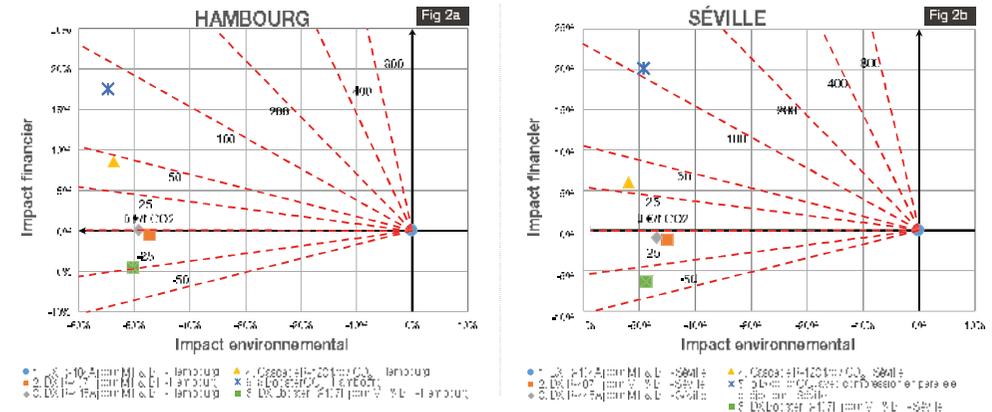
Les systèmes standards à base de R-407F et de Solstice<sup>®</sup> N40 ont non seulement les dépenses d'investissement les plus basses, mais aussi les meilleures performances énergétiques sous tous les climats froids comme chauds. L'impact environnemental peut être encore simplement amélioré en réduisant le taux de fuite.



### Les avantages de la réduction du taux de fuite

Un taux de fuite réduit à 5 %, aussi bien pour des systèmes au R-407F ou au Solstice<sup>®</sup> N40 (R-448A), a alors été étudié. Une hausse de 10 % du coût de maintenance de ces systèmes a également été ajoutée, afin de considérer le coût associé à une telle réduction du taux de fuite. Les résultats sont présentés dans les figures 2a et 2b. Comme prévu, l'impact de la réduction du taux de fuite a permis de réduire davantage l'impact environnemental de ces systèmes, avec peu ou pas d'impact sur les données financières.

DIAGRAMME D'ÉCO-EFFICACITÉ AVEC UN TAUX DE FUITE DE 5 %



### Conclusions

L'éco-efficacité est une mesure bidimensionnelle qui couvre près de 100 % de l'impact environnemental et financier, ce qui aboutit au meilleur outil d'évaluation pour comparer différents systèmes neufs dans le cas de cette étude.

Tableau comparatif par rapport au R-404A. Les valeurs les plus faibles correspondent aux meilleurs impacts.

	Système	Impact environnemental	Impact financier	Coût de la t. eq. CO <sub>2</sub> supprimée en €
Taux de fuite à 15 %	R-407F et R-448A	-30 à -37 %	0 à -7 %	0 à -50 €
	Cascade R-1234ze/R-744	-53 %	5 à 7 %	25 à 30 €
	R-744	-49 à -54 %	17 à 20 %	80 à 100 €
Taux de fuite à 5 %	R-407F et R-448A	-45 à -51 %	0 à -7 %	0 à -35 €
	Cascade R-1234ze/R-744	-53 %	5 à 7 %	25 à 30 €
	R-744	-49 à -54 %	17 à 20 %	80 à 100 €

Bien que les systèmes au R-744 aient un impact environnemental satisfaisant, ceci est principalement atteint grâce au très faible GWP du fluide frigorigène, ils génèrent en contre partie un coût supplémentaire d'exploitation considérable. Les systèmes DX de HFC standards peuvent aussi apporter une baisse

importante de l'impact environnemental, mais avec des bénéfices financiers. Réduire les taux de fuites de 15 % à 5 % ferait des systèmes chargés avec des mélanges HFC/HFO, les plus avantageux en ce qui concerne les impacts environnementaux & financiers. Ces systèmes peuvent être installés jusqu'en 2022 et n'ont

pas de date limite pour l'entretien et la maintenance. Les systèmes en cascade utilisant du Solstice<sup>®</sup> ze / R-744 constituent l'alternative équilibrée pour les nouvelles installations. Une utilisation plus large est prévue, une fois levées les restrictions sur l'autorisation de charges plus élevées de fluides frigorigènes A2L.

### Un exemple pratique dans notre secteur

Selon le Gapometer de l'EPÉE (Partenariat européen pour l'énergie et l'environnement), il est nécessaire d'atteindre une réduction de 51 millions de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> pour pouvoir remplir les objectifs de réduction progressive de la réglementation F-Gas, à savoir une baisse de 60 % des émissions d'ici 2021.

De plus, les nouvelles installations doivent contribuer à 52 % de cette baisse (26 millions de tonnes eq. CO<sub>2</sub>).

• Utiliser uniquement des systèmes de R-744 pourrait **COÛTER** au secteur jusqu'à 2,1 - 2,6 milliards € (26 millions de tonnes eq. CO<sub>2</sub> \* 80 à 100 €/tonne eq. CO<sub>2</sub> = 2 123 à 2 654 millions d'euros).

• Utiliser des systèmes de HFC/HFO (jusqu'en 2022) pourrait **FAIRE ÉCONOMISER** au secteur jusqu'à 910 millions d'euros (26 millions de tonnes eq. CO<sub>2</sub> \* 0 à 35 €/tonne eq. CO<sub>2</sub> = 0 à 910 millions d'euros).

En utilisant l'outil d'éco-efficacité, le secteur pourrait potentiellement éviter un coût de 2,1 à 2,6 milliards €.

NE l'écarter d'ici est en cours d'évaluation. D'autres alternatives comme les groupes froids sur étoupe d'huile, les systèmes R-410A ou le système Cascade ze / R-410A, seront étudiés. La sensibilité aux paramètres clés (taux d'écoulement, coûts des fluides au cours du temps, sera également nécessaire.