

CO₂ : La vérité qui dérange

Il existe désormais des technologies plus efficaces que le CO₂ pour les systèmes de réfrigération commerciale



FAIBLE PRG
Opteon™ XL
Efficaces en énergie

Introduction

Ces 12 à 18 derniers mois, plusieurs articles ont **émis des doutes quant aux propriétés «vertes» du réfrigérant R-744**, en raison de sa faible efficacité énergétique intrinsèque.

Ce qui soulève des questions évidentes : pourquoi l'industrie a-t-elle opté pour une technologie à émissions totales relativement élevées ? Et faut-il envisager d'autres technologies avant de pouvoir émettre un avis définitif sur une solution à faible PRG qui présente le plus faible impact environnemental et le meilleur rapport qualité-prix ?

Du point de vue des émissions de gaz à effet de serre, il va de soi qu'une fuite significative de réfrigérant R-404A à fort PRG (3922) est bien plus importante qu'un quelconque avantage en termes d'efficacité énergétique, en comparaison avec l'utilisation du R-744. Le problème de la technologie R-744 est bien entendu que les équipements sont plus complexes, plus coûteux et moins efficaces sur le plan énergétique. **À la clé ? Un coût plus élevé du cycle de vie sur 10 ans. Le règlement F-Gaz de l'UE se concentre cependant avant tout sur le faible PRG et non sur le coût. Le R-744 semblait, dès lors, être une bonne solution...**

MAIS EST-CE VRAIMENT LE CAS ?



Quelles étaient les options disponibles au départ ?

L'utilisation du R-744 en tant que réfrigérant n'est évidemment pas une nouveauté. Lors du développement des systèmes frigorifiques à compression de vapeur à la fin du XIXe siècle, l'éther éthylique, l'ammoniac et le dioxyde de carbone (R-744) étaient tous communément considérés comme des fluides frigorigènes. À mesure que la technologie de compression de vapeur a évolué, l'inflammabilité de l'éther éthylique et la faible efficacité énergétique du R-744 se sont avérées plus difficiles à surmonter que la faible inflammabilité et toxicité de l'ammoniac, ce qui a entraîné un déclin de la popularité du R-744.

Faisons à présent un grand bond en avant, vers la fin du XXe siècle, lorsque des accords tels que le protocole de Kyoto (1997) ont alerté l'opinion publique sur le spectre du changement climatique mondial et des gaz qui y contribuent. Avec un PRG de 1, le R-744 semblait être le candidat parfait et de nombreux projets de recherche ont été lancés pour remédier aux manquements susmentionnés en termes d'efficacité énergétique.

Dans la foulée de l'élimination progressive des CFC au début des années 1990, le R-404A est devenu le principal fluide frigorigène pour la réfrigération commerciale, s'intégrant souvent dans des systèmes à faibles régimes de maintenance et à taux de fuite annuels (TFA) très élevés (> 15 %). Du point de vue des émissions de gaz à effet de serre, ces taux de fuite très élevés, combinés au fort PRG du R-404A (3922), étaient bien plus importants qu'un quelconque avantage en termes d'efficacité énergétique, en comparaison avec l'utilisation du R-744 (Figure 1).

C'est ainsi que le système transcritique R-744, également appelé « système booster », est devenu la technologie à faible PRG privilégiée par les commerces de détail pour les nouveaux équipements. La technologie R-744 jette néanmoins un pavé dans la mare : les équipements sont plus complexes et plus coûteux, et sa faible efficacité énergétique entraîne un coût accru du cycle de vie sur 10 ans (CCV sur 10 ans, Figure 2). Mais étant donné que la réglementation se concentre avant tout sur le faible PRG et non sur le coût, le R-744 semblait être une bonne solution.

Après 2021, le règlement F-Gaz de l'UE interdira l'utilisation de réfrigérants dans les équipements neufs qui ont un PRG ≥ 150 dans les systèmes de détail à compresseurs multiples d'une capacité ≥ 40 kW. En fin de compte, dans le cadre de la réduction progressive des gaz fluorés qui impose l'atteinte d'un PRG moyen d'environ 400 à l'horizon 2030. De ce fait, bien que l'utilisation de réfrigérants à modérément faible PRG (tels que l'Opteon™ XP40) réduise le CCV sur 10 ans et les émissions totales de 36 à 47 % par rapport au R-404A, leur TFA de 10 % engendre toujours des émissions totales plus élevées qu'un système transcritique R-744 booster équivalent, et ce même sous des climats chauds (Figure 1). Ils ne constituent donc pas un choix pratique à long terme pour les nouveaux équipements en vertu du règlement F-Gaz de l'UE.

Figure 1

Comparaison des émissions totales sur 10 ans (TeqCO₂) en utilisant les systèmes R-404A (TFA de 10 %), Opteon™ XP40 (TFA de 10 %) et le système transcritique R-744 booster pour un supermarché standard (~2 000 m² de surface commerciale, 160 kW à température moyenne/30 kW à basse température) sous différents climats

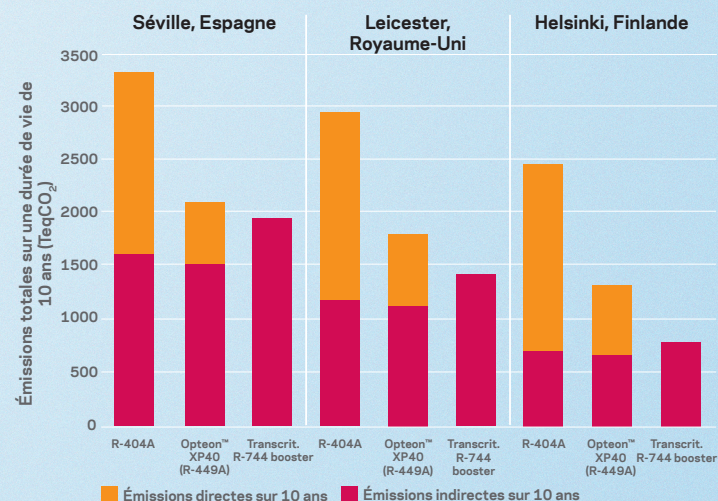
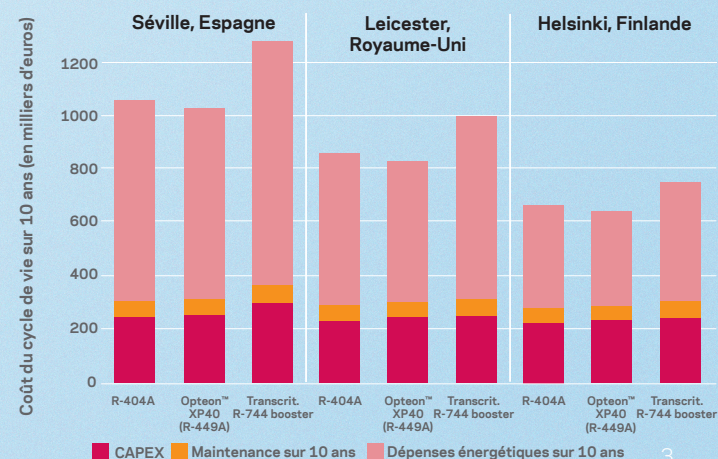


Figure 2

Comparaison du coût du cycle de vie sur 10 ans en utilisant le système transcritique R-744 booster, les systèmes R-404A et Opteon™ XP40 pour un supermarché standard (2 000 m² de surface commerciale, 160 kW à température moyenne/30 kW à basse température) sous différents climats



Existe-t-il une meilleure option que le R-744 ?



Outre le fait de réduire les émissions totales de gaz à effet de serre, les détaillants ont élaboré une liste de critères auxquels leur choix de technologie de réfrigération devrait répondre :

- **Adéquation des performances frigorifiques;**
- **Adéquation ou dépassement des performances énergétiques;**
- **Adéquation du temps de fonctionnement du système (qui minimise le risque pour le commerce);**
- **Adéquation ou amélioration du coût total de possession (TCO);**
ET
- **Idéalement, adéquation de la facilité d'installation et de maintenance.**

Bien que le R-744 atteigne l'objectif premier de réduction des émissions totales, son utilisation ne répond pas forcément aux autres critères souhaités, exception faite de l'adéquation des performances frigorifiques.

Nous pouvons donc clairement mieux faire en termes de choix de technologie.

Des mélanges de réfrigérants A2L à très faible PRG, comme les Opteon™ XL20 (R-454C) (PRG 148) et Opteon™ XL40 (R-454A) (PRG 239), sont disponibles sur le marché depuis 2016. Le désir de nombreux détaillants de moderniser les équipements existants pour éliminer le R-404A en amont de l'interdiction des gaz fluorés dès 2020 a cependant limité les possibilités d'explorer les avantages de ces solutions, jusqu'à présent.

Dans le secteur de la réfrigération, la première application commerciale de la gamme de réfrigérants à très faible PRG Opteon™ XL a été déployée en octobre 2017, avec l'installation d'un entrepôt frigorifique à basse température qui exploite l'Opteon™ XL40 au sein des Park Cake Bakeries, à Oldham (Royaume-Uni). La mise en valeur de cette technologie alternative a suscité l'intérêt des détaillants en vue d'une utilisation dans la réfrigération des supermarchés. Des équipements et composants sont désormais disponibles pour les produits Opteon™ XL, comme en témoignent les installations réalisées par le grand distributeur ASDA et la Central England Co-op, au Royaume-Uni. L'utilisation de la gamme de réfrigérants à très faible PRG Opteon™ XL constitue donc désormais un choix viable à envisager pour les détaillants.

Une étude réalisée par Wave Refrigeration s'est penchée sur l'utilisation des produits à très faible PRG Opteon™ XL, sur la base de l'expérience pratique publiée et acquise en collaboration avec ASDA.

Le très faible PRG des réfrigérants Opteon™ XL20 (R-454C) (PRG 148) et Opteon™ XL40 (R-454A) (PRG 239), combiné aux taux de fuite améliorés (< 5 %) obtenus par les détaillants responsables, réduit considérablement la contribution des réfrigérants aux émissions directes. Une contribution réduite qui, associée aux performances énergétiques améliorées des réfrigérants Opteon™ XL, assure des émissions totales dans un supermarché de taille standard (~2 000 m² de surface commerciale) inférieures à celles d'un système transcritique R-744 booster équivalent (Figure 3) sur les sites examinés (inférieures de 6 à 8 % à Helsinki, de 15 à 17 % à Leicester et de 18 à 20 % à Séville).

Étant donné qu'il existe désormais une technologie à basses émissions alternative capable d'égaliser voire de réduire les émissions totales dans l'atmosphère par rapport à un système transcritique R-744 booster, le coût devient à présent une considération pertinente et importante.

L'utilisation des systèmes de réfrigération Opteon™ XL offre le CAPEX et les coûts de maintenance les plus bas, mais l'économie la plus significative sur une période de 10 ans se situe de loin au niveau de la moindre consommation d'énergie (Figure 4), qui entraîne à son tour un coût du cycle de vie sur 10 ans nettement plus faible (inférieur de 8 à 9 % à Helsinki, de 14 % à Leicester et de 17 à 18 % à Séville).

Les résultats de cette analyse ne laissent planer aucun doute sur le fait que l'utilisation des réfrigérants Opteon™ XL répond à tous les critères attendus par les détaillants, dans la mesure où ils permettent de réduire à la fois les émissions totales et les coûts par rapport à la technologie transcritique R-744 booster.



Figure 3

Comparaison des émissions totales (TeqCO₂) en utilisant les systèmes R-404A, Opteon™ XP40, Opteon™ XL40 (R-454A) (PRG 239), Opteon™ XL20 (R-454C) (PRG 148), le système R-744 booster et la technologie optimale R-744 pour un supermarché standard sous différents climats, en tenant compte d'un TFA de 5 %

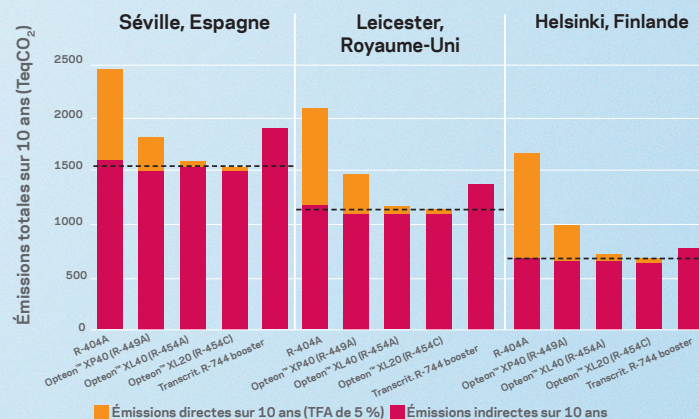
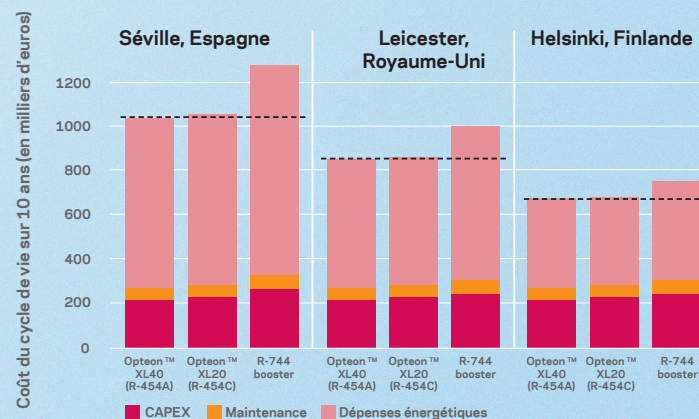


Figure 4

Comparaison de coût du cycle de vie sur 10 ans en utilisant les systèmes Opteon™ XL40 (R-454A) (PRG 239), Opteon™ XL20 (R-454C) (PRG 148) et le système R-744 booster pour un supermarché standard sur différents sites



Faut-il envisager d'autres technologies R-744 ?

Si la technologie transcritique R-744 booster est fréquemment utilisée, ce n'est pas la seule architecture R-744 qui a été développée. Le fait que les systèmes R-744 présentent une efficacité énergétique intrinsèquement faible sous les climats plus chauds a créé une barrière géographique, connue sous le nom d'«équateur du CO₂», où l'utilisation de systèmes R-744 booster peut devenir excessivement coûteuse.

Cette situation a conduit à plus d'une décennie de développements pour tenter d'améliorer l'efficacité énergétique du système, en particulier sur les sites situés au sud de l'équateur du CO₂ du R-744 booster. Pour améliorer les performances des systèmes R-744, plusieurs changements sont appliqués au niveau de l'architecture :

- 1. Transcritique R-744 booster + échangeur de chaleur interne (IHX)**
- 2. Compression parallèle**
- 3. Compression parallèle + technologie d'éjecteur**

Pour un supermarché de taille standard, parmi tous les sites examinés dans le cadre de cette étude, la solution R-744 qui affiche la plus faible consommation d'énergie est la technologie d'éjecteur. La différence de consommation énergétique entre le système R-744 booster et le système R-744 à éjecteur diminue cependant considérablement à mesure que les conditions climatiques se rafraîchissent, ce qui signifie que le CAPEX supplémentaire pour cette technologie peut être difficile à justifier par rapport aux avantages obtenus.

Étant donné que les conditions climatiques et les émissions indirectes de la production d'énergie ont un impact significatif sur les émissions totales qui résultent de l'utilisation des différentes technologies, une méthode souvent utilisée pour déterminer la technologie la plus rentable pour réduire l'empreinte écologique d'un système consiste à calculer le coût de réduction par tonne d'émissions en équivalent CO₂ (TeqCO₂) sur une période de 10 ans.

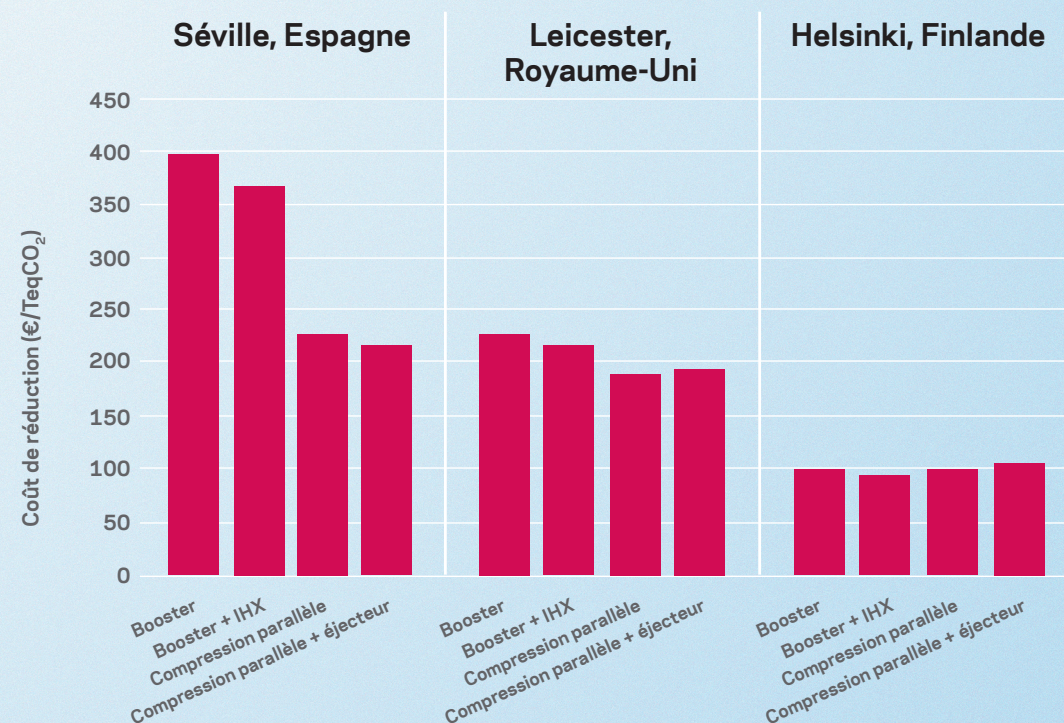
Le coût relatif de réduction des émissions est calculé en divisant la différence du CCV sur 10 ans pour la technologie alternative (par rapport au R-404A) par la différence des émissions totales sur 10 ans pour la technologie alternative (par rapport au R-404A, TFA de 5 %), pour obtenir un coût de réduction exprimé en €/TeqCO₂.

Cette approche n'indique pas quelles technologies permettent les réductions les plus importantes, mais donne néanmoins une vision réaliste des technologies qui offrent le meilleur rapport qualité-prix pour atteindre un niveau donné de réduction des émissions (ou réduction de l'empreinte carbone), qui dans ce cas est au moins équivalent à celui de la technologie R-744 booster.

Cette approche révèle que la technologie R-744 optimale est différente pour chaque site : technologie R-744 à éjecteur pour Séville, compression parallèle pour Leicester et booster + IHX pour Helsinki (Figure 5).

Figure 5

Coût de réduction des différentes technologies R-744 afin de déterminer la technologie optimale pour chaque site



$$\text{Coût relatif de réduction des émissions de CO}_2 = \frac{(\text{CCV}_{\text{Alt}} - \text{CCV}_{\text{R-404A}})}{(\text{Émissions}_{\text{R-404A}} - \text{Émissions}_{\text{Alt}})}$$

Sous le climat chaud de Séville, en Espagne, l'amélioration des performances par rapport à un système R-744 booster standard lorsqu'on utilise la technologie d'éjecteur dans un supermarché standard est significative (CCV sur 10 ans inférieur de 5 % et émissions totales sur 10 ans inférieures de 9 %), mais reste insignifiante en comparaison avec l'utilisation des technologies de réfrigération Opteon™ XL, qui offrent un CCV sur 10 ans inférieur de 17 à 18 % (Figure 6) et des émissions inférieures de 18 à 20 % (Figure 7) par rapport à un système R-744 booster standard.

Dans les conditions climatiques modérées de Leicester, au Royaume-Uni, l'amélioration des performances par rapport au R-744 booster lorsqu'on utilise la technologie de compression parallèle optimale est encore moins significative (CCV sur 10 ans inférieur de 2 % et émissions totales sur 10 inférieures de 4 %), tandis que l'utilisation des technologies de réfrigération Opteon™ XL offre une réduction très significative (CCV sur 10 ans inférieur de 14 % et émissions totales sur 10 ans inférieures de 15 à 17 %) par rapport à un système R-744 booster standard.

Une tendance qui se confirme sur le site d'Helsinki (Finlande), qui présente un climat froid, un faible coût énergétique et de faibles émissions énergétiques : lorsqu'on utilise la technologie optimale R-744 booster + IHX, on constate seulement une amélioration de 1 % voire moins par rapport à la technologie R-744 booster standard. Comparativement, les technologies de réfrigération Opteon™ XL permettent d'obtenir des émissions inférieures de 6 à 8 % et un CCV sur 10 ans inférieur de 8 à 9 % par rapport au système R-744 booster standard.

Figure 6

Comparaison du coût du cycle de vie sur 10 ans du R-744 booster et de la technologie R-744 optimale par rapport aux technologies de réfrigération Opteon™ XL pour une architecture de supermarché standard sur différents sites

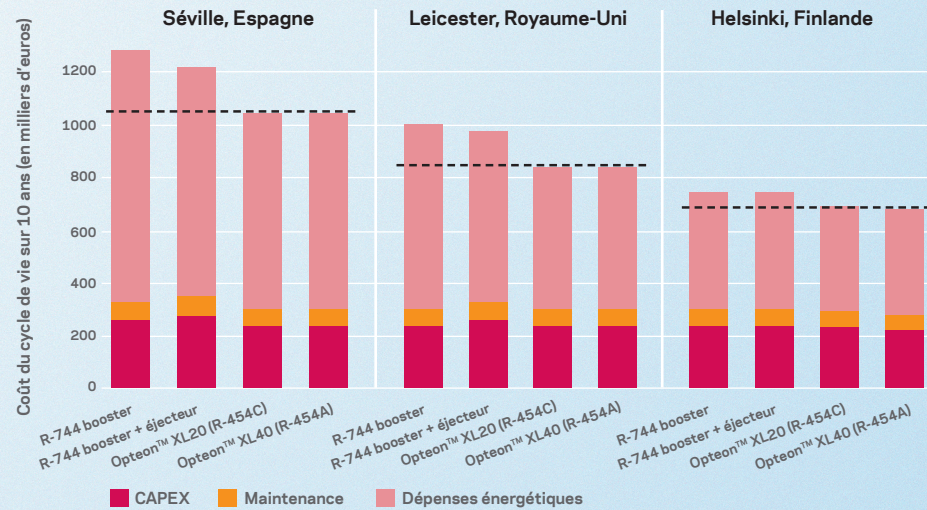
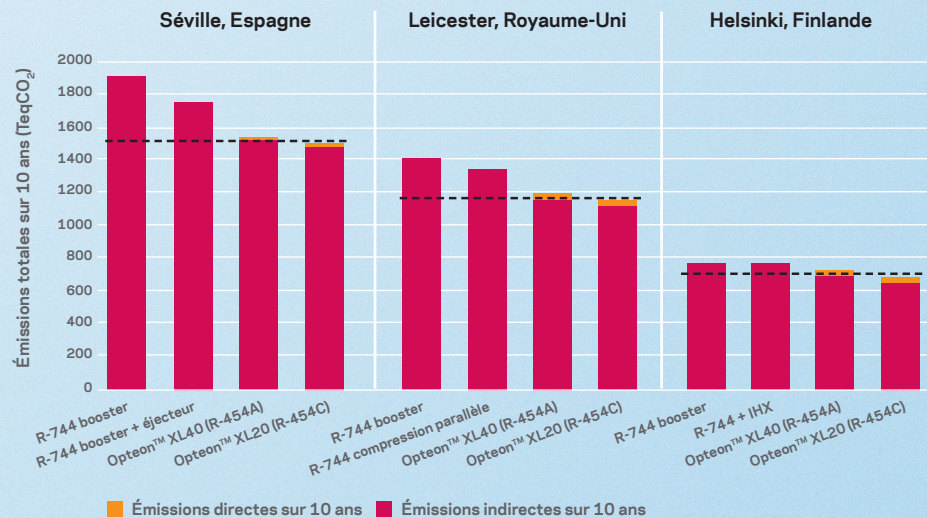


Figure 7

Comparaison des émissions totales sur 10 ans du R-744 booster et de la technologie R-744 optimale par rapport aux technologies de réfrigération Opteon™ XL pour une architecture de supermarché standard sur différents sites (TFA de 5 %)



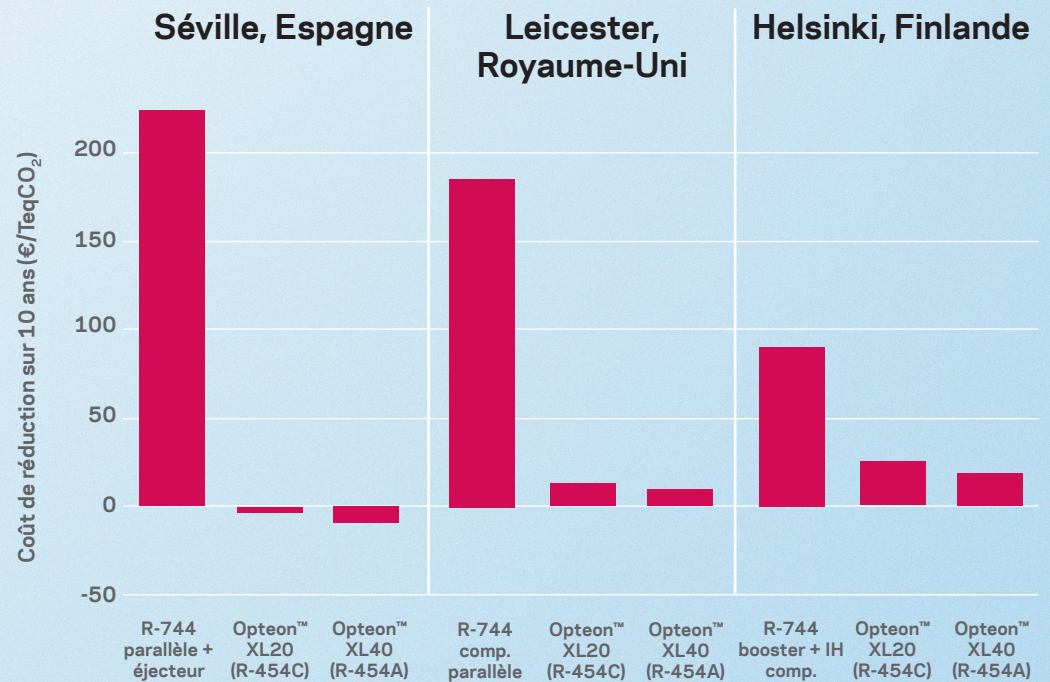
L'utilisation de ces technologies R-744 améliorées abaisse certes le coût de réduction par rapport à l'utilisation de la technologie R-744 booster standard. Sur l'ensemble des sites, les coûts de réduction sont toutefois inférieurs de plus de 70 % lorsqu'on utilise une technologie de réfrigération Opteon™ XL (Figure 8).

Sous le climat chaud de Séville, l'utilisation des réfrigérants Opteon™ XL réduit non seulement les émissions, mais offre aussi la réduction d'émissions requise à un coût inférieur sur 10 ans par rapport à un système qui fonctionnerait encore avec le R-404A, car ce dernier n'offre aucune réduction d'émissions et présente, par conséquent, un coût de réduction négatif (-3 à -10 € par TeqCO₂). Cette solution semble, dès lors, très avantageuse par rapport aux technologies R-744 optimales. À Séville, par exemple, la technologie R-744 optimale (technologie d'éjecteur) affiche un coût de réduction de 218 € par TeqCO₂.

Sous le climat modéré de Leicester, les coûts de réduction sont de 92 à 96 % inférieurs lorsqu'on utilise les réfrigérants Opteon™ XL par rapport au R-744 + compression parallèle. Et même sur le site d'Helsinki, qui présente un climat froid et une production d'énergie faible en carbone et peu coûteuse, le coût de réduction est de 73 à 83 % inférieur lorsqu'on utilise les réfrigérants Opteon™ XL comparativement au système transcritique R-744 booster + IHX.

Figure 8

Coûts de réduction en TeqCO₂ sur 10 ans (par rapport au R-404A avec TFA de 5 %) dans une architecture de supermarché standard en utilisant la technologie R-744 optimale sur différents sites, comparativement à la technologie de réfrigération Opteon™ XL (TFA de 5 %)



Dérangeante ou pas, la vérité est que...

Avec un très faible PRG direct, le R-744 est initialement apparu comme une solution idéale pour remplacer la technologie R-404A à fortes émissions, mais la faible efficacité énergétique et la complexité inhérentes aux systèmes R-744 soulèvent de nombreuses interrogations quant à savoir si cette technologie constitue effectivement le meilleur choix.

L'introduction des réfrigérants à très faible PRG Opteon™ XL20 (R-454C) (PRG 148) et Opteon™ XL40 (R-454A) (PRG 239) s'avère être une alternative viable aux R-404A et R-744 pour les applications de réfrigération dans les supermarchés de taille standard ou de taille plus modeste. L'expérience pratique des installations a montré une amélioration des performances énergétiques par rapport au R-404A, tout en maintenant

des coûts d'équipement, une simplicité et une fiabilité du système similaires. Le tout, avec les émissions totales sur 10 ans les plus faibles de toutes les alternatives à faible PRG couramment utilisées.

En ce qui concerne les coûts de réduction en TeqCO_2 , l'utilisation des réfrigérants Opteon™ XL s'est de loin avérée être la technologie la plus rentable pour réduire l'empreinte écologique d'une installation. Les résultats varient sensiblement en fonction du site et de la taille du magasin, et vont d'un coût de réduction inférieur de plus de 70 % (par rapport à la technologie R-744 optimale) sur le site d'Helsinki, qui présente un climat froid et une production d'énergie peu coûteuse et faible en carbone, à un coût de réduction de plus de 100 % inférieur (par rapport à la technologie R-744 optimale) pour un

supermarché standard sous le climat chaud de Séville. Par conséquent, si vous cherchez une technologie à très faible PRG en guise d'alternative au R-404A qui garantit :

- **Adéquation des performances frigorifiques;**
 - **Adéquation ou dépassement des performances énergétiques;**
 - **Adéquation du temps de fonctionnement du système (qui minimise le risque pour le commerce);**
 - **Adéquation ou amélioration du coût total de possession (TCO);**
- ET
- **Idéalement, adéquation de la facilité d'installation et de maintenance.**



Pourquoi choisir autre chose que les réfrigérants Opteon™ XL ?